



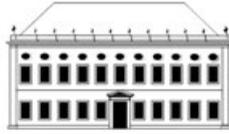
**P**  
**ARA DESENVOLVER  
A TERRA**  
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS  
DE GEOCIÊNCIAS  
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T.,  
Lopes, F. C., Andrade, A. I.,  
Henriques, M. H., Pena dos Reis, R.  
& Ivo Alves, E.

Coordenação

A presente obra reúne um conjunto de contribuições apresentadas no I Congresso Internacional de Geociências na CPLP, que decorreu de 14 a 16 de maio de 2012 no Auditório da Reitoria da Universidade de Coimbra. São aqui apresentados trabalhos desenvolvidos por várias equipas afiliadas a distintas instituições da CPLP, que representam abordagens técnicas e de investigação inovadoras, de aplicação do conhecimento científico à resolução de problemas e que estão candentes na sociedade tecnológica atual. A enorme importância dos conceitos, das geotecnologias, da prospeção, da geologia de engenharia e dos recursos minerais para o desenvolvimento, bem estar e progresso da humanidade, fica aqui documentada com um leque de trabalhos de elevado interesse e que abordam problemas e soluções dos mais diversos locais da lusofonia.

Fotografia da Capa  
Ilha do do Fogo, Cabo Verde



D O C U M E N T O S

## EDIÇÃO

Imprensa da Universidade de Coimbra  
URL: [http://www.uc.pt/imprensa\\_uc](http://www.uc.pt/imprensa_uc)  
Email: [imprensauc@ci.uc.pt](mailto:imprensauc@ci.uc.pt)  
Vendas online: <http://livrariadaimprensa.uc.pt>

## CONCEÇÃO GRÁFICA

António Barros

## INFOGRAFIA DA CAPA

Carlos Costa

## INFOGRAFIA

Mickael Silva

## EXECUÇÃO GRÁFICA

Gráfica de Coimbra

## ISBN

978-989-26-0531-9

## ISBN Digital

978-989-26-0532-6

## DOI

<http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0531-9>

## DEPÓSITO LEGAL

356919/13

OBRA PUBLICADA COM O APOIO DE:



# P ARA DESENVOLVER A TERRA

MEMÓRIAS E NOTÍCIAS  
DE GEOCIÊNCIAS  
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T.,  
Lopes, F. C., Andrade, A. I.,  
Henriques, M. H., Pena dos Reis, R.  
& Ivo Alves, E.

Coordenação

(Página deixada propositadamente em branco)

Onde ficava o mundo?  
Só pinhais, matos, charnecas e milho  
para a fome dos olhos.  
Para lá da serra, o azul de outra serra e outra serra ainda.  
E o mar? E a cidade? E os Rios?  
Caminhos de pedra, sulcados, curtos e estreitos,  
onde chamam carros de bois e há poças de chuva.  
Onde ficava o mundo?  
Nem a alma sabia julgar.  
Mas vieram engenheiros e máquinas estranhas.  
Em cada dia o povo abraçava outro povo.  
E hoje a terra é livre e fácil como o céu das aves:  
a estrada branca e menina é uma serpente ondulada  
e dela nasce a sede da fuga como as águas dum rio.

1941

Fernando Namora, Novo cancionero (1989)

(Página deixada propositadamente em branco)



## SUMÁRIO

Apresentação .....	13
--------------------	----

### SECÇÃO 1

#### CONCEPTUALIZAÇÃO AMBIENTAL: A IMPORTÂNCIA DAS IDEIAS

1. Recursos, tecnologia, tradições e gestão integrada do território .....	17
<i>L. Oosterbeek</i>	
2. A concepção de complexos ambientais culturais como estratégia de proteção, gestão e valorização da paisagem e da geodiversidade da região metropolitana de Belo Horizonte, Brasil .....	25
<i>F. B. Almeida, A. Sancho, M. Lousada &amp; R. Leitão</i>	
3. Geologia e sociedade: uma problematização sobre a implantação de hidrelétricas e a respeito do papel da sociedade civil brasileira no processo de desenvolvimento sob a ótica do ordenamento territorial .....	35
<i>J. A. S. Deus, L. M. Rodrigues &amp; V. P. F. Goulart</i>	
4. Uma análise crítica dos conceitos de análise de fragilidades ambientais e de avaliação ambiental integrada.....	45
<i>R. C. Cruz, J. M. Rocha, G. L. Silveira, J. C. Cruz &amp; S. C. Assis de Oliveira</i>	
5. Proposta de socialização ambiental para as comunidades do Jardim Gianna I e II na cidade de Ponta Grossa (Paraná, Brasil) .....	55
<i>J. P. L. de Almeida, J. A. Prandel &amp; A. S. Uller</i>	
6. Programa de acompanhamento de atividades minerárias aplicados a plano básico ambiental em dutovias: estrutura e procedimentos .....	67
<i>F. A. G. V. Reis, L. do C. Giordano, G. A. de Medeiros, L. E. da S. Cerri, J. E. Zaine, S. de A. Mascaro, T. Pilachevsky, J. G. C. de Macedo, D. de P. Amendola, L. S. V. Domingues, A. L. C. Christianini, C. M. Andrade, G. Lumiatti &amp; M. Lunard</i>	

## SECÇÃO 2

### AMBIENTE E ORDENAMENTO: ORGANIZAR PARA UM FUTURO MELHOR

8

7. Análise ecodinâmica dos municípios costeiros de Barra dos Coqueiros e Pirambu (SE, Brasil) .....77  
*J. J. Costa, A. M. F. Barbosa & R. Melo e Souza*
8. Unidades de paisagem como subsídio ao ordenamento territorial da planície costeira de Sergipe-Brasil .....87  
*R. Melo e Souza & A. C. C. de A. Oliveira*
9. Urbanismo sustentável em ambiente litorâneo: um projeto de adequação aplicado a zona de expansão da cidade de Aracaju, Sergipe, Brasil .....97  
*M. G. Garcia, G. G. Garcia & A. J. V. Garcia*
10. Zoneamento geoambiental e perspectivas de ordenamento territorial da Ilha do Príncipe - São Tomé e Príncipe, África ..... 105  
*L. C. Miranda, F. D. B. Rabelo, J. A. A. Pacheco & E. V. da Silva*
11. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia do rio Verde – Paraná, Brasil..... 113  
*E. Passos, M. Muratori& S. C. Caneparo*
12. Amostragens dos solos em diferentes ambientes: litoral, serra e sertão (Ceará, Brasil) ..... 125  
*S. P. Dantas, M. F. B. Damasceno, M. S. Costa, L. R. F. Costa, K. G. C. Branco, L. L. Barreto & E. C. Lima*
13. Perigos geológicos na ilha do Fogo (Cabo Verde): implicações para o planeamento de emergência..... 131  
*J. Cabral, T. Ferreira, J. L. Gaspar & G. Queiroz*
14. Avaliação de solos residuais de rochas basálticas e a ocorrência e feições erosivas (trópico de Capricórnio, sul do Brasil) ..... 141  
*M. L. de Souza & V. de Souza*
15. Uma revisão da modelagem fuzzy da interface continente e oceano para identificar locais vulneráveis à erosão ..... 153  
*L. M. Silva & R. M. Gonçalves*
16. Avaliação da capacidade de retenção de chumbo, crómio, manganês e níquel pelo solo em área de implantação de estruturas compensatórias de drenagem urbana (Belo Horizonte, MG – Brasil) ..... 163  
*F. M. Belotti, C. V. Oliveira & L. Campos*

17. Determinação do índice de qualidade das águas do rio São Paulo, Candeias, Bahia, Brasil .....	173
<i>A. B. S. Ramos Junior, M. J. M. Cruz, R. A. Santos &amp; M. V. P. Gonçalves</i>	
18. Paleossolos silicificados da formação Itaqueri (Brasil) – interpretação paleoambiental.....	183
<i>F. S. B. Ladeira, S. S. de Castro &amp; M. dos Santos</i>	
19. Espaço mineiro devoluto em contexto de ordenamento do território – modelo conceptual para as minas do Rebentão – Couto de Lagares - Vila Nova de Paiva.....	193
<i>R. M. C. Alves, C. A. Leal Gomes &amp; T. M. Valente</i>	
20. Geoarqueologia na bacia do rio Peruaçu (estado de Minas Gerais, Brasil).....	203
<i>M. J. Rodet</i>	

### SECÇÃO 3

#### DETECÇÃO REMOTA: OLHAR DE PERTO, AO LONGE

21. Utilização de geotecnologias no mapeamento digital de uso da terra e cobertura vegetal para o subsídio do zoneamento ambiental no parque estadual da serra da Tiririca (Peset, Brasil) .....	217
<i>W. M. Santos Junior</i>	
22. Geotecnologia e história ambiental: o uso de detecção de mudança temporal na produção sucroalcooleira em Goiás, Brasil.....	227
<i>S. D. e Silva, N. C. da Silva, E. S. Campos, O. A. de Carvalho Junior</i>	
23. Contributos da detecção remota para a evidência e localização de pegmatitos em contexto intra-granítico – Ponte da Barca (Minho).....	235
<i>B. Pereira, J. Azevedo, J. Oliveira, P. Dias, C. Leal Gomes, J. Carvalho &amp; A. Marques</i>	

### SECÇÃO 4

#### PROSPECÇÃO: ENTENDER O QUE NÃO SE VÊ

24. Utilização do GPR para auxiliar na compreensão da evolução da paisagem: estudo de caso do parque estadual Veredas do Peruaçu-MG, Brasil.....	247
<i>P. R. A. Aranha &amp; C. H. R. R. Augustin</i>	
25. Determinação da taxa de humidade superficial de um solo granítico usando o valor da amplitude do sinal do GPR.....	255
<i>J. P. Azevedo, J. D. Oliveira, B. S. Pereira, F. Fernandes &amp; T. Mota</i>	

26. The use of geophysical electrical methods in the characterization of an alluvial aquifer in a crystalline rock environment.....	265
<i>N. M. S. Alte da Veiga</i>	
27. Caracterização geofísica das aluviões de Vila Nova, Penacova - avaliação de condicionantes estruturais e da heterogeneidade hidrogeológica .....	275
<i>N. M. S. Alte da Veiga &amp; J. M. Azevedo</i>	
28. Prospeção mineralométrica com recurso a termiteiras – contributos para um método .....	285
<i>C. S. Dias Pereira &amp; C. A. Leal Gomes</i>	
29. Localização estruturada de termiteiras macrotermes pela presença de pegmatitos.....	293
<i>C. S. Dias Pereira &amp; C. A. Leal Gomes</i>	
30. Espécies vegetais metalotolerantes e sua potencial utilização na prospeção biogeoquímica e recuperação ambiental (minas de Fragas do Cavalo, Oleiros, Portugal central).....	301
<i>J. Pratas, P. J. C. Favas &amp; L. Conde</i>	

## SECÇÃO 5

### TÉCNICAS APLICADAS ÀS GEOCIÊNCIAS: FAZER BEM COM ENGENHO E ARTE

31. Barita e bentonita: funções no fluido de perfuração e potencial de uso das reservas do nordeste do Brasil .....	313
<i>C. A. M. Baltar &amp; A. B. Luz</i>	
32. Avaliação do nível de dispersão de suspensões de caulino e de carbonato de cálcio pela técnica de “slip casting” .....	321
<i>J. L. Velho, S. Conceição, A. Vasconcelos &amp; M. Quinta-Ferreira</i>	
33. Ensaios de fitorremediação de urânio com base na lixiviação de escombreliras .....	331
<i>J. Pratas, F. Pita &amp; P. Canetas</i>	
34. Estudo preliminar de fitomineração utilizando <i>allysumserpyllifolium</i> desf. subsp. <i>lusitanicum</i> (Dudley & P. Silva) em solos serpentínicos dos maciços de Bragança e de Morais (nordeste de Portugal).....	341
<i>I. Morais, J. S. Campos, J. Pratas &amp; F. Pita</i>	
35. Bioacumulação de urânio em plantas aquáticas na região da Horta da Vilariça (NE de Portugal) .....	351
<i>C. Cordeiro, P. J. C. Favas &amp; J. Pratas</i>	

36. Aplicação de tecnologia mineira na separação de plásticos para reciclagem.....	359
<i>F. Pita, N. Rodrigues &amp; A. Castilho</i>	

SECÇÃO 6  
GEOLOGIA DE ENGENHARIA:  
CONSTRUIR COM A TERRA

37. Caracterização de adobes da região do Lubango (Angola).....	371
<i>P. A. Dinis, L. Catarino &amp; T. Pascoal</i>	
38. Estudo preliminar para reciclagem de resíduos de construção e demolição finos com adição de cal hidráulica natural.....	381
<i>A. C. H. Antunes, L. Catarino &amp; F. Figueiredo</i>	
39. Zonamento geotécnico de um terreno com estruturas arqueológicas no mosteiro de Lorvão, Penacova, Portugal.....	391
<i>M. Quinta-Ferreira, J. Henriques, J. Velho &amp; M. A. Oliveira</i>	
40. Alteração e alterabilidade de rochas xistosas / vantagens para os projetos geotécnicos.....	401
<i>P. A. Ferreira &amp; F. L. Ladeira</i>	
41. Caracterização geotécnica de zonas degradadas nas margens do rio Mondego em Coimbra.....	411
<i>M. Quinta-Ferreira, M. A. Oliveira &amp; J. Henriques</i>	

SECÇÃO 7  
ESTABILIDADE DE TALUDES E DE VERTENTES:  
OS EQUILÍBRIOS SÃO TRANSITÓRIOS

42. Características do movimento de massa gravitacional na região da Prainha, área urbana do município do Rio de Janeiro (Brasil).....	423
<i>R. Porto Jr., G. R. Gouveia, B. P. Pires, V. S. Brandão &amp; N. M. Coutinho</i>	
43. Caracterização geológico-geomorfológica dos movimentos de massa ocorridos no vale do Itajaí (Estado de Santa Catarina) – Brasil - em novembro de 2008.....	433
<i>E. R. Tomazzoli</i>	
44. Caracterização da instabilidade de uma vertente na área urbana do Lubango, Angola .....	443
<i>G. N. Gonçalves, P. S. Andrade &amp; M. Quinta-Ferreira</i>	

45. Estudo de taludes instáveis na estrada Lubango-Humpata, SW de Angola.....	451
<i>P. S. Andrade; G. Prego &amp; M. Quinta-Ferreira</i>	
46. Caracterização das instabilizações de taludes de escavação no Areiro, Coimbra, Portugal .....	461
<i>M. Quinta-Ferreira, P. S. Andrade; L. L. Lemos, A. A. Saraiva</i>	

## SECÇÃO 8 RECURSOS MINERAIS: A RIQUEZA PARTILHADA

47. Licenciamento ambiental de extrações de areia e argila no estado de São Paulo, Brasil .....	473
<i>F. A. G. V. Reis, L. do C. Giordano, G. A. de Medeiros, L. E. da S. Cerri, J. E. Zaine, S. de A. Mascaro, T. Pilachevsky, J. G. C. de Macedo, D. de P. Amendola, L. S. V. Domingues, A. L. C. Christianini, C. M. Andrade, G. Lumiatti &amp; M. Lunardi</i>	
48. Litogeoquímica en el distrito minero de oro de Llamas de Cabrera (noroeste de España): implicaciones metalogenéticas .....	483
<i>F. Gómez-Fernández, E. Vindel, E. J. González-Clavijo, T. Martín-Crespo &amp; V. Sánchez</i>	
49. Produção de gesso no Brasil: mineração e processamento .....	493
<i>C. A. M. Baltar &amp; E. G. Freitas</i>	
50. Geologia do distrito turmalínífero de Mavuco, província pegmatítica do Alto Ligonha, Moçambique.....	499
<i>M. S. Martins, R. Scholz, G. Queiroga, M. Cândido Filho &amp; F. M. Belotti</i>	
51. Fatores condicionantes da exploração de granito ornamental. O exemplo dos granitos meteorizados da região de Vila Real .....	509
<i>L. M. O. Sousa, A. S. Oliveira, J. M. M. Lourenço &amp; I. M. C. Capela</i>	

## ANEXOS

Revisão Científica.....	519
Patrocínios e Apoios.....	523

## APRESENTAÇÃO

**Para Desenvolver a Terra** reúne um conjunto de contribuições apresentadas no I Congresso Internacional de Geociências na CPLP, que decorreu de 14 a 16 de maio de 2012 no Auditório da Reitoria da Universidade de Coimbra.

Assinalando os 240 anos de ensino e investigação em Geociências na CPLP, cuja génese foi a Universidade de Coimbra, e na sequência de uma iniciativa prévia que nela se realizou em 2008 – a 1ª Conferência Internacional “As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófonas”-, o congresso contou com mais de 200 participantes oriundos de todos os estados-membros da CPLP.

Nele foram apresentadas cerca de 300 comunicações orais e em painel, sobre diversos domínios das Ciências da Terra, centrando-se o presente livro nas contribuições relativas a temáticas das novas geotecnologias, dos riscos naturais e do ambiente, dos recursos minerais e dos solos, bem como da geotecnia, mobilizando conhecimento do âmbito das Ciências da Terra e relevando o papel crucial que aquela desempenha na promoção de um planeta mais seguro, saudável e próspero.

Assim, são aqui apresentados trabalhos desenvolvidos por várias equipas afiliadas a distintas instituições da CPLP, que representam abordagens técnicas e de investigação inovadoras, de aplicação do conhecimento científico à resolução de problemas e que estão candentes na sociedade tecnológica atual.

A enorme importância das geociências no bem estar e no progresso da humanidade fica aqui documentada com um leque de trabalhos de elevado interesse e que abordam problemas e soluções dos mais diversos locais da lusofonia.

Os Coordenadores da edição

(Página deixada propositadamente em branco)



SECCÃO 1  
CONCEPTUALIZAÇÃO AMBIENTAL:  
A IMPORTÂNCIA DAS IDEIAS

“Se você quer transformar o mundo, experimente primeiro promover o seu aperfeiçoamento pessoal e realizar inovações no seu próprio interior. Estas atitudes se refletirão em mudanças positivas no seu ambiente familiar. Deste ponto em diante, as mudanças se expandirão em proporções cada vez maiores”.

Dalai Lama

(Página deixada propositadamente em branco)

## RECURSOS, TECNOLOGIA, TRADIÇÕES E GESTÃO INTEGRADA DO TERRITÓRIO

### RESOURCES, TECHNOLOGY AND INTEGRATED LANDSCAPE MANAGEMENT

L. Oosterbeek<sup>1</sup>

**Resumo** – O artigo discute qual o lugar das geociências no quadro da crise global actual e da gestão do território. De forma sumária é revista a relação entre sociedade e ciência, destacando o lugar da tecnologia no comportamento humano. É apresentado o modelo teórico de gestão integrada do território.

**Palavras-chave** – Gestão integrada; Território; Recursos; Tecnologia; Culturas

*Abstract* – *The paper discusses the place of geosciences in the context of the current global crisis and of landscape management. The relation between society and science is briefly reviewed, stressing the role of technology in human behaviour. A theoretical model of integrated landscape management is presented.*

*Keywords* – *Integrated management; Landscape; Resources; Technology; Cultures*

#### 1 – Introdução. Ciências e sociedade: um passo em frente, dois passos atrás

O ponto de partida para uma reflexão em 2012 em torno do papel das geociências no contexto atual, pouco depois do Ano Internacional do Planeta Terra, e do eclodir de uma crise global pautada pela turbulência financeira, não pode ser outro senão um balanço amargo dos resultados da Cimeira da Terra em 1992 e uma expectativa ansiosa em relação à Cimeira Rio+20 (OOSTERBEEK, 2012a).

---

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Tomar. Av. Dr. Cândido Madureira 13, 2300 TOMAR / Instituto Terra e Memória. Lg. Infante D. Henrique, 6200 MAÇÃO. loost@ipt.pt

A crise que atravessa o planeta tem certamente expressões diferenciadas, com um alargamento das classes médias para Sul, mas evidencia contradições do sistema monetário internacional, em que a crise do euro mascara a insuficiência do dólar como sustentáculo do sistema construído em Bretton Woods (JONES, OCAMPO E STIGLITZ, 2010). Existe, na economia, uma recomposição de relações, que expressa a construção de novos blocos geoestratégicos, sócio-económico-culturais, e em que a logística dos processos de produção, distribuição e consumo parece marcada por um lado pela sua flexibilidade geográfica (deslocalizações) e por outro pela deslocação do epicentro dos processos (da proximidade das matérias-primas para a proximidade dos locais estratégicos de intercâmbio).

Esta realidade económica, que define o ritmo do papel das geociências, prolonga-se numa recomposição social, marcada pela quebra de natalidade à escala global (com a grande exceção africana), pelo aumento do desemprego em todas as regiões e pelo aumento da insegurança (evidenciado pelo retorno da pirataria ao Índico, onde os interesses conjugados das grandes potências atuais se revelam mais frágeis que o poderio naval português, cinco séculos antes).

A despeito das recomendações do Relatório Brundtland em 1987 (UNITED NATIONS, 1987) e das expectativas de 1992, as diversas metas definidas não foram alcançadas, e o acesso à energia, a solos produtivos e a água potável, estão entre os maiores focos de tensão e guerra, na actualidade. Neste âmbito, o século XXI já se apresenta como um século de crescente mobilidade, não apenas pela via do turismo ou da migração de causa económica, mas em função de números crescentes de refugiados de territórios de estado fraco ou falhado, onde não raro se concentram reservas estratégicas de matérias primas essenciais. A correspondente dissolução das fronteiras é acompanhada por uma dispersão e potencial perda de saberes resultantes de processos seculares de adaptação (OOSTERBEEK, 2006).

Finanças, economia, dinâmicas sociais, ambiente... são elos de um só complexo sistémico de base territorial (KANT, 1802), mas que não encontram uma eficiente resposta sistémica. Com efeito, as respostas académicas, para não referir as políticas (cujas fronteiras locais ou nacionais se revelam impotentes para desenhar estratégias globais), são parcelares, disciplinares, segmentadas, mesmo quando enquadradas em modelos de planeamento (ALVES, 2007; FERREIRA, 2007). A melhor expressão dessa realidade é a actuação e reflexão segmentada a respeito dos pilares do “Three Bottom-line”, com especialistas de economia, ambiente e sociedade a fecharem-se nas suas especialidades e a ignorarem, todos, a dimensão cultural das percepções que as sociedades têm dessas mesmas vertentes. É essa limitação epistemológica, de um modelo de sustentabilidade no essencial correcto, que importa superar (BATISTA, 2011; FARO, POUSA e FERNÁNDEZ, 2005).

A sociedade tem pela frente um desafio central: a questão energética. Enquanto alguns buscam novas fontes energéticas, desmentindo a morte prematura dos combustíveis fósseis, outros apostam, há décadas, na redução do consumo e na construção de novos padrões comportamentais. Da pesquisa petrolífera off-shore ao gás de xisto, o ritmo da economia tem sido marcado pelos primeiros, enquanto que o ritmo das opções conceptuais consubstanciadas nas políticas públicas é determinado pelos segundos. Esta realidade, que se evidencia ao se conjugar as declarações e convenções internacionais com o mapeamento dos principais focos de crescimento económico neste momento no planeta, gera contradições que estão na origem das desilusões sucessivas do pós-Kyoto, em Joanesburgo ou Copenhaga (SOROMENHO-MARQUES, 2010).

As geociências têm conhecido, neste contexto, avanços impressionantes, sobretudo no que concerne à “última fronteira”, o interior do planeta. O ano internacional do planeta Terra evidenciou esses avanços, da cartografia e informação geo-referenciada ([www.onegeology.org](http://www.onegeology.org)), à prospeção profunda (tomografia sísmica,...), passando pelo refinamento da crono-estratigrafia (cronologia astronómica) e pela colaboração nas tecnologias convergentes. Novas técnicas de prospeção e de exploração permitiram expandir as reservas fósseis exploráveis, ao mesmo tempo que avançaram os conhecimentos para minimização de problemas centrais, como o armazenamento de resíduos, as emissões de CO<sub>2</sub>, a produção de energia “limpa” ou a descontaminação de águas.

No entanto, esses avanços, determinantes na economia e inegáveis no plano global, não são acompanhados de verdadeiros progressos no plano da sustentabilidade: duas décadas após a cimeira de 1992, o planeta está pior nos planos económico (crise global), social (empobrecimento da classe média no hemisfério norte sem correspondente diminuição do fosso social no hemisfério sul) e, sobretudo, ambiental. Face ao crescimento demográfico à urbanização acelerada, ambos concorrendo para uma pressão acrescida sobre os ecossistemas, verifica-se uma governança ambiental decrescente (ilustrada pelas hesitações e mesmo desinteresse dos estados em torno da cimeira Rio+20) e uma crise profunda do estado social, nos poucos países em que ele se chegou a implementar no último meio século. Mais uma vez, as respostas surgem parcelarmente: Tecnologia, Economia, Finanças...

## 2 – Recursos, sociedade, tecnologia: uma equação historicamente difícil

Não é a primeira vez que, apesar das aparências, ocorre uma crise sistémica que afecta a rede de intercâmbios e a estabilidade social de uma malha de povoamento urbano. Ainda que em escalas mais limitadas, mas apesar de tudo comparáveis em função da tecnologia de transportes e comunicações então existente, diversas civilizações no passado pereceram rapidamente perante a combinação de fatores ambientais e climáticos (o mundo Micénico, a Roma imperial, a civilização Maia, o império Asteca, etc.). Inversamente, face a crises igualmente sérias, não são raros os exemplos de desenvolvimento, ainda que através de grandes convulsões: o império Helénico construído sobre a crise da Grécia clássica, o experimentalismo em Portugal gerando a expansão marítima e económica do pequeno Portugal na aurora da modernidade, a revolução industrial na Europa afetada pela “Pequena Idade do Gelo”, que teve paralelos, por exemplo, na emergência das Missões Jesuíticas da Província do Paraguai, no século XVII.

Nuns contextos, como nos outros, não foi a natureza dos recursos e da sua melhor ou pior distribuição que foi determinante, e sim a capacidade de por um lado aumentar o capital humano e, a partir deste, identificar novos recursos entre as mesmas matérias-primas e desenvolver a tecnologia adequada à sua exploração (KELLY e Ó GRÁDA, 2010). Em todos os exemplos de superação mencionados, a resiliência resultou de uma combinação do contexto ambiental com novas tecnologias e com capital humano apoiado numa forte diversidade cultural: macedónios e a miríade de gregos e outros povos do mundo helénico, católicos e judeus apoiados na diversidade mediterrânica com o Portugal quatrocentista, etc.

Neste sentido, a intervenção dos especialistas em geociências não se deve limitar à esfera da identificação e transformação dos recursos geológicos, mas deve, também,

considerar a dimensão da socialização do conhecimento para o reforço de uma compreensão universal das relações entre recursos, tecnologia e comportamento humano. Esta compreensão é mais facilmente evidenciada no cruzamento da história da ciência com a história social, económica e cultural, de que o património cultural funciona como um fóssil. Na verdade, cabe aos geocientistas a tarefa de destacar a dimensão técnico-científica, e não apenas social e estética, do que a sociedade percebe como “património”. As geociências têm prestado especial atenção ao património natural, apoiando por exemplo a constituição de geoparques, mas é fundamental que nessa aceção de “natureza” as sociedades humanas, atuais e do passado, sejam o foco: porque qualquer discurso de valorização territorial que não parta das necessidades humanas, para então enquadrar em contextos mais amplos e complexos, estará votado ao fracasso (OOSTERBEEK, CURA e LOPES, 2011).

Para tal, é fundamental não isolar os debates sobre as questões específicas das geociências, pois não é possível discutir a gestão dos recursos fora de uma discussão global sobre os territórios e os debates isolados reforçam, na verdade, a alienação, principal inimigo da sustentabilidade. Às geociências cabe, em primeiro lugar, sublinhar as dimensões espacial (escala) e temporal (processos) da sustentabilidade (que só existe no sistema, e não em cada uma das suas parcelas, contrariamente ao entendimento vulgar).

É neste âmbito que se insere a compreensão dos processos de gestão territorial, que não apenas são informados pelas geociências, mas também as condicionam. O chamado tripé da sustentabilidade deve ser revisto, compreendendo que sociedade, economia e ambiente são como planetas em órbita, em torno de um núcleo central, que os interpreta e gere: as culturas (OOSTERBEEK, 2012b). Pois é pela força gravitacional das culturas que os referidos pilares da sustentabilidade se isolam ou mantêm equilíbrios dinâmicos. Por sua vez, as culturas são forjadas a partir da compreensão socialmente participada da realidade, isto é, por um lado pelo conhecimento abstrato (que inclui o saber científico mas, também, o senso comum, cabendo à academia socializar o primeiro) e por outro pelo conhecimento derivado da construção de aplicações práticas de articulação entre necessidades e recursos, mediada pela tecnologia (a logística). É este equilíbrio sistémico, distinto nos detalhes de cada cultura, que constitui o cerne da sustentabilidade, cuja compreensão plena, apoiada no reforço do capital humano (que a reforça), permite construir cenários de futuro sobre os quais os diversos interesses sociais podem agir e convergir (gerando dinâmicas de governança).

É este modelo, apoiado num conjunto de instrumentos específicos e inovadores de gestão territorial, que a partir de uma parceria entre o Instituto Terra e Memória em Portugal e o Instituto Bio-Atlântica no Brasil, temos vindo a implementar em diversos contextos (OOSTERBEEK e SCHEUNEMANN, 2010). O modelo, também monitorizável através de um sistema de certificação territorial (SCHEUNEMANN, 2009; SCHEUNEMANN, CARVALHO e PIMENTA, 2011), apoia-se em quatro componentes fundamentais: formação de capital humano orientada para a gestão integrada do território (GIT), construção de uma matriz territorial que permita o envolvimento do conjunto da população (centros de recursos, espaços de memória, projeto consorciados), comunicação (socialização do conhecimento) e estruturação de dinâmicas resilientes de governança. Este modelo tem sido aplicado com sucesso em diversos contextos, devendo destacar-se, pela sua escala e complexidade, o plano de gestão do complexo industrial do superporto do Açú, no nordeste fluminense, no Brasil (OOSTERBEEK, SCHEUNEMANN et al., 2011).

Este modelo passa por uma redefinição da sustentabilidade, não já como um sistema tripolar, mas como um fluxo processual, em que a um sistema tetrapolar se adicionam os mecanismos de gestão territorial conducentes à governança (ANDRADE e ROSSETTI, 2009).

A integração territorial deve ser, neste contexto, construída como produto do quociente de capital humano (expressão do capital humano em relação à matriz territorial) com o resultado do cruzamento da tecnologia com os recursos naturais, com o conhecimento socializado condicionador de comportamentos (tradições e comunicação) e com a governança.

### 3 – Conclusão

Em todos os períodos de crescimento económico, cresceu também o consumo de energia, verificando-se também que em todos os momentos em que esse consumo diminuiu (como no fim do império romano ou no século XIV) tal foi acompanhado por massivas reduções demográficas e, geralmente, pela decadência civilizacional. Não existem exemplos históricos de voluntária e continuada redução do consumo energético, com a consequente diminuição da produtividade e agravamento das condições sociais. E não há, de facto, nenhuma razão para imaginar que possa ser diverso, no contexto atual.

A inovação tecnológica é, assim, uma chave essencial para uma eventual saída positiva da crise atual (SANTOS, 2007). Ela está a ser implementada (quando se inicia a exploração de petróleo de águas rasas ou o gás de xisto, por exemplo, ou quando se equaciona a reciclagem do CO<sub>2</sub> como combustível químico), mas não é em si suficiente. A ausência de uma estratégia que atenda simultaneamente às dimensões sociais e ambientais tem provocado crescentes rupturas: o empobrecimento da classe média no hemisfério norte e a crise das universidades tende a empobrecer o capital humano e a estrangular, num futuro próximo, a inovação tecnológica; as estratégias não equilibradas de desenvolvimento têm conduzido a rupturas ambientais (China), económicas (Europa, USA) e sociais (Líbia, Somália, Iraque,...para além das tensões sociais crescentes nos demais países).

É por isso fundamental reequacionar a questão dos recursos, e em especial dos recursos geológicos, a partir das necessidades das sociedades humanas (que incluem a sustentabilidade global, ambiental, do planeta), e das perceções do território que os diferentes grupos humanos estruturam (SARAIVA, 1999), com um foco particular na tecnologia inserida num programa integrado de gestão territorial. Um tal programa só será eficiente se tiver a adesão da população, e não apenas de algumas elites, apoiada numa visão de futuro comum, que por sua vez só pode emergir na base da consciencialização/educação: a população tem de compreender a complexidade dos processos, o que implica criar as condições para poder acreditar, imaginar e, finalmente, interpretar a realidade de forma socialmente participada. Para tal, é essencial uma didática que valorize o papel da tecnologia para as sociedades humanas, partindo da valorização das ainda existentes tradições culturais (dado que o núcleo de tais tradições são precisamente as estratégias de adaptação ao ambiente através das técnicas), o que por sua vez implica uma nova relação entre as geociências e as humanidades (OOSTERBEEK, 2010). Esta é a razão pela qual uma gestão eficiente dos recursos geológicos só pode ser feita no âmbito de uma gestão integrada do território.

**Agradecimentos** – o autor agradece à organização do I Congresso de “Geociências na CPLP” o convite para a apresentação da conferência que originou o presente texto. Os avanços teóricos e aplicados no domínio do modelo de gestão integrada do território não seriam possíveis sem o apoio do Instituto Terra e Memória (Portugal) e do Instituto BioAtlântica (Brasil), e decorrem de um trabalho de equipa coordenado pelo autor do artigo e por Ingelore Scheunemann. Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

### Referências Bibliográficas

- ALVES, R. M. A. (2007) – Políticas de Planeamento e ordenamento do território no Estado Português. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 641 p.
- ANDRADE, A. & ROSSETTI, J. P. (2009) – Governança Corporativa. Fundamentos, desenvolvimento e tendências. São Paulo, Ed. Atlas, 584 p.
- BATISTA, E. (2011) – The new sustainable development paradigm. Bioma – revista de sustentabilidade, recursos humanos e inovação, nº 1, p. 89-93
- FARO, L.C., POUSA, C. & FERNANDEZ, C. (2005, eds.) – Conversas com Eliezer. Rio de Janeiro, Insight Engenharia de Comunicação
- FERREIRA, A. F. (2007) – Gestão Estratégica de Cidades e Regiões. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 431 p.
- JONES, S. G., OCAMPO, J. A. & STIGLITZ, J. E. (2010, eds) – Introduction. In: Time for a Visible Hand: Lessons from the 2008 World Financial Crisis. Oxford University Press, p. 1-17
- KANT, I. (1999) – Géographie. Paris, ed. Aubier. 1ª edição: Alemanha, 1802
- KELLY, M. & Ó GRÁDA, C. (2010) – The economic impact of the little ice age. University College Dublin, W.P.10-14, 24p.
- OOSTERBEEK, L. (2006) – A Insustentável Ligeireza do Desenvolvimento. In: TOSTÕES, A., OLIVEIRA, E. R. A., et al. (eds.). Encontro de saberes : três gerações de bolseiros da Gulbenkian, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian
- OOSTERBEEK, L. (2010) – Is there a role for the humanities in face of the global warming and social crisis? Journal of Iberian Archaeology, vol. 14, p.97-103
- OOSTERBEEK, L. (2012a) – Our common future...25 years later: 10 questions and answers moving from anxiety into the praxis of landscape management. In: SCHEUNEMANN, I. e OOSTERBEEK, I. (coord.). A New Paradigm of Sustainability, Theory and Praxis of Integrated Landscape Management. Rio de Janeiro, Instituto BioAtlântica (no prelo)
- OOSTERBEEK, L. (2012b) – Princípios de Gestão Integrada do Território. In: SCHEUNEMANN, I. e OOSTERBEEK, I. (coord.). Gestão Integrada do Território. Economia, Sociedade, Ambiente, Cultura. Rio de Janeiro, Instituto BioAtlântica (no prelo)
- OOSTERBEEK, L., CURA, S. & LOPES, R. B. (2011) – Pensar local...agir global. O museu de arte pré-histórica de Mação: memória, intuição e expectativa. Encontro Arqueologia e Autarquias, Cascais, Câmara Municipal, p. 471-483
- OOSTERBEEK, L., SCHEUNEMANN, I. et al. (2011) – Gestão integrada de grandes espaços urbanos. Uma reflexão transtlântica. Revista Internacional em Língua Portuguesa, III série, nº 23, p. 163-176
- OOSTERBEEK, L. & SCHEUNEMANN, I. (2010) – Falsas contradições entre crescimento e desenvolvimento. Custo Brasil. Soluções para o Desenvolvimento, Ano 5: nº 25, Fevereiro /Março 2010, p. 29-30.



- SANTOS, F. D. (2007) – Que futuro? Ciência, tecnologia, desenvolvimento e ambiente. Lisboa, Gradiva pub., 586 p.
- SARAIVA, M. G. A. N. (1999) – O Rio como Paisagem. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 512 p.
- SCHEUNEMANN, I., CARVALHO, J. A. G. & PIMENTA, J. A. (2011) – Certificação territorial: uma nova bússola para o mundo. *Custo Brasil – Soluções para o Desenvolvimento*, nº 30, p. 5-8.
- SCHEUNEMANN, I. (2009) – Uma Nova Perspectiva sobre Sustentabilidade. *Forever Brazil – Revista Brasileira de Desenvolvimento Sustentável*, 10(37), pp. 10-14
- SOROMENHO-MARQUES, V. (2010, coord.) – Ambiente na encruzilhada. Por um futuro sustentável. Lisboa, Esfera do Caos ed., 237p.
- UNITED NATIONS (1987) – Report of the World Commission on Environment and Development. General Assembly Resolution 42/187, 11 December 1987

(Página deixada propositadamente em branco)

A CONCEPÇÃO DE COMPLEXOS AMBIENTAIS CULTURAIS  
COMO ESTRATÉGIA DE PROTEÇÃO, GESTÃO E VALORIZAÇÃO  
DA PAISAGEM E DA GEODIVERSIDADE DA REGIÃO  
METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE, BRASIL

THE CONCEPTION OF CULTURAL ENVIRONMENTAL  
COMPLEXES AS PROTECTION, MANAGEMENT AND ENHANCEMENT  
STRATEGY OF THE BELO HORIZONTE METROPOLITAN REGION,  
BRAZIL GEODIVERSITY AND LANDSCAPE

F. B. Almeida<sup>1</sup>, A. Sancho<sup>2</sup>, M. Lousada<sup>3</sup> & R. Leitão<sup>4</sup>

**Resumo** – O presente ensaio apresenta os resultados dos estudos voltados à conformação de Complexos Ambientais Culturais (CAC), no âmbito do processo de elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI), realizado nos anos de 2009 e 2010. Os complexos ambientais culturais resultam do estudo das vocações ambientais e culturais da RMBH, e consistem em uma estratégia que visa interferir positivamente na proteção e promoção do patrimônio paisagístico e da geodiversidade da RMBH, privilegiando uma abordagem integrada e transversal de planejamento e gestão. Nessa direção, os estudos envolveram a identificação de unidades de paisagem geoambientais, identificação e caracterização de conjuntos paisagísticos da RMBH e o reconhecimento das demandas sociais da população metropolitana. A partir daí, foi possível reconhecer os elementos culturais e ambientais conformadores da identidade metropolitana, identificar políticas público-institucionais que determinam sua estruturação, bem como novas formas de apropriação social de espaços públicos, com vistas à conformação de Complexos Ambientais Culturais na RMBH.

---

<sup>1</sup> Professora Assistente III do Departamento de Geografia/Curso de Turismo da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil; fabianabernardes@hotmail.com

<sup>2</sup> Professor Assistente II do Departamento de Geografia/Curso de Turismo da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil; altairsancho@hotmail.com

<sup>3</sup> Professora Assistente III do Departamento de Geografia/Curso de Turismo da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil; lousadamarcia@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Bacharel em Turismo pela Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil; rmfleitao@hotmail.com

**Palavras-chave:** Paisagem; Complexos Ambientais Culturais; Região Metropolitana de Belo Horizonte

26

*Abstract* – This paper presents the studies results about the conception of cultural environmental complexes (CAC), in the process of preparing the Master Plan for Integrated Development of the Belo Horizonte Metropolitan Region (PDDI), accomplished during 2009 and 2010. The cultural environmental complexes resulting from the research of RMBH environmental and cultural vocations, and consist in a strategy to aim contribute the RMBH landscape and geodiversity protection and promotion, favoring the integrated approach planning and management. In this sense, studies involving the identification of landscape geoenvironmental units, identification and characterization of RMBH landscaped sets and recognition of the social demands of the metropolitan population. Therefore, it was possible to recognize environmental and cultural elements that resign metropolitan identity, identify institutional public policies that determine their organization, as well as new forms of social appropriation of public spaces, with a view to resign the cultural environmental complexes in the RMBH.

*Key-words:* landscape, cultural environmental complexes, Belo Horizonte Metropolitan Region.

## 1 – Introdução

A Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH, localizada na região centro-sul do Estado de Minas Gerais, Brasil, foi instituída em 1973 pela Lei Complementar nº14. Originalmente composta por 14 municípios, atualmente a RMBH é formada por 34 municípios (conforme Figura 1, abaixo), terceira maior aglomeração urbana do Brasil, com uma população 4.882.977 habitantes, conforme o Censo 2010 (IBGE, 2010). Considerada o centro político, financeiro, comercial, educacional e cultural de Minas Gerais, seu produto metropolitano bruto (PMB) somava em 2008 cerca de 61 bilhões de dólares (IBGE, 2010), o que representa cerca de 40% da economia e 25% da população do Estado.

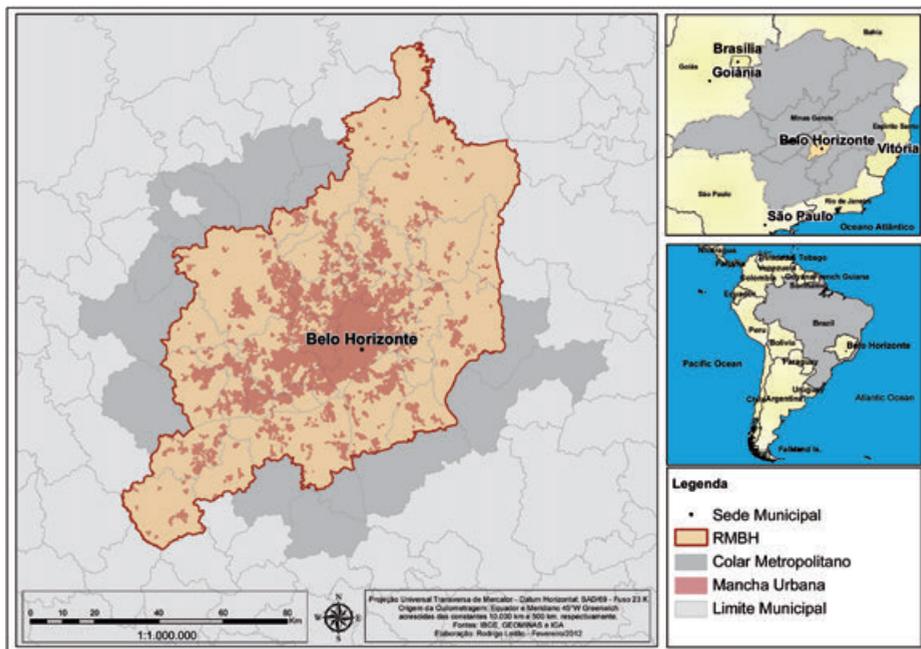


Fig. 1 – Localização da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

Segundo PDDI (2010), depois de quase 10 anos de interrupção das ações concretas de planejamento metropolitano<sup>5</sup>, o Governo do Estado decidiu implantar um novo modelo de gestão metropolitana a partir de 2004, após um amplo processo de discussão pública. Em 2006, com a aprovação das Leis Complementares 88, 89 e 90, foi estabelecido o novo arranjo institucional para a gestão e planejamento da RMBH. Foram definidos como órgãos de gestão a Assembléia Metropolitana e o Conselho Deliberativo de Desenvolvimento Metropolitano (criados em 2007), e como órgão de suporte técnico e de planejamento a Agência de Desenvolvimento Metropolitano – Agência RMBH (criada em 2009). Foram definidos também os instrumentos de gestão metropolitana, que funcionam como dois pilares do sistema – um de planejamento, o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI-RMBH), ou Plano Metropolitano, e outro financeiro, o Fundo de Desenvolvimento Metropolitano. Ainda em 2009, o processo de construção do Plano Metropolitano foi iniciado, sob a Coordenação do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional – CEDEPLAR da Universidade

<sup>5</sup> Em 1974 foi criado o ente gestor da RMBH sob a forma de uma autarquia estadual, a Superintendência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte – Plambel. O Plambel, extinto em 1996, foi responsável por uma rica e extensa experiência de planejamento integrado, pela elaboração de diagnósticos e planos de alto nível técnico e pela formação de uma geração de planejadores ainda atuantes na RMBH. Todavia, o planejamento metropolitano vigente à essa época caracterizava-se pelo excessivo centralismo e autoritarismo, não abrindo espaço para a participação efetiva dos municípios nem da sociedade civil.

Federal de Minas Gerais – UFMG<sup>6</sup>. Fundamentado em pressupostos mais democráticos, participativos e incluídos, o PDDI se propôs a construir um processo abrangente de planejamento da RMBH, com vistas à transformação social, econômica e ambiental desse território e à (re)afirmação do sentido de solidariedade e de identidade metropolitana, de maneira a impactar positivamente na melhoria da qualidade de vida de seus moradores<sup>7</sup>.

Considerando esses objetivos, um dos desafios do processo de planejamento foi conceber um caminho teórico-metodológico direcionado ao estudo, proteção, gestão e valorização das paisagens metropolitanas, a partir de uma perspectiva voltada ao reconhecimento da importância das interações e relações significativas entre o homem e o meio ambiente natural, de maneira a privilegiar os aspectos materiais e simbólicos deste processo de apropriação territorial. Nessa direção, priorizou-se uma visão que questiona a tradicional ideia de distanciamento e separação de cultura e natureza - refletida na adoção de políticas e programas específicos e independentes para o patrimônio natural e para patrimônio cultural - justamente por essa abordagem implicar em iniciativas pouco eficazes de proteção e valorização dos recursos naturais e culturais, órgãos com pouca transversalidade em planejamento, além de ações, orçamentos e dotações financeiras díspares, que acabam por reforçar esse distanciamento.

Inspirados nessa perspectiva, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar a experiência de conformação de Complexos Ambientais Culturais, no âmbito do processo de concepção do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Os Complexos Ambientais e Culturais (CAC's) representam uma iniciativa voltada à proteção e promoção do patrimônio paisagístico na RMBH, privilegiando uma abordagem integrada e transversal de planejamento e gestão.

## 2 – Bases teóricas para a concepção dos CAC'S

O desafio de se conceber a proposta dos Complexos Ambientais Culturais partiu da necessidade de se considerar as várias camadas que compõem a metrópole no processo histórico de sua formação. HISSA & MELO (2008, p. 297), mencionando David Harvey, reconhecem a cidade contemporânea como “[...] uma superposição de camadas espaciais distintas que vão se acumulando ao longo do tempo.” Sua identidade resulta da leitura do todo que a preside e, ao mesmo tempo, de suas particularidades, que incorporam as relações do cotidiano.

Os complexos ambientais culturais resultam da leitura dos marcos paisagísticos relacionados aos processos de apropriação do espaço da metrópole, em suas várias formas, ou seja, pela compreensão das relações que são estabelecidas entre o homem e o lugar onde vive. Segundo LEFF & VALENZUELA (2001), deve-se pensar as formações sociais como resultado da interação das populações com o ambiente – uma *práxis* social decorrente de sua adaptação ao meio. A apropriação da natureza e sua transformação

---

<sup>6</sup> Em parceria com a Pontifícia Universidade Católica – PUC/MG e Universidade Estadual de Minas Gerais, reunindo cerca de 170 profissionais, entre professores, pesquisadores, consultores e alunos de pós-graduação e graduação dessas universidades.

<sup>7</sup> Para maiores informações sobre o PDDI, ver <<http://www.rmbh.otg.br>>.

dependem das relações que se estabelecem entre o meio físico e as diferentes culturas. A esse respeito, COSTA *et al.* (2008, p. 94) citando Norgaard, afirma que “[...] os aspectos culturais e ambientais evoluem estreitamente interligados [...] (pois decorrem) de uma visão contemporânea da ciência, em que as distinções entre cultura e natureza tendem a ficar menos nítidas”. Essa reflexão evidencia a necessidade do (re)conhecimento e compreensão do valor simbólico do patrimônio cultural para uma determinada população, cuja abrangência incorpora bens culturais, móvel e imóvel ou natural, estético, artístico, documental, científico, social, espiritual ou biofísico (FUNARI & PELEGRINI, 2006).

Nessa direção, os CAC’s são compreendidos como parte integrante do patrimônio cultural que compõem as paisagens regionais da RMBH e que, dessa forma, apresentam-se, visualmente, como objetos. Nesta dimensão, podem ser definidos por suas formas estruturais (geoambiental e construída), resultantes da ação do homem sobre a natureza. Esta ação é geradora de significados e valores às formas/objetos. Nessa direção, estudar os conjuntos paisagísticos significa adentrar o território nas suas dimensões visíveis, para então, compreender seus valores e significados. Da mesma forma que, ordenar o território envolve, sempre e ao mesmo tempo, mas em diferentes graus de correspondência e intensidade, uma dimensão simbólico-cultural, além de uma dimensão concreta marcada pelas bases físicas, forças de trabalho e pelas relações de produção (HAESBAERT, 1997).

### 3 – O processo de conformação dos CAC’S

A elaboração do presente estudo da RMBH, à luz dos complexos ambientais culturais, abarcou diferentes escalas de análise. Em um primeiro momento, adotou-se a escala microrregional, com o intuito de identificar as unidades geoambientais que imprimem identidade geofísica à metrópole. A partir de estudos de SAADI (2002), sobre as bases geoambientais formadoras das paisagens regionais encontradas na RMBH, foi possível identificar e definir cinco unidades geoambientais da RMBH: Quadrilátero Ferrífero, Depressão Belorizontina, Borda Oeste da Serra do Espinhaço Meridional, Grupo Bambui/Carste e Médio Paraopeba. Estas unidades geoambientais constituíram o ponto de partida para a compreensão das vocações ambientais e culturais da RMBH, e possibilitaram a identificação e posterior aprofundamento dos estudos de seus conjuntos paisagísticos, pano de fundo das propostas de concepção de complexos ambientais culturais. Tais estudos, que consideraram a escala local de análise (considerada como área mínima resultante de dois limites municipais), envolveram a identificação e caracterização de conjuntos paisagísticos de significativa relevância simbólica no contexto da metrópole, a partir de elementos naturais, históricos e culturais, por unidade geoambiental.

Neste etapa, considerou-se como variáveis para identificação espacial de cada conjunto paisagístico, os corredores naturais (serras e vales) capazes de integrar, em função dos valores histórico e simbólico, cidades e distritos localizados nas respectivas áreas de influência de cada conjunto. As pesquisas envolveram levantamento de dados em fontes secundárias, análise dos planos diretores municipais, levantamento de programas e projetos em execução na RMBH, capazes de contribuir para a estruturação





RMBH e, também, para recarga de mananciais superficiais e subterrâneos e formação de diversas cachoeiras e lagoas, que interferem diretamente na atração de visitantes. A região do Quadrilátero Ferrífero vem sofrendo inúmeros impactos associados ao crescimento da visitação turística e de lazer, ampliação da urbanização (sobretudo pela construção de condomínios horizontais), uso agrícola e intensificação da exploração dos recursos minerais (em especial, o minério de ferro).

A Unidade Geoambiental Depressão Belo Horizontina abarca a porção centro-leste da RMBH e se estende até a porção oeste desta região, abrangendo três conjuntos paisagísticos: Sistema Serra Azul/Serra do Elefante; Represa Várzea das Flores e Centro Metropolitano. Em decorrência da forte ação da atividade mineradora no domínio da Depressão Belo Horizontina, sobretudo ao longo década de 1980, verifica-se a existência de diversas áreas remanescentes desta atividade na região. Partes dessas áreas encontram-se atualmente ociosas e, podem vir a se tornar potenciais pontos de observação das cidades ou mesmo áreas de lazer, constituindo, portanto, novos espaços de apropriação social. Nessa região, pode-se destacar a existência de traços de ruralidade, representados pela presença e forte incentivo à agricultura familiar, festas típicas e fazendas históricas, que conformam na região uma vocação para o turismo rural e ecológico. Ao mesmo tempo, a Depressão Belorizontina concentra a grande área urbana da RMBH, representada por uma extensa e contínua mancha urbana. Além de uma ampla rede de serviços, esta região apresenta grande diversidade de equipamentos e eventos culturais e espaços de lazer, que se consolidam como marcos paisagísticos locais, com grande reconhecimento e representatividade social.

Na região nordeste da RMBH, está localizada a Unidade Geoambiental Borda Oeste do Espinhaço, que abrange o conjunto paisagístico Serra do Cipó. Nesta área, iniciam-se de forma mais visível as feições geomorfológicas da Serra do Espinhaço, denominada localmente de Serra do Cipó. Essa região incorpora ainda inúmeras manifestações culturais, festas religiosas, artesanato e culinária local. Como resultado deste potencial, o turismo tem se desenvolvido com grande intensidade, sobretudo, a partir de balneários, *campings*, hotéis-fazenda, entre outros. Esta região tem sofrido fortes pressões antrópicas, representadas pelo intenso desmatamento e impactos sobre os mananciais de água, decorrentes da ocupação do território, atividades agropecuárias e visitação turística.

Já a Unidade Geoambiental Bambuí, localizada na porção Norte-Noroeste da RMBH, é formada por rochas carbonáticas metassedimentares conhecidas como Grupo Bambuí. Nesta unidade, foram considerados dois conjuntos paisagísticos: APA Lagoa Santa/Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN) e os Núcleos Tradicionais do entorno da APA Lagoa Santa/AITN. O primeiro conjunto paisagístico integra o denominado relevo Cárstico, resultante da dissolução da rocha carbonática que produz uma paisagem com características peculiares, de relevo relativamente aplainado. Grutas, sítios arqueológicos, lagoas, paredões calcáreos são elementos marcantes dessa unidade ao lado de construções históricas e das instalações contemporâneas do complexo aeroportuário do AITN e do Centro Administrativo do Governo do Estado, recentemente inaugurado. São áreas de grande beleza cênica onde ocorrem sítios de importância arqueológica, paleontológica e espeleológica de importância para o estudo da origem do homem nas Américas e como provedora de mananciais de água subterrânea para abastecimento público. Outra paisagem identificada tem como eixo principal o vale do Ribeirão da Mata,

onde estão localizados os núcleos urbanos mais adensados que surgiram em função do sistema ferroviário, onde se desenvolveram as sedes municipais e as atividades industriais que fortaleceram o processo de ocupação da região na primeira metade do Séc. XX. O estado de conservação da região indica impactos ambientais negativos sobre os recursos naturais e sobre os elementos da paisagem, decorrentes da intensificação de atividades minerárias, seguida pela pressão de ocupação para residências de final de semana e pelas atividades industriais.

Por fim, na Unidade Geoambiental da Porção Sul do Médio Paraopeba, localizada na região noroeste da RMBH (que abrange os municípios de Brumadinho, Itaguara, Itatiaiuçu e Rio Manso) foi identificado o conjunto paisagístico Rio Manso/Serra do Itatiaiuçu. O Conjunto Paisagístico Rio Manso/Serra do Itatiaiuçu é composto por elementos marcantes como o Pico do Itatiaiuçu, no município de Itatiaiuçu; o Museu de Arte Contemporânea e Jardim Botânico Inhotim, em Brumadinho; e o Sistema Rio Manso da Copasa, nos municípios de Rio Manso, Brumadinho e Itatiaiuçu. O Conjunto possui ainda grande riqueza no ponto de vista cultural, como bens patrimoniais materiais e imateriais, muitos destes tombados, comunidades tradicionais, manifestações culturais, como as guardas de congo e Moçambique, e artesanato em tear. De uma maneira geral, o caráter rural predomina nos municípios que envolvem esse Conjunto, sendo que a agricultura é predominantemente familiar, com presença marcante de pequenas e médias propriedades.

Em geral, o estudo sobre os conjuntos paisagísticos da RMBH evidenciou um grande potencial natural e cultural, capaz de fundamentar a proposição de novos espaços metropolitanos de significativa representatividade sociocultural, ao mesmo tempo em que alertou para a necessidade de se adotar estratégias de conservação da geo e biodiversidade, ampliação de espaços verdes e de lazer para a população, incremento de políticas culturais e de iniciativas de educação, de forma estruturante e abrangente. Nessa direção, com base na identificação das vocações geoambientais, históricas e culturais da metrópole e das políticas públicas estruturadoras desse território, do reconhecimento elementos culturais e ambientais conformadores da identidade metropolitana, bem como de novas formas de apropriação social de espaços públicos, foi possível conceber a proposta dos complexos ambientais culturais em uma escala microrregional (CAC). A implementação dos CAC's está ancorada em políticas voltadas: i. à autonomia e fortalecimento das diferentes manifestações culturais; ii. à proteção dos marcos paisagísticos de cada conjunto paisagístico; iii. à recuperação ambiental das áreas degradadas; iv. à ampliação de espaços culturais e verdes para a população metropolitana, e; v. ao incremento de infraestrutura viária e urbana para criação de uma rede integrada de lugares metropolitanos.

No âmbito de cada CAC foi possível apontar também, mesmo que de maneira preliminar, complexos locais, que resultam da identificação de lugares metropolitanos existentes e/ou potenciais, bem como de suas interações/interseções. Os lugares metropolitanos são concebidos como espaços de pertencimento da população metropolitana, locais de encontro e de trocas culturais. Sua relevância natural e/ou cultural e forte expressão simbólica, associada ao seu caráter dinâmico, impedem a delimitação exata de "fronteiras" entre os complexos locais, aspecto que comprometeria a natureza desses territórios. Nessa direção, foi realizado um esforço incipiente de aproximação dos territórios dos CAC's, apresentado na figura 3, abaixo.

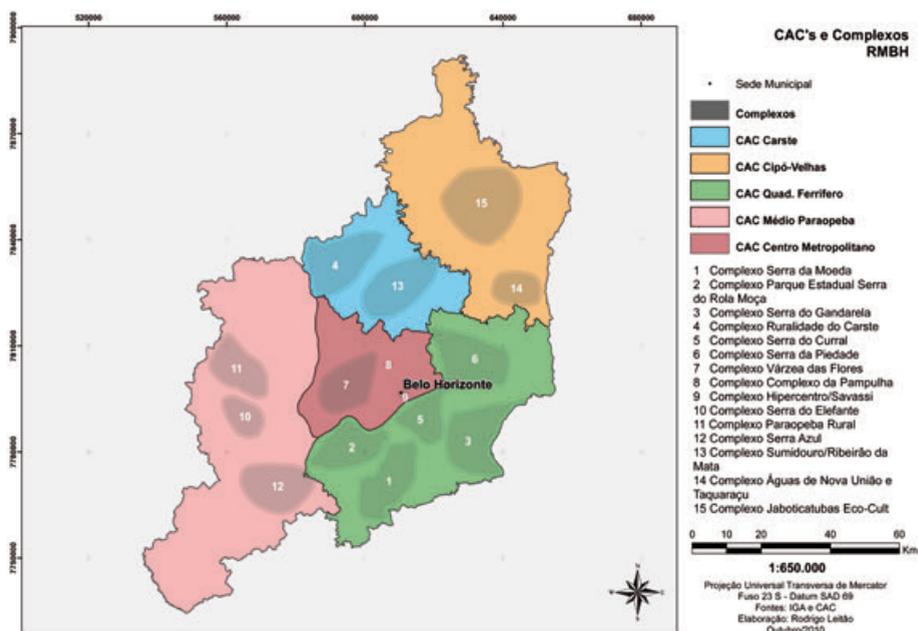


Fig. 3 – CAC's e Complexos Locais da RMBH.

A presente proposta de conformação de Complexos Ambientais Culturais representa um esforço incipiente mas profícuo no sentido de se interferir positivamente na proteção e promoção do patrimônio paisagístico na RMBH, a partir de uma abordagem integrada e transversal de planejamento e gestão. Para tanto, são necessárias iniciativas voltadas ao aprofundamento dos estudos dos Complexos Ambientais Culturais da RMBH, com o intuito de identificar e caracterizar as vocações ambientais e culturais dos complexos locais, bem como as relações de apropriação social inerentes nesses territórios. Ao mesmo tempo, é preciso analisar criticamente as atuais estratégias de proteção do patrimônio natural e cultural adotadas pelos órgãos de cultura e meio ambiente, com o objetivo de se reaproximar as abordagens, políticas e ações até então essencialmente setoriais e desarticuladas conferidas aos bens naturais e culturais, materiais e imateriais. Um mecanismo possível nesse sentido refere-se à realização de acordos de cooperação técnica entre equipes desses órgãos para a realização de ações integradas de proteção e planejamento, considerando a perspectiva conceitual de paisagem adotada nesse estudo. Por fim, outra ação central no processo de conformação e implementação dos CAC's refere-se à definição de um desenho institucional de gestão desses complexos, com o objetivo de maximizar a capacidade de atendimento das diferentes demandas nos territórios e continuidade das propostas de unificação dos interesses locais em torno de um ideal territorial de promoção e proteção da paisagem comum.

A proposta dos CAC's deve ultrapassar, portanto, a possibilidade de fortalecer apenas uma vocação cultural e turística, para propiciar a conformação de lugares metropolitanos, que além de retratar as diversas formas de apropriação do espaço pela sociedade, evidenciem o pertencimento à metrópole e, ao menos tempo, a riqueza da cultura local.

#### 4 – Considerações finais

34

A proposta de conformação de Complexos Ambientais Culturais, ancorada na identificação e análise das vocações ambientais e culturais da Região Metropolitana de Belo Horizonte, evidencia a importância de se criar meios para uma gestão pública integrada do patrimônio paisagístico da metrópole, mediante o comprometimento das políticas públicas com as necessidades da população, a diversidade cultural e ambiental. Tal esforço implica na adoção de estratégias voltadas à autonomia e fortalecimento das diferentes manifestações culturais, proteção dos marcos paisagísticos, recuperação ambiental das áreas degradadas, ampliação de espaços culturais e verdes para a população metropolitana e incremento de políticas culturais e de iniciativas de educação ambiental, de forma estruturante e abrangente.

As paisagens não mudam de lugar, mas mudam de função e significação, permanentemente, conforme a dinâmica dos territórios. É papel do Estado, nesse sentido, favorecer a criação de paisagens conformadas pelas relações de uso e prática da vida social. Esse desafio exige a incorporação de dois princípios para a implantação de complexos ambientais culturais na RMBH: o respeito à diversidade cultural e natural e a autonomia dos grupos sociais. Caso contrário, os esforços técnicos e financeiros destinados a este fim poderão servir apenas ao cumprimento de programas de governo, algo bastante distante do sentido do papel do Estado.

Nesse cenário, os complexos ambientais culturais assumem um papel importante no sentido de promover a articulação e integração de planos, programas e ações intermunicipais nas áreas ambiental, cultural, econômica e social, de modo a estimular o fortalecimento de instâncias de gestão regional, visando à proteção do patrimônio natural e cultural, o fortalecimento das tradições culturais e à apropriação social do território, numa perspectiva inclusiva.

#### 5 – Referências Bibliográficas

- COSTA, G. M., MENDONÇA, J., MONTE-MÓR, R., COSTA, H., FARIA, C. & ROCHA, C. (2008) - Planejamento urbano no Brasil: trajetória, avanços e perspectivas. Belo Horizonte, MG: *C/Arte*, 304 p.
- FUNARI, P. P. & PELEGRINI, S. (2006) - Patrimônio histórico e cultural. Rio de Janeiro: J. Zahar, 72p.
- HAESBERT, R. (1997) - Des-territorialização e identidade: a rede gaucha no nordeste. Niteroi, R. J.: EDUFF, 293p.
- HISSA, C. & MELO, A. (2008) - Cidades e Escritura: Cartografias do Transitório In Saberes Ambientais. Org. Hissa, C. Ed. UFMG.
- IBGE (2010) - Produto Interno Bruto dos Municípios 2004-2008. Contas Nacionais 33. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Rio de Janeiro. ISSN 1415-9813
- LEFF, E. & VALENZUELA, S. (2001) - Epistemologia ambiental. São Paulo: Cortez, 240 p.
- PDDI (2010) - Proposta de Estudos Referenciais e Elaboração de Estratégias de Ação para o Planejamento do Desenvolvimento Integrado da Região metropolitana de Belo Horizonte. PDDI-RMBH. Disponível em <<http://www.rmbh.org.br>> Acesso em 01/02/2012.
- SAADI, A. (2002) - Unidade ambientais da grande BH. In: BDMG. Os Complexos Ambientais da GBH como fatores de diferenciação e competitividade. Belo Horizonte. Banco de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais.

**GEOLOGIA E SOCIEDADE: UMA PROBLEMATIZAÇÃO SOBRE A  
IMPLANTAÇÃO DE HIDRELÉTRICAS E A RESPEITO DO PAPEL DA  
SOCIEDADE CIVIL BRASILEIRA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO  
SOB A ÓTICA DO ORDENAMENTO TERRITORIAL**

**GEOLOGY AND SOCIETY: AN ISSUE ON HYDROELECTRIC  
PLANTS IMPLANTATION AND THE ROLE OF BRAZILIAN  
CIVIL SOCIETY IN DEVELOPMENT PROCESSES FROM THE  
PERSPECTIVE OF TERRITORIAL ORGANIZATION**

J. A. S. Deus<sup>1</sup>, L. M. Rodrigues<sup>2</sup> & V. P. F. Goulart<sup>3</sup>

**Resumo** – O ordenamento territorial objetiva compatibilizar as necessidades do homem, relacionadas à ocupação e uso do solo com a capacidade de suporte do território. As variáveis geológicas e geotécnicas são relevantes nessa organização do território, sobretudo nas questões relacionadas ao gerenciamento ambiental - e particularmente, no que diz respeito às políticas de uso do solo, gestão e monitoramento dos recursos naturais. Um aspecto relevante do ordenamento associa-se à definição do papel da sociedade civil no processo de desenvolvimento, através do estabelecimento de parcerias entre organizações governamentais e não-governamentais. No Brasil, um exemplo emblemático desses processos diz respeito à proximidade de áreas propícias à exploração de recursos minerais e hídricos com os territórios de comunidades tradicionais. Em nosso trabalho, discutem-se os inter-relacionamentos estabelecidos entre o Estado e comunidades indígenas, dentro e fora da Amazônia (Parakanã, Waimirí, Atroari e Krenak), utilizando-se como procedimentos metodológicos: pesquisa bibliográfica (incluindo o resgate na literatura clássica disponível de discussões sobre o ordenamento territorial); contextualização e sistematização dos dados; análise e reflexão críticas sobre as informações obtidas. Conclui-se que o caráter estratégico do ordenamento territorial é maximizado no contexto da gestão desses territórios (particularmente na Amazônia), por imbricar-se aí com dimensões como o etnoambientalismo e a etnopolítica.

---

<sup>1</sup> Rua Mangabeira, 268/ 401- S. Antônio- 30350170 Belo Horizonte (MG)- Brasil; jantoniosdeus@uol.com.br

<sup>2</sup> Rua Maria da Silveira, 473- Glória- 30870190 Belo Horizonte (MG)- Brasil; ludimilardrigues86@gmail.com

<sup>3</sup> Rua Caldas da Rainha, 536- São Francisco- 31255180 Belo Horizonte (MG)- Brasil; vivianepfg@yahoo.com.br

**Palavras-Chave** – Geologia ambiental, planejamento territorial, territorialidade e cultura indígena, projetos minerais e hidroelétricos no *hinterland* brasileiro.

36

*Abstract* – Territorial organization aims making compatible human necessities related to land use with the support capacity of the territory. Geologic and geotechnical variables are important in several aspects of territorial management in issues related to environmental care or land use and natural resources management policies. A remarkable aspect of territorial organization concerns the definition of civil society's role in development process through the establishment of partnerships between governmental and non-governmental organizations. In Brazil, an emblematic example of these processes is related to the proximity of mining and hydroelectric projects with traditional communities, territories (societies that, by the way, are nowadays developing land claims). In our approach, inter-relationships established between Brazilian government and autochthonous societies located in Indian reservations inside and outside Amazonia (Parakanã, Waimiri / Atroari and Rio Doce - Krenak) are analyzed in detail. The methodological tools included: bibliographical research (ransoming classical studies on territorial organization), data systematization and critical analysis on the information obtained. Strategical character of territorial organization is maximized in Indians' territoriality and culture issues, because these approaches (particularly in Amazonian regional scenario) are linked and nearly connected with shifting dimensions such as ethno-ecology and ethno-politics.

*Key-Words* – Environmental geology, territorial planning, Indian territoriality and culture, mining and hydroelectric projects in Brazilian hinterland.

## 1 – Introdução

Esse trabalho explicita a importância do conhecimento geológico para o ordenamento territorial, discutindo questões concernentes à extração mineral e ao gerenciamento de recursos hídricos. Essa análise e interpretação de dados são verticalizadas na abordagem da gestão dos territórios indígenas no Brasil cujo processo de demarcação se acentuou no final do século XX (DEUS, 2008). Metodologicamente, o trabalho incluiu: pesquisa bibliográfica (na literatura e bancos de dados de organizações não-governamentais como o Instituto Socioambiental e Conselho Indigenista Missionário), além da contextualização e sistematização dos dados e reflexão crítica acerca das informações obtidas. A definição de diretrizes para o ordenamento - vale ressaltar - parte de preocupações com a distribuição da população (e suas atividades) e com uma criteriosa utilização dos recursos naturais decorrente de políticas de Estado que objetivam harmonizar o desenvolvimento econômico com a ocupação do território (ROSS, 2006), ou seja: “compatibilizar as necessidades do homem relativas à ocupação e uso do solo com a capacidade de suporte do território que ele pretende ocupar” (ALMEIDA, 2007). O ordenamento abrange variado espectro de fatores (urbanos, rurais, de localização industrial, vinculados à reforma agrária e à conservação e preservação do Meio Ambiente, etc.). Trata-se, portanto, de uma proposta de intervenção no sentido de coordenar ações em diferentes instâncias (federal, estadual e municipal) e áreas de intervenção (incentivos agrícolas, infra-estrutura viária e energética, saneamento, urbanização, saúde, educação, geração de emprego, conservação de biodiversidade, reconhecimento de direitos territoriais

indígenas, reforma agrária), objetivando atingir padrões sustentáveis de desenvolvimento social, económico e ambiental - a despeito das contradições e ambiguidades que permeiam o conceito de “desenvolvimento sustentável” (DAMIANI, 2008). O urbanista Jean-Paul Lacaze sustenta que nos países europeus, por exemplo, ao longo do século XX, o ordenamento territorial se tornou “uma prioridade claramente evidenciada nas políticas nacionais” (LACAZE, 1995).

Um dos principais instrumentos para o ordenamento, debatido nas últimas décadas e ainda pouco materializado, é o zoneamento ecológico-económico (ZEE). Esse tipo de zoneamento foi regulamentado no Brasil pelo decreto federal nº 4297 / 02 e seu objetivo prático seria, a partir da discussão com a sociedade, mostrar alternativas de uso sustentável dos recursos naturais e conservação em cada parte do território, servindo de base para o planejamento governamental. THÉRY & MELLO (2008) postulam que nos múltiplos debates sobre a questão no contexto amazónico, observa-se uma convergência sobre os métodos de análise dos usos possíveis que devem levar em conta “as vulnerabilidades ecológicas da região e os usos atuais ou previsíveis a curto e médio prazo de forma a definir o que a região poderá efetivamente tornar-se”. No Brasil, Acre e Rondônia já concluíram os seus ZEEs e outros estados da Amazônia estão trabalhando nesse sentido. O ZEE também se aplica a outras regiões do país e vem sendo desenvolvido principalmente na região costeira e em bacias hidrográficas (ROSS, 2006).

Ressalta-se que as variáveis geológico-geotécnicas são relevantes em diversos aspectos da organização do território, sobretudo nas questões relacionadas ao gerenciamento ambiental e a políticas de uso do solo, gestão e monitoramento dos recursos naturais (minerais, hídricos, entre outros). Abordando o desenvolvimento da atividade mineral no âmbito do ordenamento territorial, CAMPOS (2007), a propósito, introduz uma discussão sobre a disponibilidade de agregados para a construção civil no Brasil (especialmente as jazidas desses recursos situadas nos grandes centros ou em seu entorno), apontando que elas “vem declinando em virtude de inadequado planejamento, de conflitos ambientais, de zoneamentos restritivos e de usos competitivos do solo”. Na gestão de recursos hídricos, destacar-se-ia a gestão de mananciais de água potável. O ordenamento territorial incluiria ainda, planejamento da infra-estrutura (redes de transporte, energia, telecomunicações - THÉRY & MELLO, 2008), ordenamento da estrutura fundiária para definição de condições e critérios para a exploração de recursos; zoneamento urbano; saneamento; prevenção e mitigação de impactos ambientais (da mineração, garimpagem, urbanização...) e reabilitação de áreas degradadas já que as atividades antrópicas podem criar paisagens topofóbicas, ou mesmo, promover a aniquilação deliberada de lugares (ou seja: fenômenos de topocídio) - (AMORIM FILHO, 1999).

## 2 – Desenvolvimento do trabalho

NOGUEIRA (2010), do Instituto Geológico (Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo), considera fundamental que o planejamento, materializado na forma de instrumentos de políticas públicas de ordenamento territorial assegure:

“o acesso às regiões com potencialidade de reservas minerais, destacando-se aquelas com desenvolvimento efetivo da atividade de mineração, para: organizar a sua convivência

com outras atividades econômicas, estabelecer indicadores geoambientais para controle e redução de impactos e de passivos ambientais, aumentar a reabilitação das áreas degradadas e planejar o uso e ocupação do solo hoje e para as gerações futuras. Além de políticas públicas de ordenamento territorial, a reversão dos atuais conflitos deverá ser combinada e sustentada por avanços tecnológicos, tais como a adoção de políticas de incentivo às tecnologias mais limpas na produção mineral, visando propiciar a ampliação da rentabilidade dos materiais removidos das minas, aliada à redução na geração de rejeitos e dos impactos e passivos ambientais”.

Ressalte-se que também são recomendáveis políticas de estímulo à reciclagem e reutilização de insumos e produtos com o objetivo de promover a sustentabilidade dos recursos minerais durante seu ciclo de vida até o pós-consumo (uso seguro, reciclagem e reuso) por eles constituírem recursos não renováveis. Um tratamento apropriado do ordenamento territorial envolve, aliás, a criação de novas institucionalidades como unidades de conservação, comitês de bacia e consórcios intermunicipais como, por exemplo: de cidades das regiões metropolitanas, de municípios mineradores (THÉRY & MELLO, 2008). Os comitês de bacia são fóruns deliberativos tripartidos, “ou seja, com participação dos governos, usuários e sociedade civil” (ALMEIDA & PEREIRA, 2009). O ordenamento objetiva minimizar os desequilíbrios regionais no território de uma nação, estado (ou província), município, através da busca de conexões entre áreas “dinâmicas” e “deprimidas” (ou marginalizadas). Em termos de planejamento, é também necessário o controle da concentração urbana (“inchamento” das metrópoles), buscando-se fazer a compatibilização entre densidade demográfica e disponibilidade urbana, o que deverá conduzir à implantação de medidas que propiciem a sustentabilidade urbana (MATTOS, 2004). Problematizando sobre as dinâmicas territoriais e o reordenamento urbano no Rio de Janeiro, OLIVEIRA (2008) caracteriza a expansão metropolitana contemporânea como “um fenômeno de grande complexidade”. Em termos técnico-operacionais, o planejamento exigiria a escolha de uma unidade de planejamento (região, bacia, etc.) com características físico-geológicas, ecológicas, socioeconômicas, culturais, relevantes e singulares, tendo como tecnologias de apoio e instrumentos disponíveis para sua concretização a pesquisa documental, mapeamento básico (geológico, geotécnico, geomorfológico, metalogenético) (ALMEIDA, 2007, 2002; ROSS, 2006), fotointerpretação (fotogeologia, fotogeografia...) e sensoriamento remoto. O mapa geológico, aliás, evidencia-se como instrumento fundamental para a cartografia temática, podendo ser superposto com outros mapas a fim de produzir cartas de síntese (como mapas integrados de uso do solo - ALMEIDA, 2002). Os mapas de síntese permitem “estabelecer um estudo conclusivo-analítico sobre a integração e interligação dos fenômenos...” (CRUZ & MENEZES, 2009), útil para subsidiar o ZEE (ALMEIDA, 2002, ROSS, 2006, THÉRY & MELLO, 2008). Vale ressaltar a importância da fotointerpretação e sensoriamento remoto na fiscalização do zoneamento urbano, por exemplo. Em termos políticos e de gestão, o ordenamento vai exigir o desenvolvimento de mecanismos de articulação interinstitucionais (ROSS, 2006) que minimizem conflitos de governabilidade, propiciando a integração de políticas (fiscais, por exemplo) entre União (governo central), estados (ou províncias, departamentos, etc.) e municípios. FIRKOWSKI & SPOSITO (2008) ressaltam que o ordenamento supõe a existência de um “projeto social” que comporte os objetivos coletivos, “o que implica na busca de um equilíbrio entre



os imperativos económicos e as necessidades sociais”. Para HAESBAERT (2006), para um reordenamento territorial mais consistente inclusive, “num elenco de prioridades, sem dúvida o combate ao aumento das desigualdades e da exclusão socioespacial deve ser o ponto primordial a ser considerado”.

Outro aspecto relevante do ordenamento diz respeito à definição do papel da sociedade civil no processo de desenvolvimento, através do estabelecimento de parcerias entre organizações governamentais e não-governamentais. ROSS (2006) demarca que “uma articulação interinstitucional com a sociedade civil organizada” deve materializar-se ao longo do desenvolvimento dos projetos. No Brasil, um exemplo emblemático dos processos aí envolvidos diz respeito à proximidade ou sobreposição de áreas propícias à exploração de recursos minerais ou hídricos com territórios de comunidades tradicionais como as sociedades indígenas e os núcleos quilombolas que se inserem hoje numa dinâmica reterritorializadora (HAESBAERT, 1997), e vivenciam crescentes protagonismo, reafirmação e ressignificação étnicas (DEUS & BARBOSA, 2009, DEUS, BARBOSA & TUBALDINI, 2011) - processos que remetem, aliás, à discussão do etnodesenvolvimento e da etnosustentabilidade (DEUS, 2010). Como assinalam THÉRY & MELLO (2008), no Brasil (e em outros países com soberania territorial sobre a Amazónia), um elemento importante de ordenamento do território corresponde à “criação de reservas naturais e de terras indígenas” - procedimento a que também se reportam ALMEIDA (2002). THÉRY & MELLO (2008) registram que na virada do milénio, programas internacionais como o Programa Nacional do Meio Ambiente e o Programa Piloto do G-7 para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil contribuíram para o incremento da extensão territorial de áreas destinadas “aos dois tipos de reservas”. Os autores enfatizam inclusive que “embora a finalidade das terras indígenas não seja a mesma que a das unidades de conservação”, seu papel não pode ser negligenciado “no ordenamento do território, sobretudo na Amazónia” (THÉRY & MELLO, 2008). No Brasil contemporâneo, com a adoção de novas políticas governamentais, desenvolvidas em larga medida em resposta à mobilização de organizações indígenas e ambientalistas, grupos tribais amazónicos têm readquirido autoconfiança e intervido (através de alianças e parcerias), no cenário político e económico regional. As parcerias agregam atores diversificados, como explicita ALBERT (2000). Mas as Igrejas e ONGs se destacam como agentes intervenientes nesses acordos. FRANCHETTO (2001) destaca que é relevante o papel dessas organizações no sentido de fornecerem suporte financeiro e logístico para a viabilização de pesquisas sobre a questão indígena. É o caso dos trabalhos desenvolvidos no Parque Indígena do Xingu (Mato Grosso) pelo Instituto Socioambiental; em Roraima, pela Comissão Pró-Yanomami; e no Acre, pela Comissão Pró-Índio. No Brasil, a ação governamental se tem reciclado com a aplicação de medidas de compensação a comunidades tribais afetadas, por exemplo, pela construção de hidrelétricas. É o caso da assistência hoje prestada pela empresa estatal de energia Eletronorte à comunidade parakanã, impactada pela implantação da hidrelétrica de Tucuruí, próxima à Província Mineral de Carajás (sudeste do Pará). O programa emblematiza a nova ação política estatal frente às sociedades indígenas (FAUSTO, 2001), sendo estruturado em subprogramas definidos por áreas de atuação: saúde, educação, apoio à produção, vigilância dos limites da reserva, obras, infra-estrutura e apoio administrativo. A partir do desenvolvimento do Programa Parakanã através de convénio entre a Eletronorte e a Fundação Nacional do Índio -, esse povo tupi (que em 1972 teve sua população reduzida a um grupo residual, exíguo, de 80

indivíduos!) atingiu, em 2004, contingente demográfico de 900 indivíduos, tendo elevado sua população ultimamente a uma taxa de 9,9% ao ano (RICARDO & RICARDO, 2006). Essa nação indígena conta hoje com escolas e atendimento médico, vem preservando tradições culturais e reverteu um quadro histórico de regressão sociocultural e depopulação drástica. Hoje, seus integrantes plantam grandes roças, produzindo excedentes, desenvolvem o extrativismo e coleta de frutas como açaí, cupuaçu e castanha.

Programa similar foi desenvolvido com as comunidades Waimirí / Atroarí, atingidas por megaprojetos como a hidrelétrica de Balbina, rodovia BR-174 e projeto mineral de Pitinga (THÉRY & MELLO, 2008). Como os Parakaná, nos últimos anos, elas se recuperaram demograficamente. Nas últimas décadas a população das duas comunidades triplicou, passando de 350 indivíduos em 1984; para 1137, em 2006 (CARVALHO, 2006) e tendo presumivelmente adotado uma política de incremento populacional como estratégia de preservação de seu domínio territorial sobre extensa reserva (de 2.585.911 ha). Os Waimirí e Atroarí são grupos cujo crescimento vegetativo nas últimas décadas, foi de 5,75%, um dos maiores do mundo. Eles passaram a contar, a partir do desenvolvimento do programa, com expressivo patrimônio obtido através de transações comerciais e indenizações recebidas da Eletronorte. Em 1970, o fechamento das comportas da usina resultou na inundação de 2928,5 km<sup>2</sup> do seu território. Como outras iniciativas governamentais, o programa recebeu críticas de antropólogos e sociedade civil (como o Conselho Indigenista Missionário), que denunciaram a incidência aí, de procedimentos discricionários, lesivos aos interesses das comunidades, como cerceamento de pesquisas etnológicas, cooptação de lideranças, etc. Mas esses críticos reconhecem êxitos em termos da queda de mortalidade, multivacinação contra doenças imunopreveníveis, erradicação da malária e autodeterminação econômica. Em artigo publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, HART (1988) analisou efeitos do programa sobre os Waimirí, constatando que, no momento em que esses índios se encontravam em vias de extinção, teriam sido capazes de reverter tendências desfavoráveis para seu futuro que viabilizaram a recuperação da tribo na área da saúde e propiciaram também um processo de resgate do patrimônio cultural. De acordo com CARVALHO (2006), os experimentos desenvolvidos por esses índios receberam contribuições de cursos promovidos pelo Programa Waimirí Atroari (firmado em 1987 com verbas do Banco Mundial, com previsão de duração de 25 anos e implantado para viabilizar medidas de compensação às comunidades pelos danos causados pela inundação de sua reserva pela construção da hidrelétrica em 1987 (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, 1996). O programa “vêm abrindo novas perspectivas socioeconômicas e reforçando a unidade do grupo nos últimos anos”. O programa teria viabilizado a implantação de onze novas aldeias e dezoito escolas. Como já registramos, os Waimirí e Atroarí foram antes impactados por outros empreendimentos: a BR-174; e a partir de 1978, o Projeto Pitinga - enclave minerador a 250 km ao norte de Manaus, no município de Presidente Figueiredo, implantado por concessão federal para exploração de uma das maiores minas de estanho do mundo e onde se extrai 35% da produção brasileira de cassiterite (GOMES, 1988). À época, o Movimento de Resistência Waimirí Atroarí denunciou impactos do projeto atingindo comunidades indígenas e ribeirinhas da calha norte do Rio Amazonas (CUMMINGS, 1990, RIBEIRO, 1992).

Na perspectiva de SANTILLI (2002), os programas regionais e estratégicos “devem ter por objetivo apoiar e fomentar as formas de vida de cada povo”, pensadas em seu

todo; “e o órgão ou agência de Estado por eles responsável não deve pretender o monopólio das relações com os povos indígenas”. No contexto de discussão das territorialidades indígenas em curso também fora da Amazônia é sugestivo se analisar outro acordo, firmado em 2008 entre o Ministério Público Federal, Companhia Vale do Rio Doce, Centrais Elétricas de Minas Gerais, Consórcio da Usina Hidrelétrica de Aimorés e Fundação Nacional do Índio. Por esse acordo, as empresas comprometeram-se a indenizar os índios krenak por impactes desencadeados em seu território pela implantação de uma barragem (USINA HIDRELÉTRICA DE AIMORÉS, 2010). As empresas foram acusadas, em ação ajuizada em 2005, de ignorarem no contrato de construção da obra, direitos dos índios domiciliados na área de influência do projeto. Como verificamos *in loco* em reconhecimento de campo realizado em 2011, o acordo previu medidas de compensação tais como: indenizações em dinheiro às famílias, projetos de pecuária com assistência técnica, preservação de nascentes, ações sociais e construção de centros culturais (DEUS, 2011). Em 2005, 300 índios krenak bloquearam a Estrada de Ferro Vitória / Minas em protesto contra o alagamento do seu território tradicional pelo lago da represa (a construção da ferrovia no início do século passado teria também promovido a invasão do seu território). A estrada só foi desobstruída quando a empresa concordou em negociar. Nessa ocasião, esses remanescentes dos “botocudos” receberam também promessa de demarcação de área indígena à margem direita do Rio Doce, no Parque Estadual Sete Salões - unidade de conservação contígua à sua reserva cuja implantação foi autorizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis como compensação pela construção da hidrelétrica (RICARDO & RICARDO, 2006) -, e onde os índios alegam existir pinturas rupestres dos seus antepassados.

### 3 – Considerações finais

Podemos perceber, a partir das problematizações apresentadas, que as dinâmicas político-territoriais em curso tornam urgente a atualização e a ampliação dos debates concernentes ao ordenamento territorial. O caráter estratégico dessa prática é, aliás, evidenciado no contexto de discussão sobre a gestão dos territórios indígenas justamente por se imbricarem aí com dimensões da realidade tais como o etnoambientalismo e a etnopolítica. A análise dessas dimensões exige, aliás, detida reflexão sobre temas controversos como aqueles envolvidos com as contraposições entre indigenismo e territorialização, e entre etnogeografia e dinâmica da “fronteira”, particularmente no cenário regional amazônico. Nesse contexto, tais questões alinham-se ainda com discussões relacionadas com a Geologia do Planejamento e com a Geopolítica de Minérios. E ressalte-se que como se divulgou recentemente nos *mass media* (janeiro de 2012), ainda há povos indígenas “isolados” na Amazônia brasileira e peruana (como os Hi-Merimã, Korubo e Mascho-Piro) - crescentemente ameaçados pela expansão das atividades madeireira e petrolífera nos domínios das *rain-forests* (COLLINS, 1990). A construção de hidrelétricas na Amazônia exige o alagamento de grandes extensões de terras (como observamos *in loco* em trabalhos de campo empreendidos em Rondônia em 2010 / 2011), “afogando” a floresta e sítios arqueológicos ribeirinhos.

Verificamos, por outro lado, que a concretização desse ordenamento associa-se organicamente também com investigações e práticas geográficas como aquelas ligadas à

análise e percepção ambiental - o que torna evidente a relevância das Geociências para a abordagem desse tema, tão denso e polêmico.

E uma alternativa de minimização dos problemas apontados nessa pesquisa, envolvendo a implantação de projetos minerais e hidrelétricos no entorno de áreas indígenas, ligar-se-ia organicamente com a necessidade do governo brasileiro investir com mais seriedade e transparência, como se espera de um governo democraticamente eleito, nos diálogos com as organizações indígenas e entidades ambientalistas e indigenistas (como, aliás, sancionam as normas constitucionais em vigor no país), antes da aprovação dos projetos, e depois disso, quando se pensa (e / ou se avalia) a pertinência e consistência das medidas de compensação adotadas (nas comunidades atingidas por significativos impactos) - o que infelizmente, não tem sido realizado de forma concreta, efetiva, como têm alertado com insistência as lideranças indígenas (e da sociedade civil brasileira em geral).

**Agradecimentos** - À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais que patrocinou a investigação que realizamos, desenvolvida no âmbito do projeto: “Etnogeografia, Etnossustentabilidade e a Organização e Gestão do Território de Comunidades Tradicionais e Indígenas no Estado de Minas Gerais”.

## Referências Bibliográficas

- ALBERT, B. (2000) - Associações Indígenas e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia Brasileira. In: Ricardo, B. Povos Indígenas no Brasil: 1996 / 2000. ISA, São Paulo (SP), Brasil, p. 197-203.
- ALMEIDA, F. G. (2007) - O Ordenamento Territorial e a Geografia Física no Processo de Gestão Ambiental. In: Santos, M. e Becker, B. K. Território, Territórios: Ensaio Sobre o Ordenamento Territorial. Editora Lamparina, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, p. 333-352.
- ALMEIDA, F. G. & PEREIRA, L. F. M. (2009) - O Papel da Distribuição e da Gestão dos Recursos Hídricos no Ordenamento Territorial Brasileiro. In: Almeida, F. G., Soares, L. A. A. Ordenamento Territorial - Coletânea de Textos Com Diferentes Abordagens no Contexto Brasileiro. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, p. 85-114.
- ALMEIDA, J. R. (2002) - Planejamento Ambiental. Tex Editora, 180 p.
- AMORIM FILHO, O. B. (1999) - Topofilia, Topofobia e Topocídio em Minas Gerais. In: Del Rio, V. e Oliveira, L. Percepção Ambiental: A Experiência Brasileira. UFScar / Studio Nobel, São Carlos (SP), Brasil, p. 139-152.
- CAMPOS, E. E. (2007) - Controle Ambiental. In: Tannús, M. B. e Carmo, J. C. C. Agregados Para a Construção Civil no Brasil: Contribuições Para Formulação de Políticas Públicas. Belo Horizonte: CETEC, Belo Horizonte (MG), Brasil, p. 125-166.
- CARVALHO, P. (2006) - Waimiri Atroari: Rumo à Autossustentabilidade. In: Ricardo B. e Ricardo, F. Povos Indígenas do Brasil: 2001/2005, ISA, São Paulo (SP), Brasil, p. 354-355.
- COLLINS, M. (1990) - The Last Rain Forests. Mitchell Beazley Publishers, 200 p.
- CRUZ, C. B. M. & MENEZES, P. M. L. (2009) - A Cartografia no Ordenamento Territorial do Espaço Geográfico Brasileiro. In: Almeida, F. G. e Soares, L. A. A. Ordenamento Territorial - Coletânea de Textos com Diferentes Abordagens no Contexto Brasileiro. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, p. 195- 226.
- CUMMINGS, B. J. (1990) - Dam the Rivers, Damn the People - Development and Resistance in Amazonian Brazil. Earthscan Publications, 132 p.

- DAMIANI, A. L. (2008) - Ordenamento Territorial e Gestão Territorial - Impasses. In: Oliveira, M. P., Coelho, M. C. N. e Corrêa, A. M. O Brasil, a América Latina e o Mundo: Espacialidades Contemporâneas (II). Lamparina Editora, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, p. 107-120.
- DEUS, J. A. S. (2008) - O Etnoambientalismo e as Novas Territorialidades Indígenas em Curso no Contexto Regional da Amazônia Meridional e Oriental. *Caderno de Geografia*, 1, p. 59-82.
- DEUS, J. A. S. (2010) - Geografia Cultural do Brasil / Etnogeografia. Editora UFMG, 135 p.
- DEUS, J. A. S. (2011) - Identidade, Etnicidade e Paisagens Culturais Alternativas no Vale do Rio Doce/ Minas Gerais- Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, nº especial/ EGAL 2011, p. 1-14.
- DEUS, J. A. S. & BARBOSA, L. D. (2009) - A Geografia Cultural Contemporânea e os Focos de Tensão no Mundo: Uma Contribuição ao Debate. *Ateliê Geográfico*, n. 7, p. 63-91.
- DEUS, J. A. S.; BARBOSA, L. D. & TUBALDINI, M. A. S. (2011) - Realidades Culturais na Organização do Espaço: Lutas Pela Terra e Emergência de Identidades Coletivas no Contexto da Amazônia Sul-Americana e Brasileira. *Geografia*, nº especial, p. 157-167.
- FAUSTO, C. (2001) - Inimigos Fiéis: História, Guerra e Xamanismo na Amazônia. EdUSP, 587 p.
- FIRKOPWSKI, O. L. C. & SPOSITO, E. S. (2008) – Indústria, Ordenamento do Território e Transportes - A Contribuição de André Fischer. *Expressão Popular*, 160 p.
- FRANCHETTO, B. (2001) – Línguas Indígenas no Brasil: Pesquisa e Formação de Pesquisadores. In: Grupioni, L. D. B., Vidal, L. B., Fischmann, R. Povos Indígenas e Tolerância: Construindo Práticas de Respeito e Solidariedade. EdUSP, São Paulo (SP), Brasil, p. 133- 153.
- GOMES, M. P. (1988) – Os Índios e o Brasil - Ensaio Sobre Um Holocausto e Uma Nova Possibilidade de Convivência. Editora Vozes, 237 p.
- HAESBAERT, R. (1997) - Des-Territorialização e Identidade: A Rede “Gaúcha” no Nordeste. EdUFF: 1997, 293 p.
- HAESBAERT, R. (2006) – Ordenamento Territorial. *Boletim Goiano de Geografia*, 1, p. 117-124.
- HART, C. (1988) – Una Tribu en Vias de Desaparición se Salva de la Extinción. *Desarrollo Mundial*, 2, p. 15-18.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (1996) – Povos Indígenas no Brasil: 1991 /1995. ISA, 871 p.
- LACAZE, J. (1995) – O Ordenamento do Território. Tradução de Fernando Tomar. Instituto Piaget, 139 p. Original Francês.
- MATTOS, R. (2004) - Grandes Territorialidades, Planejamento e Questões Ambientais no Brasil. *Cadernos do Leste*, 6, p. 45- 60.
- NOGUEIRA, S. A. A. (2010) - A Questão do Ordenamento Territorial e Sua Relação Com as Reservas Minerais em São Paulo. São Paulo, *Geociências*, 2, p. 201-210.
- OLIVEIRA, F. J. G. (2008) – Dinâmicas Territoriais e Reordenamento Urbano: Metrópole e Interior no Estado do Rio de Janeiro. In: Oliveira, M. P., Coelho, M. C. N. e Corrêa, A. M. O Brasil, a América Latina e o Mundo: Espacialidades Contemporâneas (II). Lamparina Editora, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, p. 187-208.
- RIBEIRO, B. G. (1992) – Amazonia Urgent: Five Centuries of History and Ecology. Editora Itatiaia / UFMG, 271 p.
- RICARDO, B. & RICARDO, F. (2006) - Povos Indígenas do Brasil: 2001 / 2005, ISA, 879 p.
- ROSS, J. L. S. (2006) – Ecogeografia do Brasil - Subsídios Para Planejamento Ambiental. Oficina de Textos, 208 p.
- SANTILLI, M. (2002) - Programas Regionais Para Uma Nova Política Indigenista. In: Lima, A. C. S. e Barroso-Hoffmann, M. Estado e Povos Indígenas - Bases Para Uma Nova Política Indigenista. Contra Capa Livraria, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, p. 69-82.

THÉRY, H. & MELLO, N. A. (2008) – Atlas do Brasil: Disparidades e Dinâmicas do Território. EdUSP / Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 312 p.

USINA HIDRELÉTRICA DE AIMORÉS (2010) – Relatório das Atividades Realizadas Pelo Consórcio da Hidrelétrica Aimorés, Vale e CEMIG Junto ao Povo Indígena Krenak nos Trimestres de 16 de Abril a 15 de Julho e de 15 de Julho a 15 de Outubro de 2010. UHE Aimorés / CVRD / CEMIG, 34 p.

## UMA ANÁLISE CRÍTICA DOS CONCEITOS DE ANÁLISE DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS E DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA

### A CRITICAL ANALYSIS OF THE CONCEPTS OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY ANALYSIS AND INTEGRATED ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

R. C. Cruz<sup>1</sup>, J. M. Rocha<sup>1</sup>, G. L. Silveira<sup>2</sup>, J. C. Cruz<sup>2</sup> & S. C. Assis de Oliveira<sup>3</sup>

**Resumo** – Neste artigo procura-se reconstruir a história conceitual da análise de fragilidades ambientais, desde a sua origem nos estudos da geomorfologia, até a sua atualização com base nos conceitos de ecossistema total humano (ETH) e de estabilidade de sistemas, na esteira da evolução da Ecologia de Paisagem. Na sequência, se discutem as implicações desta evolução conceitual na abordagem da Avaliação Ambiental Integrada (AAI), tomando-se como estudo de caso a aplicação da AAI no planejamento ambiental de bacias hidrográficas e seus conflitos com as políticas setoriais de irrigação e de geração de energia elétrica. Discute-se os limites da inserção de indicadores institucionais nos modelos de AAI e como esta deve ser entendida como processo, passando por fases de análise de fragilidades ambientais, tendo como objeto de estudo o ETH, considerando a análise de diferentes cenários de intervenções antrópicas e chegando na análise das consequências de diferentes cenários de tomada de decisões. Alerta-se quanto ao risco da internalização de conflitos intra e interinstitucionais nos modelos, que pode levar ao enfraquecimento do processo de negociação que deve haver entre os diferentes atores institucionais e comunitários, ao fortalecimento da tecnocracia e ao possível aprofundamento dos conflitos, com prejuízos à qualidade de vida e à sustentabilidade.

**Palavras-chave** – Avaliação ambiental integrada; Fragilidades ambientais; Estabilidade; Sustentabilidade

---

<sup>1</sup> Campus de São Gabriel, Fundação Universidade Federal do Pampa, Av. Antônio Trilha, 1847 - São Gabriel - RS - CEP: 97300-000, Brasil; rafaelcruz@unipampa.edu.br; jefferson.rocha@unipampa.edu.br.

<sup>2</sup> DESA, UFSM, Santa Maria - RS - Brasil; geraldo.ufsm@gmail.com; jussaracruz@pesquisador.cnpq.br.

<sup>3</sup> Colégio Tiradentes de São Gabriel, São Gabriel - RS - Brasil; soniacadeoliveira@gmail.com

***Abstract** – This article seeks to reconstruct the conceptual history of environmental fragility analysis, since its origin in studies of geomorphology, until its update based on the concepts of total human ecosystem (THE) and stability of systems in the wake of Landscape Ecology developments. Following, we discuss the implications of this conceptual evolution in the approach of Integrated Environmental Assessment (IEA), taking as case study the application of IEA in the environmental planning of watersheds and their conflicts with the irrigation and generation of electricity sector policies. It discusses the limits of inclusion of institutional indicators in the models of IEA and how it should be understood as a process, going through phases of fragility environmental analysis, where the object of study, the THE, through analysis of different scenarios of human interventions and arriving in the analysis of the consequences of different scenarios for decision making. We alert about the risk of internalization of intra and inter-institutional conflicts in the models, which can lead to weakening of the negotiation process that should exist between different institutions and community, strengthening the technocracy and the possible deepening of the conflict, with damages to quality of life and sustainability.*

***Keywords** – Integrated environmental assessment; Environmental fragility; stability; sustainability*

## 1 – Introdução

Neste artigo procura-se reconstruir a história conceitual da análise de fragilidades ambientais, desde a sua origem nos estudos da geomorfologia, até a sua atualização com base nos conceitos de ecossistema total humano (ETH) e de estabilidade de sistemas, na esteira da evolução da Ecologia de Paisagem. Na sequência, se discutem as implicações desta evolução conceitual na abordagem da Avaliação Ambiental Integrada (AAI), tomando-se como estudo de caso a aplicação da AAI no planejamento ambiental de bacias hidrográficas e seus conflitos com as políticas setoriais de irrigação e de geração de energia elétrica.

## 2 – Sustentabilidade e estabilidade

Distinguir a sustentabilidade natural da sustentabilidade socioeconômica, apesar de ser útil para delimitar campos de reflexão, pode induzir a graves desvios de interpretação da realidade, na medida de fazer relações estanques entre dinâmicas sociais e ecológicas, o risco é criar-se dicotomias didaticamente/cientificamente explicativas, que não dão conta da real interdependência das duas ordens da realidade (ROCHA, 2011).

Porém, apesar destes riscos, essa dicotomia fundamenta a quase totalidade das acepções de “sustentabilidade” no meio acadêmico. Pois geralmente a sustentabilidade do meio natural é pensada como passando por proteção das perturbações criadas pelas atividades antrópicas, já a sustentabilidade socioeconômica é encarada como um tipo de desenvolvimento que não desgaste o meio natural. Assim uma “sustentabilidade” efetiva seria o resultado de uma vinculação da dinâmica destes dois sistemas.

Aqui considera-se que esta dicotomia não é capaz de dar conta da maneira como, tanto as ciências naturais como as ciências sociais, encaram as relações sustentáveis entre sociedade e natureza.



A própria noção de “natureza”, como se esta fosse pensável enquanto realidade em si, é uma abstração. A quase totalidade dos ambientes naturais que se observa é fruto da ação antrópica. Neste sentido é preciso considerar não só as escalas de tempo e de espaço, mas a relação que as sociedades possuem com o meio natural a sua volta. Alguns sistemas podem nem “perceber” certas perturbações causadas por sociedades tradicionais, por exemplo. A escala da perturbação causada é muito pequena em relação ao sistema total. Além disto, determinados fenômenos da dinâmica natural ainda não são influenciados pela ação do homem, mas o influenciam grandemente, e configuram o ambiente, como erupções vulcânicas, terremotos, *el niño*, *la niña*, entre outros.

Há que considerar que os homens, não só enquanto elos da cadeia trófica, mas como seres sociais, participam dos processos de formação dos meios que ocupam. Pois, nas suas características presentes, bem como na sua história de transformações e mudanças, esses meios não podem ser analisados independentemente da história e das relações em sociedade.

As dinâmicas sociais não podem ser encaradas como perturbadoras, mas sim como co-autoras dos meios naturais a sua volta. Evidentemente isso não implica que as atividades humanas tenham sempre efeitos positivos sobre o meio: elas geralmente influenciam dinâmicas intrínsecas de mudança, e em muitos casos modificam profundamente e de maneira irreversível suas características.

Estes aspectos simplesmente confirmam que os dois sistemas (natural e social) estão continuamente em co-evolução interdependentes. Evolução no sentido de história e não como percurso finalizado ao longo de um eixo temporal.

Não se pode analisar corretamente a situação de um meio natural, bem como da sua evolução passada e futura, sem integrar a história de suas relações com as sociedades. Por exemplo, ao analisar-se os ecossistemas ocupados por pequenos agricultores, deve-se perceber o papel que as práticas de uso e de gestão dos recursos desempenharam na formação do meio natural (ROCHA, 2004).

Deve-se perceber também que o processo de apropriação dos recursos naturais ao longo do tempo, além de intensificar a exploração dos recursos naturais, foi realizado de forma injusta, pois a medida que o relacionamento do homem moderno/europeu se aprofundava, ocorria a valorização econômica dos mais variados recursos naturais dos diversos lugares do planeta, tanto como consequência sua degradação.

Assim a valoração e exploração dos ecossistemas fez parte da trajetória do desenvolvimento econômico de quase todos os lugares habitados.

### 3 – Análise de fragilidades ambientais

A análise de fragilidades ambientais, segundo MATOS FIERZ (2008) tem sua origem nos estudos dos geomorfólogos que gradualmente foram incorporando aspectos da teoria geral de sistemas e do equilíbrio dinâmico para conceituar fragilidade, remontando, principalmente aos estudos de HACK (1960, *apud* MATOS FIERZ, *op.cit.*), TRICART (1977) e ROSS (1994).

A ecodinâmica de TRICART (*op.cit.*) colocou em balanço a pedogênese e a morfogênese, classificando a morfodinâmica dos ambientes em três categorias: estáveis, intergrades e instáveis, em um contínuo que tem predomínio da pedogênese sobre a morfogênese para

estáveis e o inverso para instáveis, tendo um balanço próximo ao nulo nos intergrades. Neste esquema conceitual o ser humano aparece como agente causador da degradação.

ROSS (1994) desenvolvendo os conceitos de TRICART (1977), passou a definir a elaboração de cartas de fragilidades ambientais: “A fragilidade dos ambientes naturais face as intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas. A princípio, salvo algumas regiões do planeta, os ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais” (ROSS, *op.cit.*). A mesma postura de Tricart se mantém na base conceitual. Visão dual opondo sociedade e natureza.

A base da definição de fragilidade ambiental é baseada no conceito de que “na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico” (ROSS, *op.cit.*). Fragilidade seria causada pela quebra deste equilíbrio pela ação humana. Incluiu os conceitos de instabilidade emergente (para as unidade ecodinâmicas instáveis, em vários graus e de instabilidade potencial, também em vários graus para as unidades ecodinâmicas estáveis que possuem uma previsibilidade natural para instabilidade e para a possibilidade de ações antrópicas).

MATOS FIERZ (2008) fez ampla revisão da base conceitual da análise de fragilidades ambientais sob orientação de Ross. Demonstrou a importância da Teoria Geral de Sistemas na abordagem de Tricart, assim como o conceito de Equilíbrio Dinâmico de Hack aplicado para compreensão das formas do relevo. Com base nesta revisão definiu fragilidade ambiental como “a tendência de o relevo ser alterado de seu estado de equilíbrio dinâmico com facilidade, seja naturalmente seja por decorrência de fatores artificiais como os antrópicos. A fragilidade ambiental representa o limiar (*threshold*) entre o equilíbrio dinâmico e o não-equilíbrio nos ambientes antropizados” (MATOS FIERZ, *op.cit.*).

No entanto, o ser humano, nestas abordagens, aparece unicamente como agente de perturbações ao ambiente, reproduzindo uma visão de mundo em que sociedade e natureza são vistas separadamente. A partir da ecologia de paisagem, rompe-se este paradigma, e a sociedade passa a ser vista como parte da natureza (NAVEH & LIEBERMAN, 2001). Com base nestes conceitos, construiu-se uma visão ampliada do conceito de fragilidade ambiental, a partir da necessidade de incluir o conceito de sistemas auto-organizativos, de estabilidade e de resistência ou resiliência às perturbações. Deste modo, fragilidade seria a qualidade de um determinado ETH para não perder sua estabilidade frente a um determinado regime de perturbações. Neste contexto, o ser humano em sociedade, além dos meios físico e biótico, adquire um papel dual, ora sendo agente de perturbações, ora sendo objeto do impacto ambiental (UNIPAMPA/UFSM, 2011).

As abordagens dos geomorfólogos foram construídas partindo-se do pressuposto que a base física condiciona todo o devir das relações com os meios biótico e antrópico. No entanto, este pressuposto conceitual impediu uma evolução da análise de fragilidades ambientais de tal forma que permitisse uma abordagem efetivamente integrada da paisagem, com uma co-evolução dos meios físico, biótico e antrópico. Considere-se uma pergunta do tipo: qual a fragilidade de uma comunidade tradicional de pescadores frente a implantação de uma barragem? Como respondê-la se as abordagens anteriores somente consideram o ser humano como agentes de perturbação? Nesta análise, somente os empreendedores da barragem teriam lugar no modelo conceitual. Já na abordagem da ecologia de paisagem, a sociedade e sua cultura fazem parte de um mesmo hólón, são

partes de um mesmo sistema, dentro do qual trocam energia, materiais e informação. De acordo com NAVEH & LIEBERMAN (*op.cit.*) a ecologia de paisagem incorpora os avanços na teoria geral de sistemas, ocorridas com a física de sistemas termodinâmicos abertos e com a teoria dos sistemas auto-organizativos. Nestes sistemas, a identidade e a estabilidade do sistema são mantidas pelo desequilíbrio, que funciona como uma energia potencial que coloca o sistema em movimento. Nestes sistemas a ausência de mudança leva a não adaptação ao meio e a sua desintegração (transformação em outro sistema).

Outro problema conceitual refere-se ao fato de que a fragilidade deve ser referida a um determinado regime de perturbações. Alguns sistemas podem ser resistentes a um determinado tipo de perturbações mas ser degradado por outro. Sendo assim, os estudos de fragilidade não podem ser genéricos. Um sistema não é frágil ou resistente “genericamente”, mas frente a um determinado tipo de perturbação, que pode ser de qualquer tipo. Na análise de fragilidades ambientais, pode-se mapear a fragilidade de qualquer ambiente, mesmo que não existam proposições concretas de intervenções, desde que se defina que tipo de intervenção vai ser analisada e que tipo de interferência nos processos ambientais significativos para a estabilidade do sistema podem ocorrer.

#### 4 – Avaliação ambiental integrada no Brasil

De acordo com CRUZ *et al.* (2010), “no Brasil, estes estudos iniciam com a necessidade de inserir a bacia hidrográfica como unidade de planejamento no sistema de licenciamento ambiental de barragens. Necessidade prevista na Resolução 01/86 do CONAMA (BRASIL, 1986), no entanto que não possuía instrumentos para sua implementação”. Deste modo, nasce de uma demanda de análise prévia de viabilidade ambiental de inventários para fins de construção de diretrizes para licenciamento ambiental de barragens.

Os primeiros estudos foram encomendados pela FEPAM (órgão ambiental do Estado do Rio Grande do Sul) em 2001, com o estudo da bacia dos rios Taquari-Antas (FEPAM/UFRGS, 2001), elaborado sob influência do relatório final da Comissão Mundial de Barragens (WCD, 2000) e que visava definir trechos de rios que deveriam ser permanecer livres de barramentos e hierarquizar os empreendimentos quanto à fragilidade ambiental dos trechos afetados, com objetivo de estabelecer diretrizes para o licenciamento para a bacia hidrográfica. Na mesma linha, com avanços metodológicos, foram efetuados os estudos da bacia dos rios Ijuí, Piratinim, Icamaquã e Butuí, afluentes do rio Uruguai (FEPAM/UFRGS, 2004) e da bacia dos rios Apuaê-Inhandava, afluentes do rio Pelotas (FEPAM/UFSM, 2005).

Em nível federal, o primeiro estudo de avaliação ambiental integrada (AAI), foi efetuado pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE, 2007), vinculada ao Ministério das Minas e Energia, com Termo de Referência sob responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2005).

As dificuldades metodológicas de integração entre as abordagens de engenheiros (que coordenaram o estudo) e biólogos, marcou o primeiro estudo (FEPAM/UFRGS, 2001). No entanto, o estudo demonstrou a viabilidade de elaboração de estudos que permitissem a elaboração de diretrizes ambientais para licenciamento de uma bacia hidrográfica. Na sequência, a FEPAM, na busca de aperfeiçoamento das abordagens integrativas, encomendou novo estudo (FEPAM/UFRGS, 2004), desta vez sob coordenação de biólogos

vinculados ao Centro de Ecologia da UFRGS. Este grupo se aproximou do Grupo de Pesquisas em Gestão de Recursos Hídricos da UFSM, que havia desenvolvido metodologia para análise de fragilidades/favorabilidades ambientais para seleção de locais para implantação de barragens de irrigação (SILVEIRA & CRUZ, 2005) em situação de carência de dados, utilizando uma análise multicritério em ambiente de geoprocessamento para estruturar a integração de informações. Esta linha acabou definindo uma das escolas de AAI, responsável, posteriormente pelo estudo da bacia dos rios Apuaê-Inhandava (FEPAM/UFSM, 2005) e pelo estudo do projeto FRAG-RIO (UNIPAMPA/UFSM, 2011). Cabe realçar que esta linha foi construída em ampla cooperação entre as equipes executoras e o órgão ambiental. Outro aspecto importante a ser realçado foi a independência das universidades para construir os estudos. A outra linha foi construída a partir da experiência acumulada pelos engenheiros do IPH/UFRGS, que coordenaram o estudo de 2001 e que vieram a orientar a elaboração do Termo de Referência para o estudo da EPE. As propostas deste Termo de Referência acabaram por ser adotadas na nova edição do Manual de Inventário de hidrelétricas da ELETROBRAS (ELETROBRAS, 2007), com o objetivo de “de integrar os procedimentos da AAI à metodologia dos estudos socioambientais que subsidia a seleção da melhor alternativa no Estudo de Inventário Hidroelétrico”. Ou seja, neste caso, a AAI passa a ser um instrumento da Política Energética, não da Política Ambiental. CRUZ *et al.* (2010) discutem as consequências deste movimento, demonstrando que a AAI somente pode ser efetiva na construção da sustentabilidade se for um instrumento da Política Ambiental e que seja prévia aos estudos de inventário, sendo coordenada e executada sob responsabilidade dos órgãos ambientais.

Assim, no Brasil, a AAI nasce da necessidade de internalização das “externalidades ambientais” dentro do processo de planejamento setorial, em especial dos setores que se utilizam intensivamente de barragens para sua atividade: irrigação e geração de energia elétrica. A construção desta abordagem acabou criando duas grandes escolas: uma construída a partir da relação entre ecólogos de paisagem com engenheiros hidrólogos (hidroecológica; e.g. UNIPAMPA/UFSM, 2011) e outra na relação entre engenheiros hidrólogos e economistas/gestores (hidroeconômica; e.g. TUCCI & MENDES, 2006).

Dois momentos históricos confrontaram estas duas escolas: as dificuldades de integração metodológica que houve na execução do estudo do Taquari-Antas (FEPAM/UFRGS, 2001), já referido, e na análise do estudo da EPE (EPE, 2007) pelo Ministério do Meio Ambiente. Ao contrário do que ocorreu com todos os estudos anteriores, que possibilitaram aos órgãos ambientais a elaboração de diretrizes para o licenciamento de barragens em bacias hidrográficas, este estudo não permitiu ao MMA a elaboração destas diretrizes, o que o levou a encomendar o projeto FRAG-RIO ao grupo de pesquisa representante da outra escola, de forma independente em relação ao setor elétrico (execução por Universidades Federais). Os resultados da Etapa 1 do Projeto FRAG-RIO subsidiaram a elaboração das diretrizes de licenciamento para a bacia do rio Uruguai (MMA/IBAMA, 2010). A disputa entre MMA e MME está bem descrita em CRUZ *et al.* (2010).

Quais seriam as diferenças conceituais mais importantes entre estas escolas?

A primeira diferença conceitual refere-se à definição do objeto primário do estudo. O que se pretende hierarquizar: trechos de rios ou empreendimentos? A escola hidroeconômica, consolidada institucionalmente no Manual de Inventário da ELETROBRAS (ELETROBRAS, 2007), define que os empreendimentos são o objeto primário dos estudos. A escola hidroecológica (UNIPAMPA/UFSM, 2011) define que o objeto

primário é o ambiente, no caso de fragilidade frente à fragmentação de rios provocada pelas barragens, os trechos de rios de uma bacia hidrográfica. Esta diferença é consequência das diferentes visões da AAI como parte da Política Energética ou Ambiental. A grande vantagem da abordagem da escola hidroecológica é que a AAI pode preceder os estudos de inventário, uma vez que não há necessidade de definição prévia dos empreendimentos para estudar a fragilidade dos trechos de rios para barragens. Esta vantagem também tem como corolário a flexibilidade para o uso dos órgãos ambientais. Atualmente, os inventários estão constantemente sendo atualizados, o que torna os estudos focados em empreendimentos rapidamente obsoletos. Quando o foco é nos trechos de rios, basta sobrepor os novos inventários aos trechos respectivos e verificar as fragilidades dos mesmos. Logicamente, como o ambiente está em permanente mudança, também os estudos efetuados com foco nos trechos de rios devem ser atualizados dentro de uma abordagem de manejo adaptativo.

Outra consequência desta diferença está na solução para espacialização das duas abordagens. A escola hidroeconômica apregoa que a espacialização dos dados deve se dar em setores, com o objetivo de avaliar os impactos cumulativos e sinérgicos. TUCCI & MENDES (2006) recomendam que a subdivisão da área de estudo deve englobar grupos de empreendimentos, “devendo-se evitar uma grande fragmentação utilizando no mínimo 3 (três) e no máximo 6 (seis) subdivisões”. Deste modo, a setorização da bacia é definida à priori com base na distribuição dos empreendimentos. Do ponto de vista de discretização das fragilidades para fins de hierarquização dos setores, trabalhar com 3 a 6 setores em bacias com mais de 100.000 km<sup>2</sup>, como a bacia do rio Uruguai, resulta em setores muito grandes, englobando, cada um deles, várias sub-bacias, com ordem de grandeza, cada uma de dezena de milhares de km<sup>2</sup>. Neste tipo de abordagem, definir trechos de rios que devem ser mantidos livres de barramentos não é possível, assim como responder a seguinte pergunta: considerando dois trechos de rios dentro de um mesmo setor, qual deles possui maior fragilidade perante a implantação de barragens? Já a escola hidroecológica propõe que a análise de fragilidades ambientais deve ser efetuada pixel a pixel, em escala apropriada para a dimensão da bacia hidrográfica (1:250.000 para a bacia do rio Uruguai), de modo que a espacialização, ou zoneamento das fragilidades, possa ser obtida a posteriori e os trechos de rios possam ser hierarquizados. Este tipo de abordagem permite a definição de trechos que devem permanecer livres de barramentos para responder a pergunta acima explicitada.

A segunda grande diferença conceitual refere-se a forma de inserção dos conflitos na AAI. Na escola hidroeconômica a AAI é vista como um estudo que possui como resultados “medidas preventivas como diretrizes, recomendações para estudos complementares e elementos fundamentais para os EIAs” (TUCCI & MENDES, 2006). Já a escola hidroecológica defende que os estudos da AAI devem subsidiar os órgãos ambientais para que estes possam elaborar as diretrizes: “são resultados orientativos para as negociações e processos de tomada de decisão: o estudo subsidia a decisão, não decide!” (UNIPAMPA/UFSM, 2011).

Para se compreender a dimensão desta diferença, deve-se analisar as diferentes definições de AAI.

Para a Agência Ambiental Européia, AAI é “o processo interdisciplinar e social, unindo conhecimento e ação em contextos de decisão e políticas públicas, e que visa a identificação, análise e avaliação de todos os processos naturais e humanos e suas interações que determinam tanto o estado atual e futuro da qualidade ambiental e dos

recursos, em adequadas escalas espaciais e temporais, facilitando assim a elaboração e implementação de políticas e estratégias” (EEA, 2012). Esta mesma definição é citada por TUCCI & MENDES (2006).

Para o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, a “avaliação ambiental integrada e seu relatório tentam mostrar as relações de causa-efeito entre a ação humana e natural no ambiente e, por sua vez, a resultante mudança no estado do ambiente e bem-estar humano. O resultado final da avaliação ambiental deve ser mais do que apenas saber o estado do ambiente. Deve dar aos políticos, e às outras partes interessadas, algumas orientações sobre a melhor forma de gerenciar o ambiente” (UNEP, 2003).

Combinando-se as duas definições, observa-se que a AAI deve ocorrer em contextos de decisão e políticas públicas. Ou seja, é um processo, em que os estudos de AAI são somente a primeira etapa de um processo de AAI que deve ser negociado entre todas as partes envolvidas nos conflitos, em fórum adequado, para facilitar a elaboração e implementação de políticas e estratégias. No Brasil, os conflitos inter-institucionais entre as políticas setoriais não possuem um fórum específico e institucionalizado para negociação das demandas conflitantes. Na prática, estas políticas públicas tem seus conflitos intra-governamentais decididos em reuniões entre os ministérios mediadas pela Casa Civil, sem participação ampla da sociedade, muitas vezes sem consenso, resultando em trocas ministeriais. Uma forma de viabilizar a plena implantação do processo de AAI é institucionalizar que estes conflitos devem ser negociados através de reuniões conjuntas, paritárias, dos Conselhos criados pelas respectivas Leis que criaram as políticas públicas setoriais, cujo funcionamento e regras devem ser regulamentados em lei. Isto traria transparência e poderia viabilizar o processo de AAI em sua forma ampla e irrestrita. Para tal, os estudos de AAI devem ser conduzidos pela política ambiental, mas as negociações dos conflitos devem se dar em um fórum mais amplo.

#### 4 – Considerações finais

As diferenças entre as escolas remontam ao objeto da AAI: o ambiente (hidroecológica) ou o conjunto de intervenções (hidroeconômica) e como inserir os conflitos no processo: inseridos no modelo (hidroeconômica) ou objeto de negociação posterior (hidroecológica). Recomenda-se a que os estudos de AAI limitem-se a subsidiar o processo de AAI, deixando a negociação dos conflitos e a construção de diretrizes negociadas de planejamento integrado, para definição de políticas públicas para fóruns institucionalizados e transparentes (a serem criados). A internalização da AAI como instrumento da política energética esvazia a AAI da sua essência. Também se recomenda a não internalização dos conflitos nos estudos de AAI, pois existe risco de que este processo possa levar ao enfraquecimento do processo de negociação que deve haver entre os diferentes atores institucionais e comunitários, ao fortalecimento da tecnocracia e ao possível aprofundamento dos conflitos, com prejuízos à qualidade de vida e à sustentabilidade. A aproximação das escolas hidroecológica e hidroeconômica, necessária, passa pela solução destas diferenças conceituais e, para ser colocada em prática, dependendo de um aperfeiçoamento institucional que ainda está longe de acontecer.

**Agradecimentos** – à FINEP e ao CNPq pelo financiamento do projeto FRAG-RIO.

## Referências Bibliográficas

- BRASIL (1986) - Resolução CONAMA Nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Diário Oficial da União, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1: 2548-2549.
- CRUZ, R. C.; SILVEIRA, G. L.; VILELLA, F. S.; CRUZ, J. C. & OLIVEIRA, S. C. A. (2010) - A avaliação ambiental integrada de bacias hidrográficas como instrumento de negociação entre a política ambiental e políticas setoriais: o caso da análise de fragmentação do rio Uruguai por barragens. In: Actas. VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, Universidade de Coimbra. [http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAG/actas/tema3/rafael\\_cruz](http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAG/actas/tema3/rafael_cruz). (Consultado em 2012.02.10).
- EEA (2012) - Integrated environmental assessment [http://glossary.eea.europa.eu/EEAGlossary/I/integrated\\_environmental\\_assessment](http://glossary.eea.europa.eu/EEAGlossary/I/integrated_environmental_assessment) (Consultado em 2012.02.10).
- ELETRORBRAS (2007) - Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas, 3 ed. <http://www.eletrorbras.com/ELB/data/Pages/LUMISF99678B3PTBRIE.htm>. (Consultado em 2010/03/30).
- EPE (2007) - Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai. Relatório Final. Consórcio Themag/Andrade & Canellas/Bourscheid, Brasília: 437p.
- FEPAM/UFRGS (2001) - Diagnóstico Ambiental da Bacia do Taquari-Antas/RS: Diretrizes Regionais para o Licenciamento Ambiental das Hidrelétricas. FEPAM/UFRGS, Porto Alegre: 40p.
- FEPAM/UFRGS (2004) - Análise de Fragilidades Ambientais e da Viabilidade de Licenciamento de Aproveitamentos Hidrelétricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Ijuí e Butuí-Piratimim-Icamaquã, Região Hidrográfica do Rio Uruguai – RS. FEPAM/UFRGS, Porto Alegre: 138p.
- FEPAM/UFSM (2005) - Análise de Fragilidades Ambientais da Bacia Hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava, situada na Região Hidrográfica do rio Uruguai. Relatório Técnico Final, FEPAM/UFSM, Santa Maria: 86p.
- HACK, J.T. (1960) - Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. American Journal of Science, Bradley Volume, v. 258, p. 80-97,
- MATOS FIERZ, M. S. (2008) - As abordagens sistêmicas e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo: 394 p.
- MMA (2005) - Ministério do Meio Ambiente. Termo de Referência para o Estudo de Avaliação Ambiental Integrada dos Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia do Rio Uruguai. Brasília: MMA, 2005. 35 p. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Documents/MeioAmbiente\\_2/AAI%20Rio%20Uruguai%20-%20Termo%20de%20Refer%C3%Aancia.pdf](http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Documents/MeioAmbiente_2/AAI%20Rio%20Uruguai%20-%20Termo%20de%20Refer%C3%Aancia.pdf). Acesso em 10/02/2012.
- MMA & IBAMA (2010) - Portaria Conjunta no. 297, de 9 de agosto de 2010. Diário Oficial da União, Seção 1, 152: 164.
- NAVEH, Z. & LIEBERMAN, A. S. (2001) - Ecología de Paisajes: teoría y aplicación. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires: 571 p.
- ROCHA, J.M. (2004) - A Sustentabilidade Desfocada: as lógicas das políticas de desenvolvimento rural para áreas de proteção ambiental (APAs) – O caso de Guaraqueçaba – PR-. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná: 234 p.
- ROCHA, J.M. (2011) - Sustentabilidade em questão: Economia, Sociedade e Meio Ambiente. Paco Editorial, Jundia-SP: 167 p.
- ROSS, J. L. S. (1994) - Análise empírica da fragilidade dos ambientes antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, 8: 63-74.
- SILVEIRA, G. L. & CRUZ, J. C. (orgs.) (2005) - Seleção ambiental de barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica. Editora da UFSM/ABRH, Santa Maria: 388 p.
- TRICART, J. (1977) - Ecodinâmica. Supren/IBGE, Rio de Janeiro: 97 p.

- TUCCI, C. E. M. & MENDES, C. A. (2006) - Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. MMA, Brasília: 302 p.
- UNEP (2003) - Africa Environment Information Network (AEIN): Framework for Capacity Building in Integrated Environmental Assessments and Reporting in Africa. United Nations Environment Programme, Nairobi. [http://www.unep.org/dewa/africa/docs/en/AEIN\\_framework\\_Document.pdf](http://www.unep.org/dewa/africa/docs/en/AEIN_framework_Document.pdf). (Consultado em 2012.02.10).
- UNIPAMPA/UFSM (2011) - Desenvolvimento metodológico e tecnológico para a avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas - FRAG-RIO. Relatório da Etapa 2. MMA/FATEC/UNIPAMPA/UFSM, Santa Maria: 270 p.
- WCD (2000) - Dams and Development: a new framework for decision-making. The Report of The World Commission on Dams. Earthscan Publications Ltd, London: 404 p.



PROPOSTA DE SOCIALIZAÇÃO AMBIENTAL PARA AS  
COMUNIDADES DO JARDIM GIANNA I E II  
NA CIDADE DE PONTA GROSSA (PARANÁ, BRASIL)

PROPOSAL FOR ENVIRONMENTAL SOCIALIZATION FOR THE  
COMMUNITIES OF GARDEN GIANNA I AND II  
IN THE CITY OF PONTA GROSSA (PARANÁ, BRAZIL)

J. P. L. de Almeida<sup>1</sup>, J. A. Prandel<sup>1</sup> & A. S. Uller<sup>2</sup>

**Resumo** – Vários trabalhos disseminam a consciência ambiental pelo mundo, no entanto, estes já não proporcionam os efeitos esperados na sensibilização das pessoas. Talvez por motivo de ações individualizadas ou em pequenas escalas, procurando englobar grandes regiões. Assim, a proposta do trabalho aqui apresentado objetiva mobilizar lideranças representativas do bairro Gianna (Ponta Grossa-PR-BR), para que exerçam ações junto aos demais indivíduos que fazem parte da comunidade, sensibilizando a todos quanto à necessidade de evitar atitudes contrárias ao meio ambiente, e assim sucessivamente até alcançar espacialidades maiores em uma temporalidade contínua. Além de atuar diretamente com os representantes sociais, a proposta demanda também atitudes conjugadas com o Poder Público, instituições privadas, ONG's, instituições de ensino e da comunidade do entorno, em prol da recuperação e preservação do meio ambiente local. Os resultados obtidos até o momento ainda se encontram em patamares de uma ação incubadora, onde as lideranças estão sendo contactadas e convidadas a participar de reuniões de grupo para traçar diretrizes operacionais. Estima-se que no mês de março, será possível estabelecer os primeiros contatos entre lideranças e comunidade, onde serão efetivadas práticas de sensibilização e elaboração de projetos a serem enviados ao poder público no sentido de solicitar implementações de melhoria às condições ambientais presentes. O projeto incentivará ações de fiscalização pela própria comunidade, condicionando cada sujeito ao bom uso do ambiente comum, pois

---

<sup>1</sup> Bacharelados em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Paraná, Brasil; jessicaprandel@hotmail.com; jpl\_almeida@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Pesquisadora do Departamento de Geociências. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 32203046. Paraná, Brasil; adri.uller@yahoo.com.br; aliccardo@uepg.br

de nada adianta ações mitigatórias sem esclarecimento da importância da participação individual na preservação local.

56

**Palavras-chave** – Representação social; mobilização preservacionista; meio ambiente

*Abstract* – Several works spread environmental awareness around the world, however, they no longer deliver the expected effects in people's awareness. Maybe this is due to individualized actions or in small scales, seeking to cover large areas. Thus the proposal of the work presented here aims to mobilize leaders representing the neighborhood Gianna (Ponta Grossa - PR-BR), for carrying out actions with other individuals who are part of the community, raising awareness to everyone about the need to avoid attitudes against the environment, and so on until it reaches a wider audience and continuous temporality. In addition to acting directly with social representatives, the proposal also demand conjugation with the Public attitudes, private institutions, NGOs, educational institutions and the neighbor community, in favor of the recovery and preservation of the local environment. The results obtained so far are still in levels of incubator action, where the leadership are being contacted and invited to participate in group meetings for the sketch of the operational guidelines. It is estimated that in the month of March, it will be possible to establish the first contacts between leaders and the community, which will be effective awareness-raising practices and elaboration of projects to be submitted to public authorities in order to request improvement implementations to present environmental conditions. The project will encourage enforcement actions by the community, thus controlling each citizen to proper use of the common environment, as mitigating actions without clarification of the importance of individual participation in site preservation are useless.

**Keywords** – social representation; mobilisation of environmental preservation; environment

## 1 – Introdução

Nas condições do mundo contemporâneo a necessidade de preservação não se remete apenas ao ambiente natural, havendo cada vez mais a busca incessante de recuperar áreas que perderam uma grande parte de suas características originais, ainda que ocupadas socialmente. Tal situação penosa se intensifica no espaço urbano<sup>3</sup> (CORRÊA, 2003), onde se vê aumentadas as dificuldades de restabelecimento da paisagem natural, por necessidade de projetos urbanísticos e arquitetônicos que não mantêm as características peculiares da vegetação do referido espaço físico em prol de alojar uma infraestrutura adequada às necessidades de implementações das diversas ações humanas.

---

<sup>3</sup> “(...) conjunto de diferentes usos da terra justapostos entre si. Tais usos definem áreas, como o centro da cidade, local de concentração de atividades comerciais, de serviços e de gestão, áreas industriais, áreas residenciais distintas em termos de forma e conteúdo social, de lazer e, entre outras, aquelas de reserva para futura expansão” (CORRÊA., 2003, p. 7).

Assim, é notório afirmar que atividades antrópicas são as responsáveis pela degradação do ambiente natural e a descaracterização do mesmo, porém é preciso refletir sobre quais questões são as causas dessa falta de consciência humana, e como é possível reverter tal quadro caótico dos dias atuais.

A realidade de problemas ambientais se instala não apenas nas grandes potências econômicas mundiais, que vivem em uma correria frenética de avanços produtivos, mas também, nas instâncias dos países subdesenvolvidos que sofrem com a pobreza, ou que se encontram numa situação emergente, em luta por um desenvolvimento mais expressivo.

Tais situações preocupantes têm mobilizado organismos do mundo inteiro, desde a Conferência de Estocolmo em 1972, e posteriormente na Rio 92, que tratou de organizar uma agenda com ações focadas num desenvolvimento sustentável para todas as nações, visando salvaguardar riquezas naturais, que se encontram em situação de risco, para que possam também ser usufruídas pelas futuras gerações.

No Brasil, palco deste último evento ambientalista mundial, algumas políticas públicas foram implantadas em prol dessa finalidade de se preservar o meio ambiente, porém, percebe-se que ainda está muito longe de se concretizar um ideal de desenvolvimento sustentável, pois as ações não alcançam as comunidades menos envolvidas nos ditames do poder público.

Assim, buscando contribuir de modo singelo, mas efetivo esta pesquisa voltou-se para um recorte espacial mais localizado, o Bairro Giana, localizado no município de Ponta Grossa-PR, com o seguinte objetivo: mobilizar lideranças representativas do bairro Gianna (Ponta Grossa-PR-BR), para que exerçam papéis consolidados sobre os demais indivíduos que fazem parte da comunidade, sensibilizando a todos quanto a necessidade de evitar as atitudes contrárias ao meio ambiente, de modo a preservá-lo, e fazendo com que isso sucessivamente alcance espacialidades maiores em uma temporalidade contínua.

Tal procedimento foi traçado de forma em que fosse possível acompanhar todos os passos da ação desenvolvida diretamente com a comunidade através de suas lideranças de bairro.

O primeiro passo realizado foi fazer um reconhecimento das condições locais, através de um minucioso trabalho de campo, onde foi possível constatar que houve um aumento considerável no lançamento de resíduos sólidos nas proximidades de afluentes que se encontram nas comunidades do Jardim Giana I e II (imagem 1) na cidade de Ponta Grossa – PR. Posteriormente, buscou-se contato com demais repartições da sociedade, para encontrar parcerias essenciais.

A primeira instituição envolvida foi o Rotary Club de Ponta Grossa (Sabará), onde foi apresentado o levantamento realizado sobre as condições do bairro Giana (I e II) e discutidas possibilidades de intervenção para reverter o quadro de degradação e estabelecer ações preservacionistas. Na discussão ficou claro que seria necessária a participação de outros segmentos do poder público, no sentido de financiar despesas e/ou realizar operações que demandam serviços de limpeza e recuperação de áreas em situações emergenciais. Também foi acordado que alguns investimentos poderiam vir de instituições privadas, e ainda que a principal atuação seria frente à comunidade, de modo a conscientizar a cada um do seu papel na manutenção do equilíbrio ambiental

das espécies locais, e ainda, que os espaços públicos sendo de todos, cabendo a cada um o dever de agir e protegê-lo.

Na instância comunitária, foi pensada uma atuação através das lideranças de bairro, que podem organizar de forma mais eficaz os grupos de moradores para estabelecer diálogos e ações necessárias. Para atingir os jovens da comunidade, o papel das escolas, igrejas e instituições sociais (como o Rotary), poderia contribuir no envolvimento destes, desde pequenos, para formar a consciência preservacionista desde as idades mais tenras.

O desenvolvimento que segue traz alguns referenciais teóricos pertinentes ao trabalho e descreve com detalhe as etapas do projeto e o que já fora desenvolvido.

## 2 – Reconhecimento da área e problema de pesquisa-ação

As comunidades do Jardim Gianna I e II estão localizadas na região norte da cidade de Ponta Grossa - Paraná, com cerca de 2.220 pessoas, que habitam 565 residências (Fig. 1). Por serem comunidades relativamente novas (PMPG, 2011)<sup>4</sup>, estas refletem o crescimento da cidade que nos últimos dois anos, obteve cerca de cinco mil novas construções regulamentadas (CREA, 2011)<sup>5</sup>.

O local em questão tornou-se estímulo de investigação e atuação quando, em uma breve investigação de campo realizada em setembro de 2011, percebeu-se uma enorme quantidade de resíduos sólidos lançados indevidamente nas proximidades de um regato na comunidade do Jardim Giana I em um curto período de tempo (4 meses), tendo como base um comparativo com imagens de outro levantamento hidrográfico da região, efetuado para o Rotary Clube Ponta Grossa – Sabará, feito em maio de 2011, pelo presidente do clube citado, podendo ser observada a descaracterização da paisagem na comparação das Figs. 2 e 3.

A partir dessa constatação foram executadas novas saídas a campo para a identificação e classificação dos resíduos, podendo ser verificado que a maior parte dos resíduos eram constituídos de sobras provenientes da construção civil (Fig. 4), uma vez que esta região é caracterizada no processo de urbanização recente, com um notável crescimento habitacional.

Mesmo diante da identificação de tais resíduos de construção civil ali depositados, não podemos desconsiderar os demais resíduos advindos de outras atividades, que de uma forma ou de outra exercem influência na descaracterização da paisagem.

---

<sup>4</sup> Dados adquiridos juntamente a Prefeitura Municipal de Ponta Grossa, com o processo nº 2690089/2011. O loteamento Jardim Giana I foi aprovado pelo DECRETO Nº 571 de 05/12/2002 (revogado pelo DECRETO 56/2003) e o loteamento Jardim Giana II teve sua aprovação com o DECRETO nº 572 de 05/12/2003 (revogado pelo DECRETO nº 57/2003).

<sup>5</sup> Visitado em 19/10/2011; <http://www.diariodoscampos.com.br/geral/noticias/38704/?noticia=crea-aponta-aumento-da-construcao-civil-em-pg> em publicação onde o CREA (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia) coloca que houve um aumento da construção civil em Ponta Grossa - Paraná.

### Localização e dados da área de implantação do projeto.



Fig. 1 - Localização do bairro Jardim Gianna (I e II). (ALMEIDA, 2011).



Fig. 2 - Estado do Arroio em 05/2011 (ALMEIDA, 2011).



Fig. 3 - Estado do Arroio em 09/2011 (ALMEIDA, 2011).

A paisagem em sua dinâmica temporal se remodela naturalmente, pelos processos de intemperismo, erosão e deslizamentos (FERNANDES & AMARAL, 2000), carregando materiais de origem natural ou antrópica da parte alta da encosta para sua base (como no caso um afluente do Arroio Pilão de Pedra), e com tais agressões poluidoras, perdem o seu mecanismo próprio, tomando novos direcionamentos, muitas vezes acelerados pela invasão dos resíduos antrópicos.

Contudo, este acúmulo de detritos identificados como sendo de construção civil ferem as normas ditadas pelo Plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil do município de Ponta Grossa, aprovado pelo DECRETO nº 1111 de 17/08/2006

que tem como objetivo “estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais”. Daí o questionamento sobre para que servem as normas se estas não são seguidas e nem mesmo fiscalizadas.

Independentemente da origem dos materiais, o acúmulo de resíduos proporciona a proliferação de microrganismos que são vetores de uma grande quantidade de doenças. Alguns destes microrganismos são ingeridos diariamente pelos humanos, causando-lhes infecções imperceptíveis. Outros transmissores como a mosca doméstica e uma variedade de espécies de baratas, estão associados a mais de 45 doenças; febre tifoide, disenterias, amebíase, poliomielite, gastroenterites ... (PEREIRA NETO, 2007 p. 25). Algumas vezes, por precauções sanitárias, estas ações no corpo humano são inibidas por anticorpos adquiridos pelas vacinas, porém não se pode curar problemas de grande monta apenas por meios paliativos, tem-se que agir na raiz do problema que é o acúmulo de lixo e a degradação ambiental, *sendo esta a melhor forma de controle das calamidades, reduzindo assim os gastos com saúde.*

*Outra influência consequente do depósito irregular dos resíduos sólidos esta nos movimentos de massa, segundo a MINEROPAR (2011)<sup>6</sup>, é um “fenômeno de escorregamento de um maciço (solo ou rocha) em superfície inclinada (talude), devido a várias causas.” Também chamado de deslizamento, tendo como fator de maior importância a declividade, neste fenômeno à ação da força da gravidade. No entanto, esta é acelerada pelo tipo de uso do solo e pela infiltração excessiva de água proveniente de chuvas torrenciais.*

Dentre outros pesquisadores, Márcio Túlio Miranda coordenador de áreas de risco geológico da Defesa Civil de Salvador – BA<sup>7</sup> relata que “o lixo facilita o deslizamento porque além de ser matéria agregada, retém umidade no solo, facilita o encharcamento e potencializa o risco de deslizar”.

Os casos de movimentos de massa na parte urbana da cidade de Ponta Grossa são constantes, por obter áreas com declividades acentuadas e a ação antrópica que em boa parte desconhece os riscos. Em proporções, no momento menores, há casos no Jardim Giana (figura 5), que com cobertura vegetal adequada pode reduzir as ocorrências, evitando movimentos maiores.

---

<sup>6</sup> Serviço Geológico do Paraná.

<sup>7</sup> Em entrevista ao Jornal da Tarde de Salvador.



Fig. 4 e 5 - Resíduos de construção civil ocupam o terreno vazio (foto 4) e movimento de massa sendo contido pela vegetação (foto 5) (ALMEIDA, 2011).

Diante dos problemas constatados, a literatura torna-se de fundamental importância para a compreensão de como isso é visto por outros pesquisadores e também por órgãos do poder público que tem preocupações afins.

### 3 – Debatendo a problemática com a teoria de estudo

A problemática em questão está focada nas deliberações de órgãos ambientalistas locais, regionais e nacionais como IAP (Instituto Ambiental do Paraná), IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis), CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), que atuam no controle ambiental de diferentes áreas buscando uma melhor atuação do ser humano com o meio ambiente. Para tanto, fica claro que se fazem necessárias medidas emergenciais capazes de fortalecer a atuação das pessoas, profissionais ou leigas, de maneira individual ou coletiva, em prol do meio ambiente sustentável.

Abordando a situação, procuramos a definição de resíduos sólidos, que para a Associação Brasileira de Normas Técnicas, com a NBR 10004 assim define (ABNT, 2004): “Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

Alguns autores utilizam a denominação de “lixo” para o material proveniente da atividade humana, como é o caso de PEREIRA NETO (2007)<sup>8</sup> inserindo em seu trabalho que “a tipologia do lixo é definida de acordo com o local em que é gerado”. Diferentemente da definição do SEMA (2008)<sup>9</sup> (Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos), lixo é “Tudo que não pode ser reaproveitado ou reciclado”.

<sup>8</sup> Logo em sua introdução insere que “O homem estabeleceu, há muitos anos, que ‘lixo’ é todo e qualquer tipo de resíduo sólido resultante de sua atividade”

<sup>9</sup> Desperdício Zero pág.09

Saindo dos conflitos conceituais, independe da denominação, todo o resíduo lançado na natureza sem um tratamento adequado agride e deteriora o meio ambiente e seus componentes de extrema necessidade para vida humana como a água, o solo, o ar, etc.

Na caracterização dos resíduos encontrados nas encostas do Jardim Giana, a maior parte provém de obras da construção civil, sem desconsiderar os de outra origem que aparentemente agem de diferente forma (físico, química e biológica) na modificação da paisagem. Composto por uma grande quantidade e variedade de resíduos, denominados de entulho os originados nas obras civis em grande parte cerca de 90% podem ser reciclados (SEMA, 2008, p.180).

Quanto à diversidade o CONAMA (2002) Conselho Nacional do Meio Ambiente na Resolução 307/02 institui, classifica e frisa que a responsabilidade sobre os resíduos provenientes da construção civil é dos geradores, independente da quantidade gerada, seja por construção ou demolição, inserindo ainda que “os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.” Independente de onde, esta assertiva regra deve ser aplicada nas ações de todos.

#### 4 – O desenvolvimento do trabalho

Primeiramente, após detectada a problemática da pesquisa verificou-se que para uma proposta como esta, de não ser apenas investigação, mas seguisse a “*Metodologia da pesquisa ação*” (THIOLLENT, 1947) a principio a mais adequada para a situação, tendo que, com o amadurecimento metodológico adequado, é possível dar ênfase a “resolução de problemas, tomadas de consciência e produção de conhecimento”. Tal proposta demandaria contudo um esforço no sentido prático, pois ao se trabalhar com a comunidade, os objetivos devem ser claros e com ações contínuas, para que realmente seja possível alcançar resultados concretos.

Também foi constatado que seriam necessárias ações de parcerias com o Poder Público, empresas privadas e ONG's (DOWBOR & TAGNIM, 2005)<sup>102</sup>, com fim de obter apoio das várias formas cabíveis. A divulgação da proposta poderia se dar de forma indireta, onde os mesmos moradores seriam informados por sua representação social (representantes de bairro), que por sua vez, acompanharia a retirada dos resíduos sólidos, que encontram-se em locais indevidos.

Assim, as saídas a campo para observação tiveram extrema importância para que este projeto fosse realizado e como já fora citado, a principal alavanca para efetuar o levantamento foi efetuado pelo presidente do Rotary Clube Ponta Grossa – Sabará, Sr. Lourival A. Góis, que apoia em todos os sentidos a realização de tais ações. Em conversa informal com moradores das comunidades em questão foi possível observar a necessidade de uma maior participação dos mesmos nas atitudes que tem como propósito melhorar a convivência das pessoas que ali moram com o meio.

Pela impossibilidade de reunir toda a comunidade foi efetuada uma seleção pelos moradores, através de entrevista formal, indicando representantes sociais da comunidade.

<sup>10 2</sup> DOWBOR, 2005 coloca que; “A articulação dos três setores (Estado, empresas e ONGs), em parceria reflete uma sustentação mais radicalizada em termos de fomento para o processo de educação de uma sociedade.”



Segundo ARRUDA (2002) “representação social é um modo de conhecimento *sociocêntrico*, que segue as necessidades, os interesses e desejos do grupo...”, estes então defenderão as necessidades dos moradores.

Nas próximas semanas, um evento integrando os representantes da comunidade será realizado, simultaneamente com a coleta dos resíduos que se encontram nas proximidades dos córregos, sendo esta efetuada pela empresa de limpeza pública do município. O espaço para realização dos eventos será cedido pelo Rotary Clube Ponta Grossa – Sabará, conhecido como “Casa da Cidadania”. Para direcionar os olhares dos integrantes, com especialistas da área será efetuada uma palestra sobre o meio ambiente e a falta que este pode fazer.

Ao fim desta será executado uma dinâmica de grupo onde os representantes serão divididos em grupos de até 10 (dez) componentes e aplicados os seguintes questionamentos;

1. Qual o ponto fraco da relação da comunidade com o meio ambiente?
2. Qual o ponto forte da relação da comunidade com o meio ambiente?
3. Atividades que realizamos hoje, mas não deveriam ser realizadas para melhorar a relação da comunidade com o meio ambiente?
4. Atividades que não realizamos hoje, que deveriam ser realizadas para melhorar a relação da comunidade com o meio ambiente?
5. Qual a sua sugestão para melhorar a relação da comunidade com o meio ambiente?

Todas as questões serão aplicadas para cada grupo e para cada questão deve ser atribuída 5 (cinco) respostas e destas as 3 (três) que mais aparecerem entre todos os grupos e para cada questão, serão destacadas pelo grupo da organização para divulgação dos resultados ao final. A aplicação das questões seguirá a sequência e ao final de cada, haverá o recolhimento das respostas, a serem tabuladas e analisadas.

Tendo como resultado “defeitos e qualidades da relação da comunidade com o meio ambiente”, serão apontados indicadores para onde tem maior necessidade de mudanças, além de propostas que deverão modificar a atitude dos participantes ou ainda atitudes que terão de ser tomadas pelo Poder Público, estas por sua vez serão protocoladas na PMPG e verificadas cotidianamente as ações que forem tomadas.

Os efeitos da dinâmica de grupo terão de ser repassado ao maior número de populares e os resultados serão divulgados na imprensa aberta (TV, rádio e jornais) para obter melhores resultados, demonstrando a efetiva participação dos sujeitos envolvidos, como reais cidadãos participantes e construtores de sua sociedade e seu espaço de vivência.

Posterior aos acontecimentos estudos mais aprofundados da área serão efetuados e novas ações terão de ser tomadas como; o replantio de espécies nativas, inserção de caçambas adaptada para a coleta dos resíduos provenientes da construção civil, manutenção dos resultados alcançados e eventos anuais com a comunidade e possível disseminação da ação para outras comunidades, com o propósito de expandir sucessivamente o trabalho.

É importante salientar que toda ação será seguida da análise dos resultados obtidos melhorando e/ou modificando o passo seguinte. Neste estão descritas apenas os passos iniciais, o que não podem ser tomados como exatos, nem ainda como únicos. A continuidade das ações ao trabalhar com a comunidade, tem extrema importância para a eficiência e eficácia dos resultados.

## 5 – Conclusão.

64

Realizar pesquisa acadêmica de cunho ambiental e social traz para os sujeitos muita satisfação, e quando esta pode ser atrelada a práticas de mobilizações, por mínimas que sejam, repercutem em maiores prestígios profissionais, pois é possível visualizar nma prática os resultados aferidos.

Este trabalho ainda está no meio do percurso, porém visualiza-se possibilidades promissoras, com o envolvimento de diferentes instituições que manifestaram apoio à esta proposta.

Em contato com o Poder Público, através da Secretária do Meio Ambiente de Ponta Grossa dispuseram de número de telefone e endereço de e-mail para denúncia contra as irregularidades, que já é de grande apoio à proposta. No entanto acreditamos que a facilitação na destinação final correta dos resíduos pertinentes, através da coleta efetivada de imediato terá maior apoio e menos impacto com os sujeitos que praticam os lançamentos irregulares, e é preciso realizar com estes um embate paciente e cauteloso.

O apoio das instituições privadas situadas na região será menos penoso quando demonstrada a necessidade e apoio popular. Acreditamos ganhar credibilidade na soma de esforços, comunidade+pesquisadores+lideranças+poder público.

Também a colaboração do Departamento de Geociência da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) está sendo de grande pertinência, na medida em que oportuniza o diálogo reflexivo entre os acadêmicos e profissionais especializados, e amplia o rol de referenciais teórico-metodológicos para fortalecer o trabalho.

Desenvolver atividades com as instituições de ensino da comunidade e do seu entorno disseminando a importância da preservação ambiental entre as crianças e os adolescentes, possibilitará a continuidade das atitudes para o desenvolvimento da comunidade com consciência ambiental.

## Referências Bibliográficas

ABNT (2004) - NBR 10004, Resíduos sólidos – Classificação.

ALMEIDA, J.P.L. (2011) - Imagens gerais. In Dados preliminares da pesquisa: Ponta Grossa.

ARRUDA, Angela (2002) - Teoria das Representações Sociais e Teorias de Gênero in Caderno de Pesquisa. Rio de Janeiro: N° 117, p. 127 – 147.

CONAMA (2002) - Gestão dos resíduos da construção civil. Resolução 307 de 05/07/02 do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Disponível em; [www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/print.php?...5](http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/print.php?...5) (consultado em; 2011/11/01).

CORRÊA, R. L. (2003) - O espaço urbano. São Paulo: Ática.

CREA (2011) - DIÁRIO DOS CAMPOS; considerações do CREA (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia) disponível em; <http://www.diariodoscamos.com.br/geral/noticias/38704/?noticia=crea-aponta-aumento-da-construcao-civil-em-pg>, (consultado em; 19/10/2011).

DOWBOR, L. TAGNIM. R. A. (2005) - Administração da água, como se fosse importante. São Paulo: Ed. Senac,.

FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. (2000) - Movimento de massa: uma abordagem Geológico-Geomorfológica/ cap. 3 in Geomorfologia e Meio Ambiente organizado por GUERRA, A.J.T. CUNHA, S. B. 3° ed. Rio de Janeiro: Beltrand Brasil, p. 124

SEMA (2008) - Desperdício zero: Programa da Secretaria de Estado do meio ambiente e recursos hídricos. Governo do Paraná, SEMA. Curitiba-PR, 2008.

PEREIRA NETO, J. T. (2007) - Gerenciamento do lixo urbano: aspectos técnicos e operacionais. Viçosa, MG: Ed. UFV,.

PMPG (2011) - PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA, Secretaria Municipal de planejamento com o processo nº 2690089/2011 juntamente com os DECRETOS nº 571/2002 e 572/2002. Ponta Grossa: 2011.

-----, DECRETO nº 1111, de 17/08/2006. disponível em; *geo.pg.pr.gov.br/portal/planodiretor/raa/anexo3.pdf* acesso em: 11/11/2011

MINEROPAR (2011) – Glossário de termos geológicos. Serviço Geológico do Paraná - Mineropar . <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/glossario/conteudo.php?conteudo=A> acesso em: 17/11/2011.

THIOLENT, Michel (1947) - Metodologia da Pesquisa-ação. 18º ed. 2011, São Paulo: Cortez.

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

(Página deixada propositadamente em branco)

PROGRAMA DE ACOMPANHAMENTO DE ATIVIDADES  
MINERÁRIAS APLICADOS A PLANO BÁSICO AMBIENTAL  
EM DUTOVIAS: ESTRUTURA E PROCEDIMENTOS

MONITORING PROGRAM OF MINING ACTIVITIES  
APPLIED TO BASIC ENVIRONMENTAL PLAN  
IN PIPELINES: STRUCTURE AND GUIDELINES

F. A. G. V. Reis<sup>1</sup>, L. do C. Giordano<sup>2</sup>, G. A. de Medeiros<sup>3</sup>, L. E. Da S. Cerri<sup>4</sup>, J. E. Zaine<sup>5</sup>,  
S. de A. Mascaro<sup>6</sup>, T. Pilachevsky<sup>7</sup>, J. G. C. de Macedo<sup>8</sup>, D. de P. Amendola<sup>9</sup>, L. S. V. Domingues<sup>10</sup>,  
A. L. C. Christianini<sup>11</sup>, CS. M. Andrade<sup>12</sup>, G. Lumiatti<sup>13</sup> & M. Lunardi<sup>14</sup>

**Resumo** – O licenciamento ambiental no Brasil é estruturado para ter basicamente três grandes etapas, que são: fase de planejamento, na qual é solicitada a Licença Prévia;

---

<sup>1</sup> Geólogo e Eng. Civil. Prof. Assistente do Departamento de Geologia Aplicada da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP – Rio Claro; e-mail: fabioreis@rc.unesp.br

<sup>2</sup> Ecóloga. Doutora em Geociências e Meio Ambiente pela UNESP – Rio Claro; e-mail: lcg@rc.unesp.br

<sup>3</sup> Agrônomo. Prof. Assistente do Curso de Engenharia Ambiental da UNESP – Sorocaba; e-mail: gerson@sorocaba.unesp.br

<sup>4</sup> Geólogo. Prof. Adjunto do Departamento de Geologia Aplicada – UNESP – Rio Claro; e-mail: lescerri@rc.unesp.br

<sup>5</sup> Geólogo. Prof. Adjunto do Departamento de Geologia Aplicada – UNESP – Rio Claro; e-mail: jezaine@rc.unesp.br

<sup>6</sup> Ecóloga. Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente – UNESP – Rio Claro; e-mail: sofiamascaro@uol.com.br

<sup>7</sup> Geógrafa. Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente – UNESP – Rio Claro; e-mail: tatipila@gmail.com

<sup>8</sup> Graduando do Curso de Geologia – UNESP – Rio Claro; e-mail: jgcmacedo@hotmail.com

<sup>9</sup> Graduando do Curso de Geologia – UNESP – Rio Claro; e-mail: daniiloamendola@hotmail.com

<sup>10</sup> Graduando do Curso de Engenharia Ambiental – UNESP – Rio Claro; e-mail: lucas.vercellino@gmail.com

<sup>11</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental – UNESP – Rio Claro; e-mail: analuizachristianini@gmail.com

<sup>12</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental – UNESP – Rio Claro; e-mail: andracarol@gmail.com

<sup>13</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental – UNESP – Rio Claro; e-mail: gabi-lumiatti@hotmail.com

<sup>14</sup> Graduando do Curso de Geologia – UNESP – Rio Claro; e-mail: marina.lunardi@gmail.com

fase de instalação, referente à Licença de Instalação; e fase de operação, associada à Licença de Operação. Para solicitação da Licença de Instalação, um dos documentos exigidos é o Plano Básico Ambiental (PBA), que apresenta o detalhamento das atividades e ações referentes aos Programas Ambientais propostos pelo empreendedor no Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Dentre esses Programas Ambientais, o Programa de Acompanhamento de Atividades Minerárias é exigido somente quando o empreendimento ocasiona alguma interferência em processo minerário que está registrado no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), não importando a fase de licenciamento mineral que esse processo esteja. Nesse contexto, a implantação de novos sistemas de dutos ocasionam, em geral, interferências em direitos minerários, que precisam ser avaliados para verificar se haverá necessidade de indenização aos titulares desses direitos. Portanto, o presente artigo foi elaborado com o intuito de propor uma estrutura e organização para elaboração do Programa de Acompanhamento de Atividades Minerárias aplicados a dutovias, considerando os procedimentos técnicos a serem implantados para a aplicação efetiva do programa.

**Palavras-chave** – Atividades minerárias; Programas ambientais; Dutovias; Brasil

*Abstract* – *The environmental licensing in Brazil is structured to have three major steps, which are: planning phase, in which it requested the Preliminary License, installation phase, on the Installation License, and the operation phase, associated with the Operating License. To request the Installation License, a document required is the Basic Environmental Plan (PBA), which provides a detail of activities and actions related to environmental programs proposed in the Environmental Impact Assessment (EIA). Among these environmental programs, the Monitoring Program of mining activities is required only when the project causes some interference in the mining process that is registered in the National Department of Mineral Production (DNPM), regardless of the mineral phase of licensing this process is. In this context, the deployment of new pipeline systems cause in general, interference with mining dues, that must be evaluated to verify if there is need for compensation to the holders of such dues. Therefore, this article was prepared with the intention to propose a structure and organization for the elaboration of Monitoring Program of mining activities applied to pipelines, considering the technical procedures to be implemented for the effective implementation of the program.*

**Keywords** – *Mining activities; Environmental programs; Pipelines; Brasil*

## 1 – Introdução

O Programa de Acompanhamento de Atividades Minerárias (PAAM) é dos programas estabelecidos para compor o Plano Básico Ambiental (PBA) no licenciamento de atividades e empreendimentos em áreas rurais que precisam ser desapropriadas e que possuem substâncias minerais em exploração ou em pesquisa, ou seja, em áreas onde há direitos minerários ativos por meio de processos registrados no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), órgão público, ligado ao Ministério de Minas e Energia, que regulamenta, analisa, outorga e fiscaliza direitos minerários no território brasileiro.

O PBA é um documento que abrange o detalhamento dos programas socioambientais propostos no estudo de impacto ambiental e no relatório de impacto ambiental (EIA/RIMA) e pelas exigências e recomendações do órgão ambiental estabelecidas na Licença Ambiental Prévia, devendo compor a documentação para solicitação da Licença Ambiental de Instalação (DER, 2007; SANCHEZ, 2008). Um desses programas socioambientais que podem ser exigidos no PBA é o PAAM.

Os empreendimentos e atividades que geralmente precisam incluir o PAAM no PBA são os seguintes: dutos em geral, rodovias, ferrovias, linhas de transmissão, agroindústrias, hidrovias, reservatórios para qualquer finalidade, ou seja, todos os empreendimentos que ocupam áreas rurais que precisam ser desapropriadas. Nessas áreas é muito comum a existência de processos minerários em diferentes fases de licenciamento junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

A finalidade do PAAM é que o empreendimento em licenciamento siga os padrões técnicos de segurança com relação à interferência de terceiros, assegurando os direitos dos titulares de processos DNPM e superficiários com contrato de arrendamento firmado.

As interferências das atividades minerárias ocorrem em várias fases do projeto de licenciamento, seja no planejamento, implantação e operação, podendo ocasionar problemas técnicos, sociais, econômicos e ambientais a uma diversidade grande de atores (SANCHEZ, 2008).

Portanto, a elaboração do PAAM é de fundamental importância para estabelecer procedimentos e diretrizes para que tanto o empreendimento em licenciamento quanto os titulares de direitos minerários não sofram prejuízos. E que no caso da operação de ambos empreendimentos, não haja interferências que possam acarretar danos para as partes envolvidas, para a comunidade de entorno e o meio ambiente em geral.

## 2 – Objetivo

O objetivo principal do presente trabalho é apresentar proposta de estrutura e organização do Programa de Acompanhamento de Atividades Minerárias aplicados a dutovias, considerando os procedimentos técnicos a serem implantados para a aplicação efetiva do programa.

## 3 – Metodologia utilizada

Para desenvolvimento do presente trabalho foi realizada pesquisa documental, analisando Planos Básicos Ambientais – PBA de empreendimentos que necessitam estabelecer o PAAM como um de seus programas e Termos de Referência emitidos por órgãos ambientais de licenciamento e empresas públicas e privadas para compor os editais de licitações de obras.

Em complemento, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre os seguintes temas: Planos Básicos Ambientais, Programas de Acompanhamento de Atividades Minerárias, aspectos ambientais, legais e de licenciamento que envolvem dutovias e extrações minerais.

Os resultados foram analisados de forma integrada buscando compor uma proposta para elaboração de PAAM que possa auxiliar profissionais durante o processo de licenciamento ambiental.

#### 4 – Resultados obtidos

A partir das análises realizadas foi elaborada proposta para estrutura e organização do PAAM, que abrange os seguintes aspectos:

70

- justificativas e objetivos para implantação do programa;
- definição de metas e indicadores para acompanhamento da efetividade das ações executadas, estabelecendo as responsabilidades por cada atividade e o público alvo a que se destina o programa;
- procedimentos metodológicos para sua execução;
- atendimento aos requisitos legais;
- recursos necessários e estratégias para efetiva implantação e execução do programa;
- cronograma;
- procedimentos de acompanhamento e avaliação das atividades; e,
- resultados e produtos esperados.

A seguir são apresentados o conteúdo e os procedimentos propostos.

##### 4.1 – Justificativas e objetivos

A implantação e execução do PAAM se justifica devido a presença de atividades minerárias localizadas nas áreas de influência do empreendimento, principalmente na Área de Influência Direta (AID) e na Área Diretamente Afetada (ADA) pode ocasionar problemas nas estruturas, na faixa de dutos e nos terminais, acarretando riscos a população do entorno, aos funcionários de ambas as empresa e ao meio ambiente.

O PAAM foca na prevenção de problemas que podem afetar as áreas de influência do empreendimento por atividades minerárias, especialmente aqueles associados à ocorrência de processos geológicos de dinâmica superficial (erosão, assoreamento, movimentos de massa, inundações) e vibrações em taludes de lavra, praça de operações, depósitos de rejeito, estéril e minério e demais áreas de mineração.

Nesse contexto, o objetivo geral de um PAAM é propor estratégias para o equacionamento das questões legais e técnicas junto aos órgãos responsáveis, referentes às interferências dos processos de licenciamento mineral nas áreas de influência do empreendimento (ADA e AID) e promover a correta gestão de eventuais interferências entre as atividades de extração mineral e as de construção e operação do empreendimento.

Para tanto deve ser considerada a legislação específica, em especial o Código de Mineração e seus regulamentos, respeitando, desta forma, os detentores de direitos minerários.

##### 4.2 – Definição de metas e indicadores

As metas do PAAM devem ser estabelecidas considerando as fases de instalação e operação e as áreas de influência do empreendimento (AID e ADA), envolvendo de forma geral os seguintes aspectos:



- atualização de 100% dos processos minerários junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em relação ao levantamento efetuado durante a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA);
- identificação de áreas de interferência entre as áreas de influência do empreendimento e as atividades minerárias, apresentando a situação atual dos processos de lavra e de pesquisa mineral;
- acompanhamento das providências tomadas pelos órgãos licenciadores em relação às lavras informais existentes nas áreas de influência;
- estabelecimento dos procedimentos a serem seguidos para negociação de acordos com os titulares de direitos minerários e superficiários com contrato de arrendamento de extração e para monitoramento das atividades minerárias e de novos processos;
- estabelecimento dos procedimentos de bloqueio das atividades minerárias, por meio do Plano de Bloqueio de Atividades Minerárias;
- acompanhamento e monitoramento das atividades minerárias que ocorrem nas áreas de influência, para verificação dos padrões e procedimentos técnicos adotados pelas minerações;
- inserção de medidas de proteção nos planos e relatórios dos processos minerários, especialmente, no Plano de Aproveitamento Econômico (PAE), Plano de Lavra (PL), Plano de Pesquisa e Relatório Final de Pesquisa (RFP), que os titulares de direitos minerários, deverão considerar para evitar possíveis interferências com o empreendimento; e,
- bloqueio de 100% das atividades minerárias na faixa de domínio do empreendimento.

Como indicadores para acompanhamento do PAAM, devem ser considerados, no mínimo, os seguintes:

- quantidade de processos minerários junto ao DNPM de acordo com a fase de licenciamento;
- quantidade de processos minerários e lavras em atividade por municípios. Esse indicador possibilita organizar as estratégias de levantamento de campo e monitoramento das atividades minerárias;
- paralisação das atividades informais que estão inseridas nas áreas de influência do empreendimento;
- porcentagem de acordos firmados entre o empreendedor e os titulares de direitos minerários e superficiários em relação ao total de titulares e superficiários identificados nas áreas de influência;
- quantidade de Termos de Ajuste de Conduta, ou documento similar, entre o empreendedor e empresas mineradoras que operem junto às áreas de influência;
- quantidade de áreas de extração com uso de explosivos e de circulação intensa de máquinas e equipamentos pesados;
- ocorrência de processos de dinâmica superficial reais e potenciais;
- quantidade de não-conformidades identificadas em minerações e quantidade de novos processos minerários e novas áreas em lavra nas áreas de influência; e,
- publicação no D.O.U. de despacho do Diretor Geral do DNPM deferindo o pedido de bloqueio à emissão dos novos títulos minerários da área ocupada pelo trecho de faixa do empreendimento.

#### 4.3 – Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos necessários para o desenvolvimento do PAAM podem ser sintetizados da seguinte forma:

72

##### **1ª Etapa: Levantamento dos Processos Minerários na Faixa do Empreendimento**

Para levantamento dos processos minerários inseridos na faixa do empreendimento, devem ser utilizados os dados disponibilizados pelo Banco de Dados SIGMine (Informações Geográficas da Mineração) do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e a faixa do empreendimento a ser desapropriada.

Para a realização do procedimento são necessárias 8 passos, que foram estabelecidos no presente estudo, que são as seguintes:

- 1º Passo: realizar o download dos arquivos referentes aos polígonos das áreas requeridas em formato Shapefile (\*.shp), diretamente do site <http://sigmine.dnpm.gov.br/>, considerando os dados referentes ao 2º Distrito/DNPM (São Paulo);
- 2º Passo: importar os dados para o Programa ArcGIS 9.2, em conjunto com as informações geográficas (curvas de nível, drenagens, rodovias, ferrovias, limites de município e de área urbana, delimitações de sub-bacias e UGRHIs – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos) vetorizadas das Cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:100.000.
- 3º Passo: gerar uma faixa poligonal de 800 m no entorno dos traçados dos dutos, ou seja, um *buffer* 400 m para cada lado do traçado do duto, sendo posteriormente feita uma análise espacial entre esse polígono gerado e os dados importados do SIGmine. Nesse contexto, devem ser localizados e exportados os processos que apresentaram alguma porção da área de sua poligonal dentro do limite do *buffer*.
- 4º Passo: apresentar a listagem de todos os processos em uma tabela para possibilitar a descrição de sua situação legal por meio das informações disponibilizadas no banco de dados do DNPM denominado Cadastro Mineiro, disponível no site <https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/extra/site/admin/dadosProcesso.aspx>.
- 5º Passo: descrever e organizar as informações sobre a situação de cada processo, que devem ser apresentados em uma ficha padronizada na qual serão inseridos os seguintes dados:
  - (i) Números da ficha e do processo DNPM;
  - (ii) Fase atual do processo;
  - (iii) Titular atual (pessoa física ou jurídica) e CNPJ/CPF;
  - (iv) Responsável técnico e CPF;
  - (v) Substâncias minerais e tipo de uso;
  - (vi) Município e estado;
  - (vii) Título Atual expedido pelo DNPM e data de publicação do mesmo no Diário Oficial da União (D.O.U.);
  - (viii) Vencimento do título mineral;
  - (ix) Descrição da poligonal, incluindo área (ha); cota máxima e mínima (no caso de depósitos minerais subterrâneos); latitude e longitude do Ponto de Amarração

- (P.A.); comprimento, ângulo e rumo do vetor de Amarração; latitude e longitude de cada vértice da poligonal, conforme padrão adotado pelo DNPM;
- (x) Histórico do processo, com descrição e data de cada evento registrado pelo DNPM no cadastro mineiro;
- (xi) Figura disponibilizada pelo DNPM no cadastro mineiro, ressaltando a poligonal do processo em questão e as poligonais dos processos no entorno; e,
- (xii) Descrições e observações do trabalho de campo, com fotografias da área caso seja desenvolvida extração mineral no local.

Também devem ser elaboradas fichas de campo para as possíveis áreas de extração mineral não legalizadas, as quais devem conter as seguintes informações: localização, provável substância explorada, análise da situação atual da lavra e caracterização por meio de fotografias;

- 6º Passo: devem ser inseridas as informações disponibilizadas no Cadastro Mineiro nas fichas padronizadas dos processos DNPM, sendo que as informações de campo somente devem ser inseridas após o levantamento da segunda etapa;
- 7º Passo: elaborar Mapa das Atividades Minerárias, na escala 1:50.000, contendo as informações geográficas já descritas anteriormente e as poligonais com os números dos processos; e,
- 8º Passo: realizar análise quantitativa por meio da tabulação da quantidade dos processos DNPM, considerando os seguintes dados: fase atual do processo, municípios e substâncias minerais.

Os dados obtidos nessa etapa devem servir de subsídios para desenvolver a segunda etapa, quando devem ser realizados os levantamentos de campo.

### **2ª Etapa: Levantamento de Campo**

A partir das informações obtidas na primeira etapa são estabelecidas as diretrizes para o desenvolvimento da segunda etapa, ou seja, são definidas as diretrizes para o desenvolvimento dos trabalhos de campo. Dessa forma, é elaborada uma listagem considerando os processos que apresentarem atividades de pesquisa ou algum tipo de extração, de acordo com os eventos do histórico do Cadastro Mineiro.

Com base nessas informações, realiza-se o trabalho de campo para verificar as possíveis interferências que podem ocorrer com o empreendimento a ser implantado, enfocando: áreas com atividade de pesquisa mineral ou lavra para a obtenção de dados mais detalhados em campo.

### **3ª Etapa: Elaboração do Plano de Bloqueio de Atividades Minerárias**

O Plano de Bloqueio de Atividades Minerárias é um documento complementar ao programa, no qual definidas:

- as diretrizes para solicitação do bloqueio, junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral;
- como será realizado o bloqueio de novos requerimentos;

- como os titulares de direitos minerários que estão dentro da faixa de implantação do empreendimento serão notificados formalmente sobre o bloqueio; e,
- as diretrizes gerais para negociação dos acordos entre o empreendedor e os titulares dos direitos minerários e superficiários com contrato de extração mineral.

O Plano de Bloqueio de Atividades Minerárias deve ser protocolado no DNPM, em conjunto com o instrumento legal de declaração de utilidade pública, considerando o memorial descritivo da faixa. Também será apresentada listagem com os processos minerários atravessados pelo traçado do empreendimento.

#### **4ª Etapa: Relatório da Implantação do Plano de Bloqueio de Atividades Minerárias**

Nessa etapa deve ser elaborado o relatório relativo à implantação do Plano de Bloqueio de Atividades Minerárias, contendo as fichas padronizadas e todas as informações obtidas nas etapas anteriores, atualizadas durante a construção do empreendimento.

Além das fichas padronizadas com todos os dados dos processos identificados na faixa do empreendimento e das lavras minerais informais, devem ser enfocadas no relatório, por meio de uma listagem, as principais interferências reais e potenciais de atividades minerárias com o empreendimento durante sua implantação.

#### **4 – Conclusões**

Dentre os programas ambientais que fazem parte do Plano Básico Ambiental, o Programa de Acompanhamento de Atividades Minerárias (PAAM) é um dos menos difundidos, pois, não se aplica a todos os casos de licenciamento de empreendimentos.

Entretanto, em empreendimentos que afetem áreas rurais que necessitam ser desapropriadas, como é o caso da construção e ampliação de redes de dutos, o PAAM é obrigatório, devendo abranger os procedimentos e estratégias para adequar as questões legais e técnicas referentes às interferências de atividades minerárias nas áreas de influência do empreendimento.

O levantamento bibliográfico e documental demonstrou que há pouca discussão sobre o conteúdo, estrutura e organização de um PAAM. Portanto, a proposta apresentada nesse artigo estabelece o conteúdo necessário para elaboração do PAAM, possibilitando uma discussão sobre o tema e fornecendo subsídios para profissionais que atuam na área de licenciamento ambiental.

Como também abre a possibilidade de comparação e discussão com os procedimentos adotados em outros países que possuem problemas semelhantes.

#### **Referências Bibliográficas**

DER (2007) – Departamento de Estradas de Rodagem. Elaboração do Plano Básico Ambiental para Licença Ambiental de Instalação. Disponível em: [ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/gestao\\_ambiental/IP-DE-S00-004\\_Plano\\_Basico\\_Ambiental\\_Licenca\\_Instalacao.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/gestao_ambiental/IP-DE-S00-004_Plano_Basico_Ambiental_Licenca_Instalacao.pdf). Disponível em: 15/07/2011

SÁNCHEZ, L.E. (2008) - Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de textos. 495p.

**SECÇÃO 2**  
**AMBIENTE E ORDENAMENTO:**  
**ORGANIZAR PARA UM FUTURO MELHOR**

“Aquele que não prevê as coisas longínquas expõe-se a desgraças próximas”.

Confúcio

(Página deixada propositadamente em branco)

## ANÁLISE ECODINÂMICA DOS MUNICÍPIOS COSTEIROS DE BARRA DOS COQUEIROS E PIRAMBU (SE, BRASIL)

### ECODYNAMICS ANALYSIS OF COASTAL MUNICIPALITIES OF BARRA DOS COQUEIROS AND PIRAMBU (SE, BRAZIL)

J. J. Costa<sup>1</sup>, A. M. F. Barbosa<sup>2</sup> & R. Melo e Souza<sup>3</sup>

**Resumo** – As diversas formas de atuação dos elementos que compõem a biosfera causam em cada espaço conseqüências muito diferentes. A dinâmica do meio ambiente é de extrema importância para a conservação e desenvolvimento dos vários recursos ecológicos existentes na superfície terrestre. Desse modo, fazendo um paralelo com a constituição das unidades de paisagem, observa-se constantemente modificações nos elementos componentes destes ecossistemas. Objetivou-se analisar como a dinâmica dos ecótopos contribui para a formação e reestruturação ambiental do litoral norte do estado de Sergipe. Para isso, a metodologia de trabalho utilizada baseou-se nos princípios da Ecodinâmica de TRICART (1977), avaliando os processos morfodinâmicos encontrado na área, os quais caracterizam os meios estáveis, intergrades e instáveis, a partir da construção de um quadro com cinco classes de vulnerabilidade, em cores distintas, sendo elas classificadas de muito baixa até muito alta. Segundo ALVES (2010), estas cores estão relacionadas a valores que foram atribuídos numa escala de 1,0 a 3,0. No planejamento com base na ecologia da paisagem, é dada uma grande ênfase a vegetação, considerada como representativa das inter-relações entre o clima, solos e a influência humana (COSTA, 2009). Faz-se necessário um desenvolvimento da consciência ecológica e o comprometimento da sociedade diante dos alarmantes impactos ambientais causados pela ação antrópica que, na maioria das vezes, não são responsabilizados pelas suas ações. A abordagem ecodinâmica constituiu um pressuposto teórico e metodológico excelente, pois abrangeu todos os elementos responsáveis pelas alterações espaciais analisadas na pesquisa.

---

<sup>1</sup> Doutorando em Geografia. Prof. do Colégio de Aplicação, Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão, Sergipe, Brasil; jailton@ufs.br

<sup>2</sup> Doutoranda em Geografia, UFS, Sergipe, Brasil; aneziamaria.barbosa@gmail.com

<sup>3</sup> Pós-Doutora em Geografia Física (Biogeografia). Profª Associada do DGE e Núcleo de Pós-Graduação em Geografia, UFS, Sergipe, Brasil. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; rome@ufs.br

**Palavras-chave** – Análise Ecodinâmica; Barra dos Coqueiros; Pirambu; Sergipe, Brasil

78

*Abstract* – The various forms of performance of the components of the biosphere in each space cause very different consequences. The dynamics of the environment is of utmost importance for the conservation and development of various ecological resources existing in the earth's surface. Thus, drawing a parallel with the establishment of landscape units, there is constant changes in the component parts of these ecosystems. The goal of this work was to analyze how the dynamics of ecotopes contributes to the formation and environmental restructuring of the north coast of the state of Sergipe. To this end, the methodological approach used was based on the principles of ecodynamics proposed by TRICART (1977), by evaluating morphodynamic processes found in the area, which characterize the stable, intergrades and unstable environments, from the construction of a frame with five classes vulnerability in different colors, which were classified as very low to very high. According to ALVES (2010), these colors are related to values ranging from 1.0 to 3.0. In planning based on landscape ecology, a great emphasis is given to vegetation, considered as representative of the interrelationships between climate, soils and human influence (COSTA, 2009). It is necessary to develop an ecological awareness and involvement of society in the face of alarming environmental impacts caused by human action which, in most cases, are not accountable for their actions. The approach ecodynamics was an excellent theoretical and methodological assumption, since it covered all the elements responsible for spatial changes analyzed in this investigation.

*Keywords* – Analysis ecodynamic; Barra dos Coqueiros; Pirambu, Sergipe, Brazil.

## 1 – Introdução

Hodiernamente, os estudos voltados para a análise do espaço apresentam-se como referências para compreensão das diversas dinâmicas naturais e sociais que atuam de forma direta ou indiretamente na constituição do meio geográfico.

Deste modo, a análise das dinâmicas naturais tem como contra partida, avaliar os impactos provocados ao longo dos anos, desencadeados pelas modificações nos ecossistemas, constituindo as variadas paisagens do planeta, cujo objetivo é o ordenamento territorial.

Assim, considerar as configurações espaciais existentes nas áreas litorâneas, requer compreender as inúmeras feições das unidades de paisagens que constituem estes ambientes. A intensa complexidade organizacional dos mesmos recebe, a cada dia, grande pressão dos agentes externos, contribuindo, de forma decisiva, na reorganização paisagística destes espaços e servindo, cada vez mais, como fontes de diversos estudos científicos, que tem no litoral seu objeto de investigação.

As formas de relevo são fortemente influenciadas pela ação marinha, associada a outros fatores como a natureza das rochas e a ação climática, e os solos são resultantes da interação de fatores como o clima, cobertura vegetal e hidrografia, que refletem nas rochas as condições ambientais de uma região.

Nesse sentido, o presente artigo teve como objetivo analisar como a dinâmica dos ecótopos contribui para a formação e reestruturação ambiental do litoral norte do estado de Sergipe. Com base neste objetivo, traçou-se uma discussão sobre os fatores e processos



que dinamizam esta paisagem de maneira intensamente rápida, e que serve de suporte para discutir os mecanismos naturais e antrópicos existentes in lócus.

## 2 – Localização da área de estudo

79

O Estado de Sergipe, localizado na posição oriental da região Nordeste entre 09°31'33" e 11°33'52" de latitude Sul, é controlado durante o ano pelo anticlone semifixo do Atlântico Sul, que dá origem às massas de ar Tropical Atlântica (mTa) e Equatorial Atlântica (mEa). A primeira, proveniente da região oriental do anticlone, atinge o Nordeste brasileiro, provocando os alísios de SE. A segunda, oriunda da parte setentrional do anticlone, atinge o litoral sergipano, originando os ventos de NE, chamados alísios de retorno. Apesar de possuírem calor e muita umidade nos seus níveis inferiores, a existência, nos níveis superiores, de uma inversão térmica (efeito de subsidência anticiclônica) não permite, em condições normais, instabilidade provocadora de chuvas, assegurando, desta forma, bom tempo e reduzindo as precipitações. Essa estabilidade das massas de ar, herdadas em sua região de origem, cessa praticamente com a atuação dos sistemas frontológicos que se individualizam na Frente Polar Atlântica (FPA) e nas correntes Perturbadas do Leste (Ondas de Leste), que são decisivas na manutenção de um regime pluviométrico caracterizado por chuvas mais abundantes no período outono/inverno.

A área de estudo está localizada na unidade geotectônica Bacia Sedimentar de Sergipe/Alagoas, que apresenta um arranjo estrutural decorrente de falhamentos normais ocorridos durante o Cretáceo Inferior, quando se desenvolveu extenso sistema de grabens (fase rift) que precedeu a abertura do oceano Atlântico, com a separação das placas Sul-Americana e Africana.

Os sedimentos quaternários da região costeira testemunham a história geológica recente da área, onde está evidenciado o último grande episódio trans-regressivo, denominado por BITTENCOURT *et al.* (1983) Última Transgressão, que ocorreu no Holoceno.

A estrutura geológica compõe-se de sedimentos costeiros aluviais e de praia, que são formações recentes (holocênica), onde se destacam os depósitos fluviais de texturas argilosas e siltosas com deposições orgânicas e de conchas.

Os municípios, pertencentes ao recorte espacial desse estudo, fazem parte do Litoral Norte do Estado de Sergipe, constituindo assim quatro municípios. São eles: Barra dos Coqueiros, Pirambu, Pacatuba e Brejo Grande (Fig. 1).

A escolha de ambos os municípios justifica-se segundo alguns parâmetros, como: variedade de unidades de paisagem e fitofisionomias, *hotspots* (área de alta diversidade biológica e sob alta pressão antrópica) e diversas intervenções do Estado.

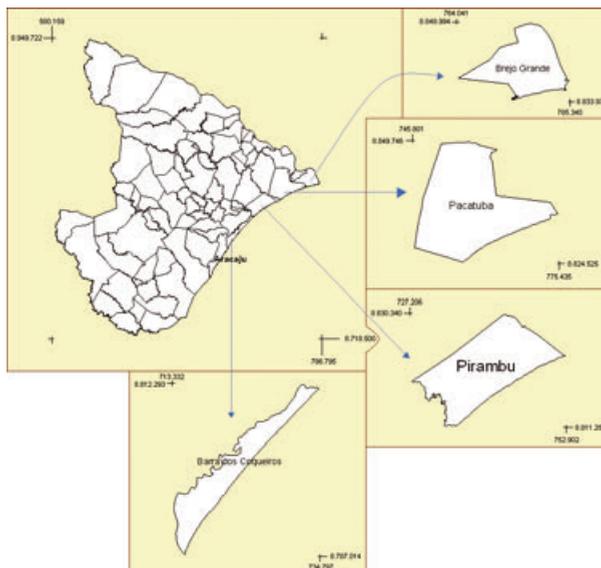


Fig. 1 - Recorte espacial da pesquisa.

De acordo com a tabela 1 abaixo, o estado de Sergipe possui uma população de 2.068.017<sup>4</sup> habitantes (IBGE, 2010), dos quais 54.224 habitam a área de estudo, ou seja, 4% da população total do Estado. A área total do litoral norte é de 823km<sup>2</sup>, o que representa 2,6% da área total do estado.

Conforme especificado na Tabela 1, a concentração de um valor relativo da população sergipana, neste espaço, tem contribuído de maneira muito intensa para o processo de planejamento territorial destas áreas, e em especial, na faixa litorânea dos respectivos municípios analisados.

Tabela 1 - Dados gerais de Sergipe, do litoral Norte e dos municípios integrantes.

	População Total	Área (km2)	Localização Geográfica
Sergipe	2.068.017	22.050	-
Litoral Norte	54.224	823	-
Barra dos Coqueiros	24.976	91	10°54'32" S e 37°02'19" W
Brejo Grande	7.742	150	10°25'46" S e 36°27'58" W
Pacatuba	13.137	364	10°27'10" S e 36°39'03" W
Pirambu	8.369	218	10°44'16" S e 36°51'21" W

Fonte: IBGE, 2010.

<sup>4</sup> IBGE - Contagem da população (2010).

Percebe-se que, nas últimas décadas do século XX, a mudança dos meios de produção econômica desenvolvida, sobretudo, nas zonas costeiras da região Nordeste em função da implantação de várias políticas públicas, proporcionou a expansão da atividade como a do turismo, e vem gerando diversos conflitos socioambientais na zona litorânea brasileira.

A área deste estudo se insere no contexto geológico da Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas, estando representada estratigraficamente por rochas do Grupo Sergipe, Grupo Barreiras e sedimentos de praia e aluviões.

O quadro mais grave registrado na Zona Costeira, particularmente na faixa praias, se observa no município de Brejo Grande, na foz do rio São Francisco, devido a alterações na dinâmica dos processos oceanográficos e fluviais, influenciadas pela instalação das barragens no curso deste rio, tendo como conseqüência a destruição do povoado do Cabeço (observado em campo durante o trabalho técnico) e da área da comunidade da Barra da Costinha.

Nos demais municípios, a ocupação da Zona Costeira é bastante diversificada, sendo verificados loteamentos de segunda residência e acréscimo da rede hoteleira, principalmente em Barra dos Coqueiros (Resort Star Fish) e Pirambu, tendo como causa a proximidade com a capital do Estado de Sergipe. Já nos municípios de Pacatuba e Brejo Grande há uma ampliação significativa da carcinicultura, devido à presença do complexo estuarino lagunar do rio São Francisco.

O litoral sergipano é influenciado diretamente pelas correntes perturbadas que interferem principalmente na pluviosidade, determinando uma concentração das chuvas no outono-inverno, caracterizando-o como o período mais chuvoso (FONTES, 1984).

Para a mesma autora, a porção norte está inserida num ambiente climático que varia de úmido a subúmido, pois sua disposição no segmento litorâneo do estado de Sergipe, sudoeste-nordeste, contribui para uma distribuição diferenciada das chuvas, evidenciando-se a ocorrência de períodos de estiagens que variam de três a cinco meses, a partir de Barra dos Coqueiros em direção a Brejo Grande. Além disso, observa-se também certa variabilidade na distribuição das chuvas do litoral para o interior. Portanto, é este atributo climático o mais importante na definição da tipologia do clima.

O litoral norte de Sergipe está sendo alvo de implementação de planos de construção de infraestruturas com intervenções em seu espaço litorâneo, a partir da construção da Ponte Construtor João Alves Filho (ligando o município de Barra dos Coqueiros à capital do estado), do Pólo Cloroquímico e Terminal Portuário Marítimo (Barra dos Coqueiros) e instalações da Petrobrás em Pirambu, o que resulta numa maior dinâmica populacional e em vários conflitos de uso e ocupação do solo.

A implantação dessas obras reflete no contexto da economia sergipana e alteram a dinâmica espacial do lugar, sendo resultado de políticas públicas. Algumas destas obras foram responsáveis pela inserção do município de Barra dos Coqueiros no processo de formação da região metropolitana de Aracaju.

### 3 – A ecodinâmica como metodologia de estudo para análise do espaço geográfico

Em se tratando de um método direcionado à análise ambiental, o presente estudo traduz-se, enquanto proposta essencial para a formulação de critérios de ordenamento territorial e gestão dos sistemas ambientais analisados, numa perspectiva em que haja

não só o entendimento dos aspectos políticos e jurídico-institucionais previstos na legislação em vigor (que regem o planejamento público regional), como também a compreensão do problema por parte tanto da comunidade científica como principalmente da população em geral visando, assim, melhor controle ambiental associado à conservação e recuperação dessas áreas já degradadas, com intuito de preservar a riqueza da paisagem.

O método hipotético-dedutivo diferencia as ciências naturais nos estudos geográficos, caracterizando o real através de hipóteses e deduções (SPOSITO, 2004). De acordo com VALE (2008), para a Geografia (uma ciência humana que lida com as interfaces das ciências naturais e sociais e, muitas vezes, até com as ciências exatas, sobretudo quando lança mão da Estatística como ferramenta de trabalho), a abordagem sistêmica constitui um pressuposto teórico e metodológico excelente, pois abrange todos os elementos responsáveis pelas alterações espaciais que os geógrafos estão aptos a analisar.

Para complementação das informações levantadas em campo, e visando dar maior consistência a análise, foi realizada coletas de dados preliminares analógicos e digitais, em fontes diversas, disponibilizadas em órgãos da administração pública direta e indireta, como artigos científicos, livros, teses de doutorado, dissertações de mestrado e monografias do curso de Bacharelado em Geografia da Universidade Federal de Sergipe.

A caracterização das unidades de paisagem com destaque para as fitofisionomias foi realizada com o uso da máquina fotográfica e do sistema de posicionamento global – GPS, em intervalos abertos, abrangendo todas as unidades.

Foi utilizado como base cartográfica na elaboração das cartas o Atlas Digital Sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe/SEPLAN/SRH-2004. O software utilizado na confecção dos mapas e das cartas foi o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas na versão 5.0 (SPRING 5.0).

Fez-se uso, também, de fotografias próprias adquiridas durante os trabalhos de campo.

Quanto às análises do espaço, segundo a metodologia CREPANI (1996, apud ALVES, 2010), os estudos que se referem a avaliar as diversas formas de vulnerabilidades ambientais que constituem a paisagem, tornam-se necessários para que haja o envolvimento de vários condicionantes geoambientais, constituintes nas unidades de paisagens.

De acordo com a Metodologia de CREPANI (1996), trabalha-se com o limite mínimo 1,0 e máximo 3,0 com intervalos de 0,1 décimo, ou seja, 21 valores possíveis. É uma metodologia para facilitar a divisão de qualquer região em classes com maior ou menor vulnerabilidade aos processos de perda de solo. Para avaliar cada unidade de paisagem e chegar a uma caracterização sobre a sua vulnerabilidade, é realizada uma média aritmética entre os valores já definidos de cada um dos temas, sendo a vulnerabilidade o resultado da soma de valores da Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e uso do solo, sempre dividido por cinco.

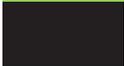
Para facilitar o estudo e o entendimento, adotou-se trabalhar com cinco cores obtidas a partir da combinação das três cores aditivas primárias (azul, verde e vermelho) de modo que se associasse a cada classe de vulnerabilidade sempre a mesma cor, obedecendo ao critério de que ao valor de maior estabilidade (1,0) se associa a cor azul, ao valor de estabilidade intermediária (2,0) se associa a cor verde e ao valor de maior vulnerabilidade (3,0) a cor vermelha.

Aos valores situados entre 1,0 e 1,7 na escala de vulnerabilidade associam-se cores resultantes da combinação entre o azul e o verde (pedogênese), crescendo a participação do segundo à medida que se aproxima de 2,0, enquanto que aos valores situados

entre 1,8 e 2,2 apresenta-se somente a cor verde (integrade), e entre o intervalo de 2,3 e 3,0 visualiza-se as cores amarelo e vermelho (morfogênese), crescendo a participação do segundo a medida em que o valor da vulnerabilidade se aproxima de 3,0, ou seja, do limite extremo.

Dessa forma, para a elaboração do quadro síntese, o qual apresenta a avaliação de uso e ocupação das paisagens constituintes no complexo, que formam o litoral norte do Estado de Sergipe, principalmente a área de estudo formada pelos municípios de Barra dos Coqueiros e Pirambu, elaborou-se um quadro com 5 (cinco) classes de vulnerabilidade, sendo elas classificadas entre muito baixa e muito alta. Estas serviram de suporte para analisar as categorias ecodinâmicas, as quais encontram-se classificadas nos seguintes parâmetros – estáveis, pouco estáveis, intergrade, pouco instável e instável. Para este esboço metodológico, cada classe está relacionada a uma escala de cores que representam os intervalos entre cada uma delas (Quadro 1).

**Quadro 1:** Valores para a avaliação Ecodinâmica das Unidades de Paisagens dos municípios de Barra dos Coqueiros e Pirambu – Sergipe (Fonte: Adaptado de CREPANI et al., 1996, apud ALVES, 2010).

Nível	Escala de cores	Classe de Vulnerabilidade	Categorias Ecodinâmicas	Relação Morfogênese e Pedogênese
1 1,0 – 1,3		Muito Baixa	Estável	Prevalece a pedogênese
2 1,4 – 1,7		Baixa	Pouco Estável	Tendência para prevalecer a pedogênese
3 1,8 – 2,2		Média	Intergrade	Equilíbrio entre ambos
4 2,3 – 2,6		Alta	Pouco Instável	Tendência para prevalecer a morfogênese
5 2,7 – 3,0		Muito Alta	Instável	Prevalece a morfogênese

#### 4 – Resultados

A atual infraestrutura socioambiental das cidades de Barra dos Coqueiros e Pirambu é precária, beirando situações de risco, porque se sabe da ausência do saneamento ambiental, ou seja, da falta de sistema de tratamento de esgoto e de condições adequadas para disposição dos resíduos sólidos. Também, um dos problemas mais sérios enfrentado pela população de Barra dos Coqueiros é o abastecimento de água potável, pois aquela que serve a população é proveniente de poços artesianos oriundos do lençol freático. Como a recarga do aquífero não satisfaz a crescente demanda, espera-se uma invasão da cunha salina, ameaçando as condições de potabilidade da água, cuja salinidade vem aumentando ao longo do tempo.

Percebe-se que grande parte do recorte espacial deste estudo é ocupado por vegetação secundária (plantação de *Cocos nucifera*, *Hancornia speciosa* e algumas culturas de subsistência) com pequenas áreas de mangues, campos de várzeas e de restingas.

A tabela 2 a seguir, traz a síntese da análise ecodinâmica da área de estudo.

Tabela 2 - Análise Ecodinâmica do Litoral Norte do Estado de Sergipe (adaptado de ALVES, 2010).

Nível	Escala de Cores	Classe de Vulnerabilidade	Categorias Ecodinâmicas	Ambientes Geomorfológicos	DESCRIÇÃO DO AMBIENTE	Relação morfogênese e Pedogênese
1 1,0 – 1,3		Muito Baixa	Estável	Não encontrado na área de estudo		-----
2 1,4 – 1,7		Baixa	Pouco Estável	De restingas	Faixa ou língua de areia, depositada paralelamente ao litoral, graças ao dinamismo destrutivo e construtivo das águas oceânicas. Conjunto de ecossistemas que compreende comunidades vegetais florísticas e fisionomicamente distintas, situadas em terrenos predominantemente arenosos, de origens marinha, fluvial, lagunar, eólica ou combinações destas, de idade quaternária, em geral com solos pouco desenvolvidos.	Tendência para prevalecer a pedogênese
3 1,8 – 2,2		Média	Intergrade	De Vertentes de Tabuleiros	Superfícies subhorizontais, estreitas e dissecadas, com extensões raramente ultrapassando 1000metros. Declividade entre 2 e 5 graus. Morfodinâmica de fraca a média intensidade. Os processos eólicos se intensificam sobre os depósitos arenosos	
4 2,3 – 2,6		Alta	Pouco Instável	De Terraços Marinhos Holocênicos	No contato com a face praial está submetida a dinâmica oceanográfica e a erosão costeira, reforçada pelas obras de engenharias. A planificação de cordões litorâneos para implantação de loteamentos altera as condições da morfologia, caracterizando-se como vulnerável.	Equilíbrio entre ambos
				Dunas Fixas	Esta alta vulnerabilidade é resultado da fraca declividade e da textura dos sedimentos pontualmente sujeitos a deflação eólica.	Tendência para prevalecer a morfogênese
5 2,7 – 3,0		Muito Alta	Instável	Campo de Deflação Eólica	Este processo alimenta as dunas ativas localizadas ao lado da SE-100, podendo ser potencializado pelo uso.	
				Dunas Embrionárias	A morfodinâmica é fortemente condicionada pelos processos naturais, hidrodinâmica marinha e deflação eólica. Pontos de progradação marinha e erosão costeira por influência antrópica.	
				Planície de Maré Inferior	Ecossistema sensível as ações humanas. Ambientes que encontram naturalmente submetidos a dinâmica dos processos oceanográficos e fluviais com inundação constante. A salinidade e as inundações são fatores restritivos ao uso agrícola. Atualmente, a planície está ameaçada pela expansão das atividades da seleta aquacultura com corte da vegetação original.	Prevalece a morfogênese
				Praial	A morfodinâmica é fortemente condicionada pelos processos naturais, hidrodinâmica marinha e deflação eólica. Pontos de progradação marinha e erosão costeira por influência antrópica e obras de engenharia.	

A vegetação pode ter seu desenvolvimento prejudicado nas áreas de passagem dos veículos, podendo haver a remobilização de dunas que antes estavam em processo de fixação. Portanto, é importante que as trilhas para veículos sobre as dunas sejam reduzidas ou ainda deslocadas para áreas onde seus impactos sejam menores para a sucessão da vegetação. A participação da comunidade nas decisões relativas a atividades turísticas se faz importante, uma vez que estão perdendo seu espaço territorial, ambiental e cultural.

A presença do gado afeta a vegetação costeira de duas maneiras: pelo pisoteio (formação de trilhas) e pela herbivoria. Ambas, pisoteio e herbivoria, alteram a composição e abundância de espécies da cobertura vegetal, provocando danos à fauna e flora locais.

Com base nos trabalhos de campo verificou-se a erosão marinha em diversos trechos da área estudada. Observou-se na área duas ocorrências de dunas com idades geológicas diferentes que integram o contexto geomorfológico do litoral de Sergipe; as dunas mais antigas são mais interiorizadas (atingindo cerca de 30m de altura); as dunas mais recentes são de posicionamento adjacente às extensões de praia; ambas gerações de duna são barcanas. É notório o potencial eólico, principalmente no município de Pirambu, onde há o campo dunar mais expressivo e a captação de energia eólica para bombear água de poços.

A paisagem da área de estudo é considerada peculiar devido à sua formação recente. Geologicamente, grande parte da região se apresenta instável e com alta vulnerabilidade com processos de perda de solo devido a fatores naturais como declividade, precipitação, ausência de cobertura vegetal, muitas vezes, intensificados pela ação antrópica como a ocupação desordenada, queima da vegetação, abertura de caminhos na praia (recreação, pavimentação e obras), entre outros.

## 5 – Considerações finais

No planejamento com base na ecologia da paisagem, é dada uma grande ênfase a vegetação, considerada como representativa das inter-relações entre o clima, solos e a influência humana. Informações sobre a vegetação são consideradas essenciais no desenvolvimento de um sistema de informações, devido a sua influência sobre o manejo dos recursos, e a interação com os outros atributos da paisagem, uma vez que pode ser considerada como um indicador das características dos mesmos.

Faz-se necessário um desenvolvimento da consciência ecológica e o comprometimento da sociedade diante dos alarmantes impactos ambientais causados pela ação antrópica, que na maioria das vezes não são responsabilizados pelas suas ações.

A metodologia de CREPANI constitui uma ferramenta excelente, pois abrange todos os elementos responsáveis pelas alterações espaciais analisadas na pesquisa, sendo sua aplicação importante para o planejamento, pois permite o monitoramento constante da área.

## Referências Bibliográficas

- ALVES, N. M. de S. (2010) - Análise geoambiental e socioeconômica dos municípios costeiros do litoral norte do estado de Sergipe – diagnóstico como subsídio ao ordenamento e gestão do território. Tese de Doutorado, Núcleo de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão, 324 p.

- BITTENCOURT, A. C.; MARTIN, L; DOMINGUEZ, J. M. L. & FERREIRA, Y. A. (1983) - Evolução Paleogeográfica Quaternária da Costa Sul do Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(2), 93-97.
- COSTA, J. de J. (2009) - Biorecuperação de Dunas Costeiras do Litoral Norte de Sergipe. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão, 175 p.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G. & DUARTE, V. (1996) - Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Curso de sensoriamento remoto aplicados ao zoneamento ecológico-econômico [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, Anais. São Paulo.
- FONTES, A. L. (1984) - O Cenozóico na bacia inferior do rio Japarutuba (SE). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Anais. Belém.
- IBGE (2010) - Censo demográfico. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010-rpv.asp?o=4&i=P>>. Acesso em: Jan. 2012.
- SPOSITO, E. S. (2004) - Geografia e Filosofia: contribuição para o ensino do pensamento Geográfico. São Paulo: UNESP.
- TRICART, J. (1977) - Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, (Recursos Naturais e Meio Ambiente), 91 p.
- VALE, C. C. do (2008) - Por uma Metodologia para o Estudo das Áreas de Manguezais: uma visão sistêmica. In: NUNES, J. O. R. & ROCHA, P. C. (Orgs.). *Geomorfologia: aplicação e metodologias*. São Paulo: Expressão Popular, Unesp. 192 p.



## UNIDADES DE PAISAGEM COMO SUBSÍDIO AO ORDENAMENTO TERRITORIAL DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SERGIPE-BRASIL

### LANDSCAPE UNITS AS SUBSIDY TO THE TERRITORIAL PLANNING OF THE COASTAL PLAIN OF SERGIPE-BRAZIL

R. Melo e Souza<sup>1</sup> & A. C. C. de A. Oliveira<sup>2</sup>

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi identificar unidades e subunidades de paisagem da Planície Costeira do município de Estância pertencente ao Litoral Sul de Sergipe como subsídio básico para o ordenamento territorial. Para isso desenvolveu-se uma classificação em setores homogêneos baseada no inventário das características físicas, biológicas e de uso do solo por meio da identificação e caracterização dos agentes e processos físicoambientais mais atuantes e dos níveis de ocupação existentes. A partir da associação das características geomorfológicas com as geológicas, pedológicas, bem como da vegetação e do uso e cobertura do solo, diferentes categorias de ambientes foram definidas. A compartimentação da Planície Costeira do município de Estância em unidades e subunidades por considerar os componentes geoecológicos da paisagem e as discontinuidades espaciais resultantes das interferências de ordem antrópica possibilitou um melhor entendimento da configuração atual da paisagem em termos de elementos e processos envolvidos, do seu funcionamento, bem como da existência de certas especificidades frente aos limites e potencialidades de cada unidade.

**Palavras-chave** – Unidades de Paisagem; Planície Costeira; Ordenamento Territorial

*Abstract* – *This study aimed to identify landscape units and subunits of the Coastal Plain of the Estância/Sergipe as an aid to plan the occupation of the area studied. A classi-*

---

<sup>1</sup> Prof<sup>a</sup> Pós Doutora Associada dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação em Geografia DGE/NPGEO/UFS e do Curso de Mestrado e Doutorado do PRODEMA, Coordenadora do Grupo de Pesquisa em Geoecologia e Planejamento Territorial/GEOPLAN/UFS/CNPq e Bolsista em Produtividade em Pesquisa do CNPq. rosemerimelo Souza@gmail.com

<sup>2</sup> Doutoranda e Mestre em Geografia pelo NPGEO/UFS. Licenciada e Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Sergipe. Pesquisadora do Grupo de Pesquisa em Geoecologia e Planejamento Territorial/GEOPLAN/UFS/CNPq aniziacoliveira@gmail.com

*fication into homogeneous sectors was developed, based on the inventory of the physical and biological characteristics and land use, through of the characterization of the agents and of the most active environmental processes. The compartmentalization of the coastal plain in units and subunits was done. The analysis of the environmental status of each compartment considered the geocological components of the landscape and the spatial discontinuities resulting from anthropogenic interference, enabled a better understanding of the current configuration of the landscape, in terms of elements and processes involved, their functioning, as well of the existence of certain specificities to the limits and potential of each unit.*

*Keywords – Landscape Units, Coastal Plain; Territorial Planning*

## 1 – Introdução

Na paisagem costeira os processos naturais e de origem antrópica são ocasionados pela atuação de elementos, em geral, caracterizados por ações interativas variáveis no tempo e no espaço condicionando a existência de unidades de paisagem que se particularizam conforme as suas características de composição e funcionamento.

Como mosaicos de coberturas vegetais, tipos de solos, formações geológicas e geomorfológicas, formas de uso e ocupação humana as paisagens sob domínio da planície costeira revelam mudanças tidas como respostas às alterações advindas da ocorrência de processos e distribuições espaciais de fenômenos.

Segundo CAVALCANTE (2004, p.105) “para compreender e manejar da melhor maneira possível os padrões intrincados de inter-relações, é preciso examinar os processos paisagísticos considerando a caracterização física e biológica, os efeitos das ações humanas, a transformação de energia e a dispersão dos materiais que alteram e modificam todo o sistema ambiental”.

Buscando a compreensão global da paisagem, que como propõe BERTRAND (2004) somente é possível a partir da investigação dos elementos naturais e sociais conjuntamente, os estudos da paisagem buscam focalizar o planejamento da ocupação territorial que ocorre em função do conhecimento dos limites (fragilidades) e das potencialidades (vocações) do meio.

Como ferramenta de planejamento e numa ótica voltada ao ordenamento dos usos, a delimitação de unidades de paisagem a partir da análise dos seus sistemas componentes, visa oferecer subsídios efetivos para o processo de determinação de pontos de maiores e menores restrições ao uso, dos limites de resiliência dos ambientes afetados por determinado tipo e intensidade de degradação visando à indicação de alternativas de manejo.

Para GÓMEZ OREA (2007, p. 52) ordenar o território significa “identificar, distribuir, organizar e regular as atividades humanas de acordo com certos critérios e prioridades”.

Para o ordenamento dos usos com vistas à conservação e preservação dos ambientes naturais é necessária a compreensão dos processos e dos agentes que os controlam, a fim de orientar o assentamento das atividades humanas e deter ou minimizar conflitos de uso e muitos impactos por eles gerados.

As atividades humanas vinculadas a vetores de uso e ocupação do território promovem transformações socioespaciais que se manifestam no espaço litorâneo sem a devida avaliação das implicações de ações, decisões e políticas de desenvolvimento. Considerando tal

problemática é que emerge a importância de estudos baseados na dinâmica da paisagem e nos efeitos ambientais das mudanças resultantes das ações humanas sobre o sistema natural.

Diante do exposto, a determinação de unidades de paisagem serve como instrumento destinado à compreensão da interação entre os processos biofísicos de base natural e os processos de apropriação humana. Tendo em vista que os critérios comumente utilizados no ordenamento dos usos no território desconsideram as capacidades de reações e evoluções dos ambientais naturais urge propostas de estudos deste tipo.

A planície costeira do município de Estância (Fig 1) apresenta ambientes naturais marcantes que vêm sendo degradados por conta de atividades humanas, diferenciadas pelos vários tipos de uso (industrial, residencial, comercial, agrícola, petrolífero, turístico) e por um padrão desordenado de ocupação que se manifesta associado à rapidez e intensidade das transformações.

Este cenário expõe a necessidade de um ordenamento do território que estabeleça restrições mais severas de ocupação com vistas à conservação e preservação destes ambientes naturais dotados de significativo potencial ecológico. Visando oferecer subsídios ao ordenamento da planície costeira do município de Estância/Sergipe e, com isso, propiciar as bases para o planejamento da ocupação da área estudada, este trabalho apresenta a delimitação e classificação de unidades de paisagem com base nas características semelhantes de estrutura e funcionamento.

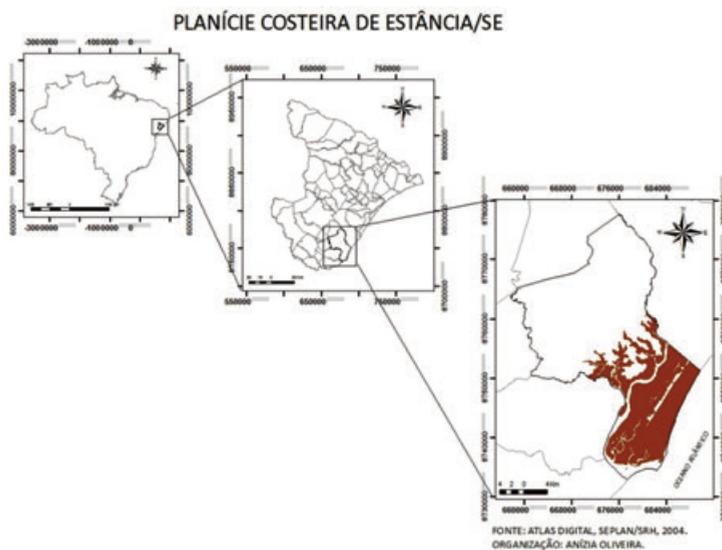


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

## 2 – Procedimentos metodológicos

A delimitação das unidades paisagísticas utiliza a proposta taxonômica de ROSS (1992) que considera a compartimentação das formas de relevo a partir da individualização de áreas que apresentam certa homogeneidade dos aspectos físicos da paisagem.

A proposta envolveu a determinação dos principais compartimentos geomorfológicos da área em questão, enquadrando-os dentro do Domínio Morfoestrutural e das Unidades Morfoesculturais pertencentes ao grande Domínio, a fim de compartimentar as Unidades Morfológicas e, conseqüentemente, chegar às Formas e aos tipos de Processos geomórficos atuais, os quais dizem respeito às interferências de ordem antrópica.

Diante disso, a classificação em setores homogêneos deu-se a partir da associação das características geomorfológicas, com as geológicas, pedológicas, bem como da vegetação e do uso e cobertura do solo resultando, mediante a integração das informações relacionadas a estes fatores, diferentes categorias de ambientes.

No geral, a síntese das características homogêneas é estabelecida a partir de critérios determinados pelo pesquisador. Para este trabalho, os parâmetros eleitos como mais importantes para subsidiar a delimitação e classificação da Planície Costeira em unidades e subunidades de paisagem foram os morfológicos e os litoestruturais, aliados aos aspectos da cobertura vegetal e do uso do solo, sendo dado mais destaque aos componentes geomorfológicos e a identificação das formas de uso e ocupação do solo. Sobre este último componente, foram identificados e analisados os agentes e processos físico-ambientais mais atuantes na área de estudo e definidos os níveis de ocupação em cada unidade da Planície.

Nesse contexto, a classificação da paisagem costeira a partir da caracterização biofísica e antrópica de setores homogêneos, a qual considera cada setor como uma unidade que apresenta um padrão semelhante de formas de relevo, solo, vegetação, alteração antrópica, discernível na paisagem e distinto em relação às unidades vizinhas, permitiu identificar quatro unidades de paisagem e sete subunidades, como mostra a Fig. 2.

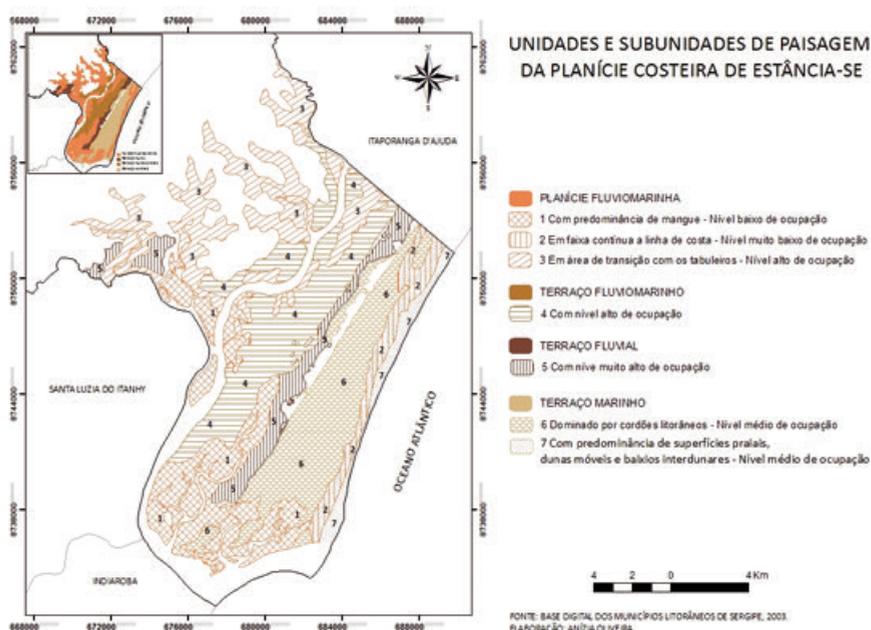


Fig. 2 - Unidades e Subunidades da Planície Costeira de Estância-SE.

As informações sobre geologia, solos, altimetria e geomorfologia, importantes por subsidiarem as análises, foram extraídas do Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe (SEPLAN/SRH, 2004). O mapa de unidades e subunidades de paisagem produzido a partir do software ArcGIS, com base na análise do uso e ocupação do solo, foi resultante da interpretação de ortofotos em escala de 1:10.000, cedidas pela Secretaria de Planejamento (SEPLAN/SE) obtidas em cobertura aerofotogramétrica ocorrida em 2003.

As ortofotos são mais adaptadas aos objetivos do trabalho, pois como afirmam Ramos *et al* (2011, pag 02) “têm uma linguagem de comunicação que melhor se aproxima da realidade representada, possibilitando com mais facilidade a identificação de elementos da paisagem”. Através da associação de ortofotos a estruturas vetoriais e bancos de dados é possível o entendimento de tendências espaciais, além da rápida definição do comportamento da distribuição de diferentes usos e ocupações do solo.

Para dar suporte ao inventário dos elementos da paisagem, levantamentos bibliográficos e cartográficos foram feitos, bem como, realizados trabalhos de campo para checagem das informações.

### 3 – Resultados e discussões

A Planície Costeira do município de Estância – SE possui uma área de 20.403 ha e encontra-se subdividida em quatro unidades de paisagem: Planície Fluviomarinha (PFm), Terraço Fluviomarinho (TFm), Terraço Fluvial (TF) e Terraço Marinho (TM).

A unidade de paisagem **Planície Fluviomarinha** (PFm) abrange uma área de 8654 ha o que equivale a 42,41% da área total da Planície Costeira e subdivide-se em três compartimentos.

No **primeiro compartimento** da PFm predominam superfícies aplainadas com altitudes abaixo dos 10 m resultantes da acumulação fluvial e sujeitas a inundações periódicas. A confluência dos Rios Piauí e Fundo e o complexo estuarino Piauí/Fundo/Real definem a presença de muitos cursos d’água concentrados mais ao sul da planície.

No tocante à geologia há o predomínio de depósitos marinhos e continentais costeiros. Quanto à pedologia, prevalecem solos indiscriminados de mangue, ricos em matéria orgânica, de coloração escura, mal drenados e que possuem altas concentrações de sais solúveis apresentando textura argilo-siltosa. Há presença em menor quantidade de espodosolo no limite com o TFm, apresentando-se excessivamente drenado com baixo poder de armazenamento de água e de nutrientes devido à textura arenosa.

A vegetação de mangue, com predomínio de 75,30% da área total, é caracterizada por grande homogeneidade fisionômica presente nas bordas dos rios com maior expressividade na desembocadura onde aparecem manchas de manguezais preservados.

No que se refere aos tipos de uso e ocupação do solo há existência de aquicultura pontual ao sul em área de transição com o TF. Já no limite com o TM aparecem manchas de áreas desmatadas, de solo exposto e cultivos mais concentrados nas margens da Rodovia Estadual.

Isso faz configurar um baixo nível de ocupação com 20,13% da área total. Todavia, com o avanço de infraestruturas, exemplificadas pela construção de estradas e pontes e de empreendimentos imobiliários, visando atender ao incremento do turismo na região, há uma crescente tendência de ocupação neste compartimento.

O **segundo compartimento** da unidade de paisagem PFm abrange uma faixa contínua paralela à linha de costa com 1036 ha, cerca de 12% da área total, transitando em área de Terraço Marinho apresentando dominância de relevo suave abaixo dos 10 m.

Predomina neste compartimento a ocorrência de campos de dunas móveis e fixas intercaladas por baixios interdunares e áreas úmidas que totalizam 84,25% de área, ocorrendo neossolos quartzarênicos em toda a sua extensão e formação vegetal de restinga com perfil arbóreo – arbustivo.

Em contrapartida, no tocante ao uso, um nível de ocupação muito baixo (15,75%) é encontrado em virtude da presença de cultivos pontuais e de algumas ocupações de veraneio localizadas em zonas interdunares ao sul do Povoado Saco do Rio Real. São identificadas casas nas proximidades da faixa de praia que vem sendo atingidas pelo avanço do mar.

O **terceiro compartimento** refere-se às áreas próximas à transição com Tabuleiros Costeiros. Com 3880 ha e percentual de 44,83% da área total da PFm, nele ocorrem relevos ondulados, dissecados em colunas e interflúvios tabulares com altitudes entre 10 e 40 m. Há a presença de muitos canais de primeira ordem e rios como o Rio Biriba e o Rio Fundo. São incluídas neste compartimento as áreas inundáveis que passam grande parte do ano alagadas por sofrerem influência fluvial.

As características geológicas que são, sobretudo, dominadas por depósitos do quaternário, favorece o predomínio de sedimentos marinhos e continentais costeiros, compostos por material sedimentar formado por arenito, arenito conglomerático, argilito arenoso apresentando associação a noroeste com sedimentos do Grupo Barreiras em que afloram solos calcários pertencentes à Formação Cotinguiba (Cretáceo Superior) no fundo de vales dos tabuleiros dissecados. O tipo de solo com maior ocorrência é o argissolo vermelho – amarelo localizado na região de contato entre os Tabuleiros Costeiros (Grupo Barreiras) com a Planície Costeira. Também são encontrados solos halomórficos nas áreas mais baixas onde domina a influência dos cursos dos rios.

Os manguezais associados à presença de canais aparecem nesta subunidade em pequenas manchas. São raras também as áreas com formações pioneiras de Floresta Ombrófila dotadas de espécies arbóreas de grande porte. Pode-se dizer que esta situação decorre das formas de uso do solo marcadas pela intensa utilização agrícola, pela presença de construções, loteamentos e habitações populares e de áreas desmatadas, no geral, destinadas às pastagens.

Os cultivos são, em sua maioria, de caráter permanente e estão relacionados à co-cultura ocorrendo em vastas áreas da planície e em superfícies de inundação sazonal, principalmente nas margens dos corpos d'água e áreas úmidas adjacentes.

As áreas desmatadas são áreas onde a vegetação, seja ela de mangue, de restinga ou de floresta, encontra-se suprimida apresentando pastagens extensivas e trechos com cultivos em seu entorno sendo comumente tomadas por estradas e caminhos.

As moradias não são atendidas por serviço de infraestrutura básica. Há necessidade de melhorias nas condições habitacionais pela implantação de serviços de água, energia e esgotamento sanitário, bem como de equipamentos e áreas de lazer de uma forma que prioritariamente seja compatível com a qualidade ambiental da área.

Todos estes fatores possibilitam a identificação de um nível alto de ocupação com usos antrópicos que abrangem 60,45% deste compartimento da Planície Fluviomarina (PFm).

A unidade **Terraço Fluviomarinho** (TFm) representa uma área de 4305 ha, 21,09% da Planície Costeira, e situa-se entre a PFm e o TF. Tal compartimento também apresenta nível alto de antropização com 60,30% da área tomada por ocupação humana.

Nesta unidade há o predomínio de relevo suave com altitudes menores que 10 m apenas havendo valores superiores, mas não ultrapassando os 30 m, na área de transição com o TF. Esta unidade apresenta solos halomórficos nas áreas de transição com a PFm, apesar de grande ocorrência de espodossolo.

Esta unidade é recortada pelo Rio Fundo e canais distributários. Por fazer limite com a PFm e por abranger longo trecho marginando os cursos fluviais, apresenta porções de vegetação de mangue e algumas manchas mais ao sul de Floresta Ombrófila densa que, ora permanecem em seu estado mais primário, ora indicam níveis baixos de antropização. São pequenas porções de cobertura vegetal original que resistem aos processos de uso e ocupação.

Quanto às formas de uso e ocupação, existem muitos terrenos preenchidos por cultivos, áreas desmatadas com solo em exposição, além de pastagens, na sua maioria de caráter extensivo. Devido à ocorrência de extensas áreas destinadas à pecuária (cerca de 25%) e cultivos principalmente de *Cocos nucifera* são comuns manchas de vegetação em estado médio e avançado de degradação.

A outra unidade componente da Planície Costeira é a unidade **Terraço Fluvial** (TF). Com 1521 ha e um percentual de 7,45% configura-se como a menor unidade da Planície Costeira, contudo, nela aparecem as maiores altitudes predominando relevo entre 20 e 30 m em quase toda margem das lagoas Grande e Funda chegando a 50 m a oeste, em porção mais interna, no limite com a PFm.

Esta unidade forma uma faixa contínua situada entre o TFm e o TM. Constitui-se por depósitos aluvionares mais antigos e em nível mais alto do que o atual conformando-se como relevo-testemunho de um período de evolução da Planície Costeira relacionado a antigas planícies de inundação.

Quanto aos tipos de solos destacam-se os neossolos quartzarênicos e o espodossolo, sendo que ao sul, nas proximidades da desembocadura, e a oeste há pequena presença de solos halomórficos, havendo também pequena mancha de argissolo vermelho-amarelo.

A cobertura vegetal original praticamente inexiste nesta unidade da Planície Costeira, apenas algumas poucas manchas de formação arbóreo-arbustiva de restinga compondo setores de paleodunas fixas em relevo suave ondulado, ondulado a forte ondulado.

Tomada por áreas compostas em sua maior parte por pastagens e cultivos (86,55% da área total), esta unidade é preenchida por estradas e caminhos em toda a sua extensão. Destaque para grande área com cultivo de coco ao sul. No limite inferior, em setor de transição com a PFm, aparecem viveiros, sobretudo, relacionados à produção de camarão.

Assim, a ocupação por cultivos, pelas fazendas de camarão e pela presença de atividade pecuária de natureza extensiva perfazem uma área de 88,87% caracterizando o TF como unidade com nível muito alto de ocupação.

A unidade de paisagem **Terraço Marinho** (TM) com 5923 ha representa 29,03% da área total da Planície Costeira e foi subdividida em dois compartimentos:

A **primeira subunidade** é a do TM marcado por superfícies aplainadas dominadas por áreas de restinga, baixios inundáveis e cordões litorâneos paralelos à linha de costa.

Este compartimento apresenta 4174 ha e abrange 70,46% da unidade TM. Possui grande trecho que faz limite com as Lagoas Funda e Grande. São encontradas, além

das lagoas permanentes, muitas zonas úmidas que sofrem influência dos períodos de maior pluviosidade.

Quase metade da área (49,70%) é composta por vegetação de restinga que se caracteriza como associação perenifólia, pouco densa, com variadas espécies arbóreo-arbustivas a exemplo do cajueiro (*Anacardium occidentale*), do murici (*Byrsonima sp.*) e da mangabeira (*Hancornia speciosa*) e se distribui de forma esparsa em muitos trechos, sendo entremeada por faixas de cordões litorâneos arenosos que se expõem quando da ausência de cobertura vegetal, intercalados por baixios que alagam no período mais chuvoso.

Neste compartimento ocorrem sedimentos inconsolidados, com variação granulométrica e material sedimentar areno-argiloso e de sedimento eólico. Predominam espodosolos tendo também a presença de neossolos quartzarênicos ocupando margens das referidas lagoas.

Quanto ao uso e ocupação do solo, há cultivos permanentes de coco-da-baía presentes de forma bem distribuída e associados muitas vezes às pastagens e a prática de agricultura familiar de subsistência em sítios e chácaras composta, em sua maior parte, por cultivos temporários de frutíferas somando no total 33,48% da área. Presença também de casas e estabelecimentos comerciais em toda a extensão da Rodovia Estadual e margens da Lagoa. Destaques para os povoados Riboleirinha, Porto do Mato e Saco do Rio Real, localidades do município de Estância onde aparecem as áreas de maior adensamento, sendo encontradas nas suas imediações áreas desmatadas com solo exposto, caminhos e estradas.

Os povoados Riboleirinha e Porto do Mato, localizados em porções mais interiores do TM são formados por habitações populares. Na Praia do Saco o processo de ocupação é antigo e remete ao núcleo inicial de povoamento. Compõe terrenos nas proximidades da linha de costa e é onde se localizam as construções de alto padrão com proprietários detentores das rendas mais altas. As casas de veraneio, em sua maioria, ocupam de forma irregular áreas próximas ou sobre os campos de dunas móveis.

Em praticamente todas as localidades, é notória a deficiência na oferta de saneamento básico. Problemas com o esgotamento sanitário, abastecimento de água, coleta dos resíduos sólidos são frequentes. A coleta de lixo não é eficiente, os destinos mais comuns dados aos resíduos são a queima e o lançamento em terrenos baldios ou em vias públicas.

Os usos e as formas de ocupação encontrados neste compartimento do TM totalizam 45,59% da área enquadrando-o no nível médio de ocupação.

A **segunda subunidade** do TM possui 1749 ha e 29,53% em relação à área total sendo caracterizada pela presença de dunas móveis e em processo de fixação e por superfícies com formações praias e de antedunas distribuídas ao longo da linha de costa.

Nesta subunidade encontram-se tipos de relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado. Há relevo plano com cotas altimétricas menores que 10 m, marcado por praias que acompanham a orla marítima. No caso das dunas estabilizadas, estas ocorrem alternadas com as dunas móveis nas proximidades da praia ou mais recuadas em direção ao continente.

Em toda a extensão há presença de zonas interdunares, baixios periodicamente alagados dependentes das condições de pluviosidade. Depósitos marinhos e continentais costeiros, compostos por sedimentos inconsolidados e bem selecionados são características da pedologia desta subunidade. Há presença de neossolos quartzarênicos ocupando



de forma contínua a zona praial. Este solo apresenta cor clara e esbranquiçada, constituído basicamente de quartzo, muito profundos, excessivamente drenados e de baixa fertilidade natural.

Nos ambientes de praia e de dunas embrionárias a cobertura vegetal inclui espécies psamófilas como a salsa-da-praia (*Ipomoea pescaprae*) em áreas de associação entre praias e antedunas. Em setores de dunas móveis, há o predomínio de vegetação perenifólia de restinga com perfil arbustivo, em setores de dunas fixas ou em fase de estabilização encontra-se vegetação de restinga arbóreo-arbustiva.

No tocante ao uso há uma densidade de habitação principalmente nas porções nordeste (Abaís) e sul (Povoado Saco do Rio Real). Na Praia do Abaís cresce o número de imóveis destinados à segunda residência. São comuns dunas e zonas interdunares alteradas (32,11% da área), pois são alvos da especulação imobiliária pelo avanço da ocupação de veraneio, crescente expansão de arruamentos e loteamentos.

Destacam-se como grande ameaça aos sistemas dunares instalações comerciais situadas à beira-mar. Na área mais visitada por banhistas presenciam-se bares voltados para o turismo de lazer, porém com precárias instalações.

Práticas de recreação, lazer, turismo pontual e esporádico nas áreas de dunas móveis são comuns. Aliado a isso, uma dinâmica imobiliária impulsionada pelo avanço da segunda residência e infraestrutura de médio porte (iluminação pública, torres de telefonia, ruas asfaltadas) vem se manifestando de forma crescente dando destaque à paisagem.

Toda esta situação somada à presença de alguns cultivos expõe para esta subunidade um nível médio de 42,83% de ocupação.

#### 4 – Considerações finais

Na planície costeira do município de Estância, ambientes naturais marcantes como dunas, manguezais e restingas vêm sendo degradados por conta de atividades humanas diferenciadas por vários tipos de uso como o agrícola, o comercial e o turístico, cujo padrão díspar de ocupação determina a rapidez e a intensidade das transformações.

Como proposta do presente trabalho, a compartimentação da planície costeira do município de Estância em unidades e subunidades de paisagem, por considerar a associação entre as características geomorfológicas, geológicas, pedológicas, bem como, da vegetação e das discontinuidades espaciais resultantes das interferências de ordem antrópica possibilitou um melhor entendimento da configuração geoecológica da paisagem, permitindo, com isso, a compreensão de certas especificidades frente aos limites e potencialidades de cada unidade.

Assim, a delimitação em unidades de paisagem, por partir de um inventário de elementos biofísicos e antrópicos se traduz num diagnóstico fundamental ao entendimento da estruturação e da dinâmica processual da paisagem, o que irá permitir, em outro momento, a proposição de alternativas de uso para os diversos níveis de fragilidades ambientais a serem detectados. Esta delimitação, apresentada como procedimento para o planejamento do meio físico, contribuirá com a orientação dos usos em função do controle das pressões antrópicas e de proposições de ações que não comprometam a integridade biofísica.

## Referências Bibliográficas

BERTRAND, G. (2004) - Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. *R. RA'E GA*, Curitiba, Editora UFPR, n. 8, p. 141-152.

96

CAVALCANTE, A. P. B. (2004) - Análise integrada das unidades paisagísticas na planície deltaica do Rio Parnaíba – Piauí/Maranhão. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, ano 03, nº 06.

GÓMEZ OREA, D. (2007) - Ordenación territorial. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2ª Ed..

RAMOS, V. D. R., MOURA, A. C. M., FREITAS, C. R., CARNEIRO, A. M. C., OLIVEIRA, R. H. & RIBEIRO, J. (2011) - O Papel das Ortofotos na Representação Cartográfica para o Turismo. Acesso em 25/03/2011. Disponível em [http://www.arq.ufmg.br/Laboratorio\\_Geo/Artigos/macae\\_ortofoto.pdf](http://www.arq.ufmg.br/Laboratorio_Geo/Artigos/macae_ortofoto.pdf).

ROSS, J. L. S. (1992) - O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxionomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia da USP*. São Paulo: n. 6. 17-29p.

SEPLAN/SRH (2004) - Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe, Superintendência de Recursos Hídricos.SRH.

URBANISMO SUSTENTÁVEL EM AMBIENTE LITORÂNEO:  
UM PROJETO DE ADEQUAÇÃO APLICADO A ZONA DE EXPANSÃO  
DA CIDADE DE ARACAJU, SERGIPE, BRASIL

SUSTAINABLE URBANISM IN COASTAL ENVIRONMENT:  
A PROJECT OF ADJUSTABILITY APPLIED TO AN EXPANSION  
ZONE OF ARACAJU CITY SERGIPE, BRAZIL

M. G. Garcia<sup>1</sup>, G. G. Garcia<sup>2</sup> & A. J. V. Garcia<sup>3</sup>

**Resumo** – Este trabalho apresenta os resultados, do estudo geocientífico e multidisciplinar, que foram aplicados a ambientes litorâneos e a sua utilidade em termos de uma proposta de desenvolvimento urbano sustentável na zona de expansão da cidade de Aracaju, capital do estado de Sergipe, Nordeste do Brasil. Neste estudo são apresentadas sugestões que podem levar à preservação de ecossistemas costeiros, bem como à manutenção do equilíbrio hidrológico da área, integrando as edificações e vias de acesso ao ambiente físico e à sua biodiversidade.

**Palavras-chave** – Urbanismo sustentável: ambiente litorâneo: expansão de zonas urbanas.

*Abstract* – This work presents the results of a geo-scientific and multidisciplinary study, that was applied to littoral environments, and it's utility in terms of a proposal of Sustainable Urban development in the Zone of the Expansion the Aracaju city, capital of Sergipe State, Northeast of Brazil. Suggestions are presented in the current study that can lead to the preservation of coastal ecosystems, as well as the maintenance of the hydrologic balance of the area, integrating the constructions and ways of access to the physical environment and it's biodiversity.

*Keywords* – Sustainable urbanism, coastal environment, expansion of urban areas.

---

<sup>1</sup> Rua Catumbi 507, apt 303. CEP 90870-270, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; e-mail: nina\_0601@hotmail.com

<sup>2</sup> Rua Catumbi 507, apt 303. CEP 90870-270, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; e-mail: gustavogarciageo@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Sergipe - UFS - Rua Rolando Vieira de Melo 245 apt 303, CEP 49036-190, Aracaju, Sergipe, Brasil; e-mail: garciageo@hotmail.com

## 1 – Introdução

98

A ocupação humana dos ambientes naturais através da construção de áreas urbanas deve ser rigorosamente precedida de estudos de Impacto Ambiental. A Zona de Expansão da cidade de Aracaju (Fig. 1), no Estado de Sergipe (Brasil), vem sendo ocupada sem preocupação com as consequências, em termos de danos causados à flora e fauna como também, ao próprio meio físico (dunas costeiras e lagoas integradas ao ecossistema litorâneo) e sistemas hidrológicos (água subterrânea e lagoas). Muitos dos projetos que hoje estão implantados na área estudada comprometem a sustentabilidade ambiental da região, inviabilizando o escoamento de águas pluviais e subterrâneas, provocando a proliferação de agentes contaminantes humanos no lençol freático e das águas superficiais (lagoas e mangues).



Fig. 1 – Contexto geográfico da cidade de Aracaju com destaque para as principais vias de conexão entre o centro e a zona de expansão (3), Sergipe (2), Brasil (1).

## 2 – Diagnóstico

O “*urbanismo geoambiental*” é uma resposta para desenvolver o urbanismo em áreas de reconhecida fragilidade ambiental, como os ambientes litorâneos e zonas costeiras.

A busca de soluções que agreguem competências que permitam modificar o meio sem interferir drasticamente com a sustentabilidade é o grande desafio a ser vencido pela sociedade em tais contextos de ocupação territorial.

A proposta de “adequação urbana da cidade de Aracaju”, Sergipe, Brasil, visa levar o desenvolvimento urbano sustentável à zona de expansão, localizada em ambiente litorâneo. Neste trabalho, a zona de expansão é definida por 20,70 km<sup>2</sup>.

A área litorânea da cidade de Aracaju possui alta fragilidade ambiental, porque está situada em ambientes complexos formados por sedimentos de dunas e lagoas costeiras. Estes elementos são substrato para vegetação de restinga e de mangue, onde se estabelece um ecossistema litorâneo que deve ser mantido e integrado ao processo de urbanização.

## 3 – Métodos

O diagnóstico dos problemas causados pela urbanização sem sustentabilidade levou em consideração as relações atuais do desenvolvimento urbano e os elementos naturais, em geral desconsiderados. Para tal, foram mapeados o estado atual de urbanização e os remanescentes de ambientes naturais em condições de serem usados como pontos de referência para o Planejamento Sustentável. Estes elementos naturais foram analisados através de fotografias aéreas (fonte: ortofotocartas executadas pela Base Aerofotogrametria e Projetos S.A.), cartografia da distribuição e altura dos corpos de areia formando as dunas e os cordões litorâneos de áreas lagunares e de mangue e, principalmente, a distribuição da flora e da fauna em cada eco-sistema identificado (Fig. 2).

Os conhecimentos geológico e biológico associado a cada um destes elementos naturais foram considerados na proposição de distribuição das sugestões de edificações e novas vias de acesso, visando assegurar a permanência dos ecossistemas e da manutenção dos corredores ecológicos entre os nichos ambientais. Outro importante aspecto considerado foi a dinâmica do fluxo hidrológico, tanto superficial como subterrâneo, a fim de manter o escoamento natural e evitar alagamentos mediante o represamento destes fluxos gerados pelas obras humanas, como hoje registrado sem o devido planejamento.

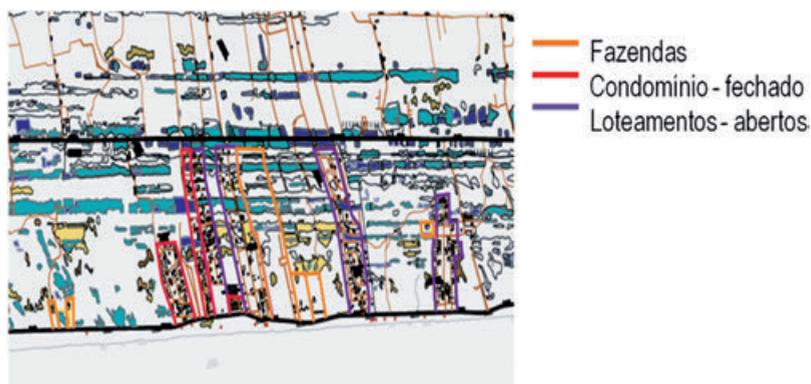


Fig. 2 – Mapeamento dos principais empreendimentos econômicos estabelecidos na zona de expansão de Aracaju e alvos das sugestões de adequação apresentadas neste trabalho.

#### 4 – Proposta de adequação urbana - aracaju integrada ao meio físico

A Dra. Maria Augusta Vargas (VARGAS, 2009), manifesta-se da seguinte maneira com relação ao desenvolvimento urbano de Aracaju: *“Planejada nos dias atuais, Aracaju seria vetada pela avaliação ambiental da legislação vigente. Contudo, a construção de uma cidade sustentável é possível e somente viável com a eliminação do entendimento da natureza intocável, que “congelaria” Aracaju, bem como do entendimento do ambiente natural indesejado, a ser conquistado e artificializado”*.

A região sul de Aracaju, em direção a fronteira com o estado da Bahia, apresenta grande potencial para investimentos que estão sendo planejados e desenvolvidos, portanto, é uma região que necessita com urgência da implementação de um plano de adequação urbana.

O impacto sócio econômico de uma estagnação do processo de desenvolvimento urbano para a cidade de Aracaju, neste momento seria tão catastrófico quanto os danos causados ao meio ambiente se este desenvolvimento não for sustentável.

##### 4.1 – Condomínios residenciais

O conceito de “condomínios fechados” (Fig. 3) se confronta com o conceito de “cidades abertas”, onde a distribuição das edificações e obras viárias se desenvolve em conformidade harmônica com a topografia e os elementos naturais como dunas, lagoas naturais, vegetação de restinga ou vegetação de mangue. Estes elementos abrigam uma fauna e flora específica.

Os loteamentos adotam três princípios fundamentais: 1- o da observação do meio físico, biológico e hidrológico; 2- o da ocupação dos espaços de forma harmonizada com o meio físico; 3- legislação ambiental brasileira (federal e estadual). Desta forma, os loteamentos propostos devem apresentar aspectos suficientemente irregulares que permitam a distribuição dos lotes de forma bem adequada ao terreno.

Procurou-se utilizar os elementos naturais tais como dunas, lagoas e vegetação como parte do paisagismo em cada loteamento, viabilizando assim, a preservação dos elementos naturais e em alguns casos, a sua própria revitalização, cumprindo a determinação da legislação ambiental brasileira de forma harmoniosa.



Fig. 3 – Modelo de condomínios de “chácaras” em ambiente urbano, assegurando a sustentabilidade ambiental para a zona de expansão da cidade de Aracaju. Área de preservação ambiental integrada com vias de acesso e pólos comerciais.

#### 4.2 – Obras viárias e pólos comerciais

As obras viárias de acesso aos novos empreendimentos (Fig. 4), e mesmo aos já existentes, devem ser adequadas em conformidade com os princípios de sustentabilidade a serem considerados nos projetos de expansão da cidade.

Pólos comerciais devem ser planejados, em substituição às atuais edificações, a partir da duplicação da Rodovia dos Naufragos, que permite o acesso ao sul do estado, na fronteira com o estado da Bahia, que é um eixo de fluxo turístico intenso no verão e em grande parte do ano.

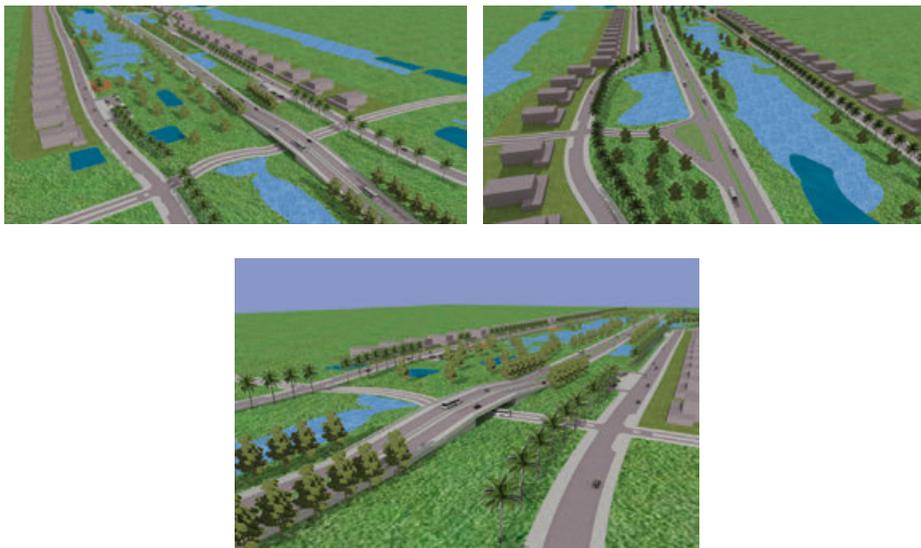


Fig. 4 – Rodovia dos Naufragos. As vias de acesso às zonas edificadas devem ser planejadas a fim de permitir o fluxo de veículos e pedestres sem interferir no fluxo das águas (subterrâneas e superficiais).

#### 4.3 – Pólos turístico e cultural associados ao desenvolvimento científico e a educação ambiental

No projeto de adequação urbana de Aracaju são sugeridos dois pólos, onde poderá ser desenvolvido o incentivo ao turismo e a cultura, com instalações de apoio e comércio junto ao acesso a ponte sobre o Rio Vaza Barris (Fig. 5), e um pólo direcionado ao desenvolvimento científico e à educação ambiental, com passarelas e lunetas para observação do ecossistema existente junto a Foz do Rio Vaza Barris, nas proximidades do farol existente (Fig. 6).





Fig. 5 – Pólo turístico e cultural sugerido para ser construído junto à ponte sobre o Rio Vaza Barris, ponto de recepção e passagem de quem trafega entre a cidade de Aracaju e o sul do estado de Sergipe, em direção a cidade de Salvador (Bahia) e vice-versa.

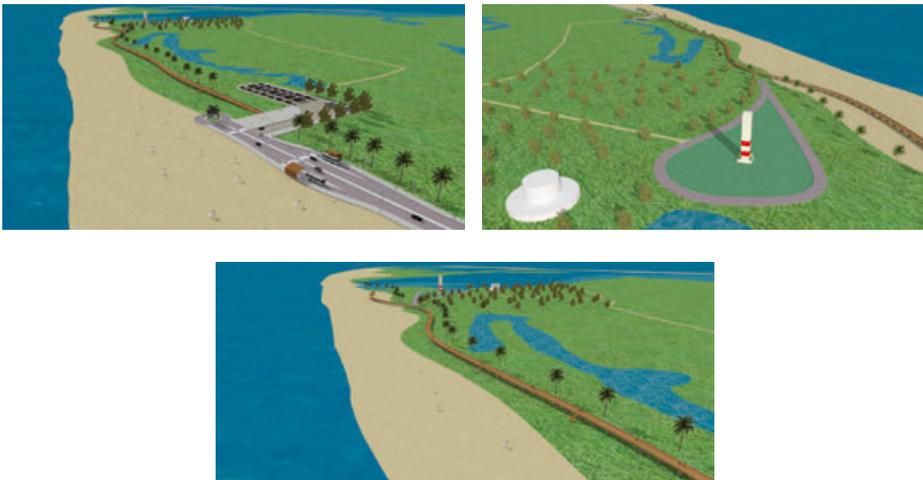


Fig. 6 – Pólo turístico e científico sugerido para ser construído nas imediações da Foz do Rio Vaza Barris, em zona litorânea com um rico ecossistema. Possibilidade de visualização de aspectos da fauna e flora e suas interatividades com o meio físico, constituído por campos de dunas e cordões litorâneos, além de um ambiente praias que apresenta intensa ação erosiva gerada pelo desequilíbrio entre a disponibilidade de areia e a ação do mar.

#### 4.4 – Melhoria dos acessos e apoio aos banhistas

Melhorias nas vias de acesso às praias e instalação de infraestruturas de apoio como a instalação de um comércio de praia e demais facilidades (estacionamentos, banheiros, chuveiros e arborização) (Fig. 7).



Fig. 7 – Os acessos e as facilidades instaladas para os banhistas têm a função de impedir a passagem de veículos para o ambiente de praia, evitando assim, a destruição dos campos de dunas e ecossistemas litorâneos.

## 5 – Considerações finais

O projeto foi desenvolvido em um contexto de concomitância ao processo de expansão da cidade de Aracaju (Sergipe, Brasil). Neste contexto, as alternativas e sugestões apresentadas correm o risco de não haver tempo para sua assimilação e aplicação, se considerarmos os trâmites políticos. No entanto, em situações análogas as sugestões deste trabalho para viabilizar o crescimento urbano sustentável podem servir de referência para o início da ocupação em outras localidades, onde o processo de urbanização ainda não tenha sido iniciado ou esteja em vias de implementação. A situação da expansão urbana da cidade de Aracaju requer maior velocidade nas decisões relacionadas a preservação do meio-ambiente, conseqüentemente, buscar a recuperação dos ambientes já degradados e impedir a destruição onde ainda, os ecossistemas podem ser preservados.

## Referências Bibliográficas

- GARCIA, M. G. (2010) - Projeto de Adequação Urbana Zona de Expansão da Cidade de Aracaju, Sergipe. Trabalho de Conclusão de Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISNOS, São Leopoldo, RS, Brasil.
- VARGAS, M. A. M. & NEVES, P. S. C. (2009) - Inventário de cada um dos oito territórios de Sergipe e elaboração de um Atlas da cultura sergipana. Relatório. Aracaju: UFS/ SEPLAN.

ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL E PERSPECTIVAS DE  
ORDENAMENTO TERRITORIAL DA ILHA DO PRÍNCIPE –  
SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE, ÁFRICA

GEOENVIRONMENTAL ZONING AND LAND PLANNING  
PERSPECTIVES ON THE ISLAND OF PRINCIPE –  
SAO TOME AND PRINCIPE, AFRICA

L. C. Miranda<sup>1</sup>, F. D. B. Rabelo<sup>2</sup>, J. A. A. Pacheco<sup>3</sup> & E. V. da Silva<sup>4</sup>

**Resumo** – O presente artigo deriva das abordagens reflexivas sobre as relações entre as formas de uso e ocupação, meio ambiente e as estratégias de desenvolvimento adotadas pelas políticas nacionais de desenvolvimento de São Tomé e Príncipe. É a partir das práticas de uso e ocupação do solo que as transformações dos componentes geoambientais se alteram por meio de um dinamismo acelerado e contínuo, rumo à deterioração ambiental que conseqüentemente amplia os empecilhos determinantes da qualidade de vida almejada socialmente na escala espaço temporal. Este artigo teve como objetivo realizar um zoneamento geoambiental da Ilha do Príncipe como suporte a promoção de reflexão sobre as estratégias de uso e ocupação, principalmente pelas práticas agrícolas analisando a paisagem construída e moldada sobre diversos usos ao longo do tempo no território santomense, servindo como subsídio para efetivação de novas estratégias de ordenamento territorial voltado ao desenvolvimento local. A partir desta análise reflexiva das condições socioambientais fez-se um realce das problemáticas ambientais demonstrando a importância do zoneamento geoambiental como ferramentas para ordenamento territorial, configurando-se como indispensável para se alcançar um desenvolvimento menos impactante tanto do ponto de vista ambiental como social.

**Palavras-chave** – Ordenamento territorial, zoneamento geoambiental, Ilha do Príncipe.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFC.; lcmiranda-ufc@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestrando em Geografia – UFC; davyrabelo@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFC; jpachecobuzi@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Doutor em Geografia – UNESP; cacau@ufc.br

*Abstract* – This article derives from the reflexive approaches on the relationship between the forms of use and occupation, the environment and the development strategies adopted by national development policies of São Tomé and Príncipe. It is from the practical use and land cover that the modifications of the geoenvironmental components change through a continuous accelerated dynamic toward the environmental degradation that magnifies the obstacles thus determining the socially desired quality of life, in a spatial and temporal scale. This article aims to perform a geoenvironmental zoning of the island of Príncipe to support the promotion of reflection on strategies for use and occupation, especially agricultural practices, by analysing the built landscape and shaped on a variety of uses over time in the territory of São Tomé, serving as allowance for the execution of new strategies for spatial planning focused on local development. From this reflective analysis of social and environmental conditions became a highlight environmental problems demonstrating the importance of geo-environmental zoning as tools for planning, configuring itself as essential to achieve a less intrusive development both environmentally and socially.

*Keywords* – Planning, geoenvironmental zoning, island of Príncipe

## 1 – Introdução

A Ilha do Príncipe é uma parcela do arquipélago de São Tomé e Príncipe, um dos países insulares da costa ocidental do continental africano, localizado no Golfo da Guiné. Recobre uma área de aproximadamente 1001 km<sup>2</sup>, sendo a Ilha de São Tomé com 859 km<sup>2</sup> e Príncipe com 142 km<sup>2</sup>, com 137 599 habitantes.

Este arquipélago possui um relevo acidentado, atingindo 2024 metros de altitude no ponto mais alto, sendo que maior parte do país está situada abaixo dos 800 metros. Apresenta diferentes tipos de solos identificados são paraferalíticos, fersialíticos tropicais castanhos e barros pretos (VAZ & OLIVEIRA, 2007). A pluviosidade média anual varia entre 2000 a 3000 mm, e podendo atingir médias superiores nas áreas montanhosas, é caracterizado como clima tropical úmido. A estação chuvosa estende-se por nove meses, enquanto a seca, de junho a setembro. Registram-se temperaturas médias anuais de 26° C e umidade relativa do ar com médias anuais acima de 85%.

São Tomé e Príncipe foi uma das primeiras colónias portuguesa na África, sendo 1471 a data em que, segundo os historiadores, os portugueses chegaram à Ilha de São Tomé e um ano depois alcançaram a Ilha do Príncipe. Entusiasmados com a beleza paisagística e com a sua localização, o arquipélago favorecia aos navegantes um excelente ponto estratégico para se conectar outras áreas que lhes despertassem interesses. O povoamento da ilha de São Tomé iniciou-se em 1485 com a chegada dos portugueses da Metrópole, madeirenses, alguns judeus, castelhanos, franceses e genoveses, no âmbito de dar a continuidade à política expansionista iniciada com o Infante D. Henrique na ilha de Madeira. (TENREIRO, 1956). Segundo o mesmo autor, a ilha do Príncipe foi povoada só em 1502, com a participação da família de António Carneiro, a quem fora doada pelo Rei de Portugal em 1500. Paulatinamente, São Tomé e Príncipe se definem como um crescente território de exploração agrícola para o benefício da Metrópole (Portugal). Durante a colonização podem-se distinguir três momentos separados por culturas diversificadas de acordo com os interesses e estratégias de produção adotadas pela

Metrópole (Portugal): cana-de-açúcar no século XV (1493), café no século XVIII (1787) e no século XIX, cacau (1822) que se mantém atualmente como um dos maiores produtos de exportação do país.

Metodologicamente, efetivou-se uma análise, diagnóstico e zoneamento ambiental considerando as condições geoambientais e as relações socioambientais manifestadas no território. Com base nas análises socioambientais realizadas na ilha do Príncipe esta abordagem consiste numa síntese crítica das condições ambientais e da realidade dos pequenos agricultores da ilha do Príncipe.

## 2 – O processo de ocupação territorial de Príncipe

Ao longo dos séculos, a economia de Príncipe desenvolveu-se sobre árduas tarefas de trabalho escravo direcionado à produtividade agrícola. Estes eram submetidos a uma exigência rigorosa de trabalho como um mecanismo de garantir o permanente crescimento da economia metropolitana. Para alcançar os objetivos da produção constatou-se a necessidade de buscar trabalhadores escravos de outras colônias, “principalmente nas regiões de Benim, Guiné e Gabão e ainda em algumas outras de Angola” (TENREIRO, 1956).

A busca pela mão-de-obra barata em outros cantos do continente teve demanda diferenciada ao longo do período da colonização, desta forma:

“A economia das ilhas desenvolveu-se graças à mão-de-obra escrava, trazida da costa ocidental da africana que, mais tarde, com o advento do Estado Novo na metrópole, é substituída por trabalhadores contratados provenientes das restantes ex-colônias portuguesas, particularmente de Angola, Cabo Verde e Moçambique” (CYSNE & AMADOR, 2000 p.173.)

Contudo, nas últimas décadas de colonização, com as plantações distribuídas em capitânias, separadas em pequenas empresas (roças) agrícolas geridas por um colono português, o cultivo de cacau (*Theobroma cacao*) no arquipélago desempenhava um papel significativo para a economia da época.

A média da produção anual de cacau competia com os grandes países produtores do período, porém, ocorreram quedas da produção de cacau em São Tomé e Príncipe durante a década de 1970. Embora a população não sofra com a falta de alimentos, observa-se certa incapacidade de gestão, muitas vezes por falta de qualificação ou por corrupção, deixou suas marcas nas difíceis condições de vida da população onde predomina o baixo poder aquisitivo. Refletindo com maior incidência nas áreas rurais, pois estas constituem como um espaço de maior vulnerabilidade aos empecilhos do desenvolvimento.

O cultivo de cacau, desde o início da sua implantação, sempre teve uma relevância significativa na economia local, sempre representando um valor relativamente elevado na taxa de exportação em relação aos outros produtos agrícolas. Embora o setor primário exerça forte influência no processo de desenvolvimento de uma nação, não se percebe uma ação significativa do estado para reverter à caótica situação daqueles que no campo e do campo procuram um modo de vida mais favorável.

A agricultura local gira em torno das capacidades que os produtores, têm para lidar com as oscilações de natureza diversas que diretamente determinam a produtividade e as condições ambientais e sociais no campo, uma vez que a exploração agrícola das ilhas é predominantemente do tipo familiar. A dita reforma agrária iniciada nos limiares

dos anos 1990, depois das inúmeras tentativas do estado em manter as empresas estatais agropecuárias, anteriormente sob o domínio da metrópole, em bom ritmo de produção. É aceitável afirmar que esta oscilação negativa da produtividade agrícola, até presente data, se deve a ausência de um acompanhamento sistemático do estado na conquista de meios capazes de promover ação assistencialista e condições técnicas produtivas através de estratégia de gerenciamento de recursos para o sector agrário. A deficiência de gestão do setor agrário afetou e continua como um empecilho à qualidade de vida dos pequenos agricultores ilhéus.

É notória a percepção da resistência dos pequenos agricultores frente às inúmeras dificuldades em manter a produção. Alguns optaram por abandonar e outros vendendo os lotes a qualquer preço como único meio de resolução de problemas imediatos. A falta de financiamento, de infraestrutura para facilitar a produção e o escoamento do produto e outras peripécias, são algumas das razões que explicam o baixo nível de produção da atual agricultura e conseqüentemente as degradações ambientais perceptíveis ao longo das florestas. Tais barreiras podem desestruturá-los na ausência do acompanhamento e aplicação de medidas adequadas a sua sustentação.

Seguindo a ordem de idéias que estão mergulhadas nas políticas defensoras da reforma agrária, cabe ainda, uma reflexão profunda sobre a qualidade de vida dos agricultores das ilhas após a conquista de terra. Reforma agrária se configura como uma ação que ultrapassa a simples distribuição de terras, uma vez que os resultados desta nova configuração do sector primário dependem dos fatores que nem sempre estão sob domínio dos agricultores. Na busca pelo desenvolvimento, de qualquer nação, o planejamento e a gestão de carácter sustentável, são determinantes para se alcançar um mínimo possível de impactos nas esferas social, econômico e ambiental. Objetivando mitigar e prevenir os impactos socioambientais, Guimarães argumenta que:

“é na interação entre sociedade e natureza que as apostas de um futuro sustentável estão ancoradas. Compreender esta aposta requer mais do que o saber das ciências naturais. Requer colocar os seres humanos, os verdadeiros atores da insustentabilidade ou da sustentabilidade, no centro do cenário (GUIMARÃES, 2005 apud FERREIRA, 2006, p.13).

Os agricultores da Ilha do Príncipe enfrentam dificuldades extremas oriundas da separação da capital São Tomé, pelo Oceano Atlântico e outros motivos aqui abordados. Devendo-se pela ausência de um meio de transporte mais acessível e seguro para o escoamento dos produtos à outros mercados consumidores. A precariedade de conexão para o escoamento do produto agrícola e outros não se aplica apenas na tentativa de ligar às duas ilhas. Durante o período da exploração portuguesa, a ilha do Príncipe dispunha de maior área agrícola cultivada e com vias de acesso razoável a todos os pontos produtivos e habitados. Mas, logo após a independência foram abandonadas paulatinamente pela incapacidade de gestão do Estado em momentos contínuos.

O abandono de uma fração das áreas agrícolas serviu para a regeneração de uma porcentagem significativa da floresta e conseqüentemente ampliou a possibilidade de preservação das espécies biológicas do arquipélago. Contudo, no limiar da reforma agrária, a impossibilidade de escoamento dos produtos das roças já se firmava como um flagelo gritante. Isto implica dizer que, do início da transformação da agricultura no tipo

familiar até presente data, as famílias agricultoras convivem com este embaraço do século passado que demonstra não ter fim.

A localização das propriedades em relação à residência dos agricultores é um dos tantos outros empecilhos do desenvolvimento do sector primário. Além da venda das propriedades, as famílias camponesas comercializam madeiras a qualquer preço. Não havendo há vários anos pouca ou nenhuma fiscalização dos órgãos ambientais competentes. Tais adaptações e práticas de manejo, até certo ponto herdadas, nem sempre se encaixam com a potencialidade ambiental, gerando assim consequências socioambientais negativas, acarretando não só a qualidade de vida social, como também a própria permanência da rica biodiversidade deste paraíso.

Com base no retrato da realidade, já não estamos com a deficiência de idéias sobre o modelo de desenvolvimento sustentável, carece de uma visão cautelosa e sistemática deste princípio de modo que oriente uma ação prática capaz de exaltar este modelo num patamar além da utopia.

### 3 – Proposta de zoneamento ambiental com vista ao ordenamento territorial

As praticas de exploração dos recursos naturais adotadas pelo homem diversificam-se não apenas pelos instrumentos técnicos que lhes são disponíveis em determinado período histórico, mas também, são influenciadas pelos valores e crenças herdadas através dos laços culturais num dado grupo social. Porém, com as descobertas de novos lugares, através da possibilidade de navegação, pelas potências colonizadoras, hábitos tradicionais tornaram-se alvo de influências externas.

Os recursos naturais são, a partir de então, explorados num ritmo incessantemente acelerados, não pelas forças engajadas em suprir as necessidades básicas de um grupo social, mas sim, movimentados principalmente pela ansiedade em acumular riquezas.

Através deste novo ritmo de busca pelos recursos naturais, os impactos ambientais se manifestam em escala preocupante, ultrapassando os limites de comunidades, atingindo fronteiras das diversas nações. Com a coleta e caça, os primórdios conviviam com a natureza num ritmo harmônico. A interferência no ambiente percorria numa intensidade diminuta e favorável à resiliência dos componentes constituintes dos sistemas ambientais.

A crescente demanda pelos recursos naturais gera implicações ambientais que consequentemente se transforma em problemas sociais. O problema ambiental se agrava pela ausência das ações de monitoramento e gestão dos recursos naturais pelos órgãos públicos e privados responsáveis à auxílio da sanidade ambiental. Assim, “as atividades humanas podem ocasionar consequências que intensifiquem a magnitude e frequência dos fenômenos naturais, numa cadeia retroalimentativa” (GUERRA & CUNHA, 2007).

Percebe-se que na Ilha do Príncipe, medidas de planejamento e gestão devem ser encarada com maior seriedade, tendo em conta que estas ações, além de auxiliar na recuperação das áreas degradadas, favorecem à construção de mecanismos capazes de prevenir desastres ambientais de maior intensidade.

É notório que cada unidade geoambiental, por menor que seja, está em constante interação com as demais, possuindo sua característica específica determinada pelos elementos que a compõem e pelas formas como esses elementos estão organizados. A especificidade característica de cada unidade do sistema ambiental determina a sua potencialidade ao

determinado tipo de uso e ocupação em momentos diferenciados. Torna-se possível determinar áreas viáveis ou não recomendáveis para esta ou aquela proposta de manejo. Desta forma, “o reconhecimento das áreas de riscos geoambientais e o estudo sobre os azares naturais refletem os efeitos dos impactos ambientais e a avaliação da vulnerabilidade das organizações sócio-econômicas” (GUERRA & CUNHA, 2007).

Com base nas características geomorfológicas da Ilha do Príncipe foi classificado o sistema ambiental em cinco unidades geoambientais, definidas em: Planície costeira, Encostas Onduladas/Suavemente Onduladas, Planaltos Baixos, Encostas Íngremes e Topos de Morros, representadas na figura 1.

As unidades geoambientais, aqui definidas, são passíveis de outras subdivisões menores, cabendo assim ao objetivo pretendido relacionado à escala de detalhe almejada na análise (RODRIGUEZ, J. M. et al., 2010).

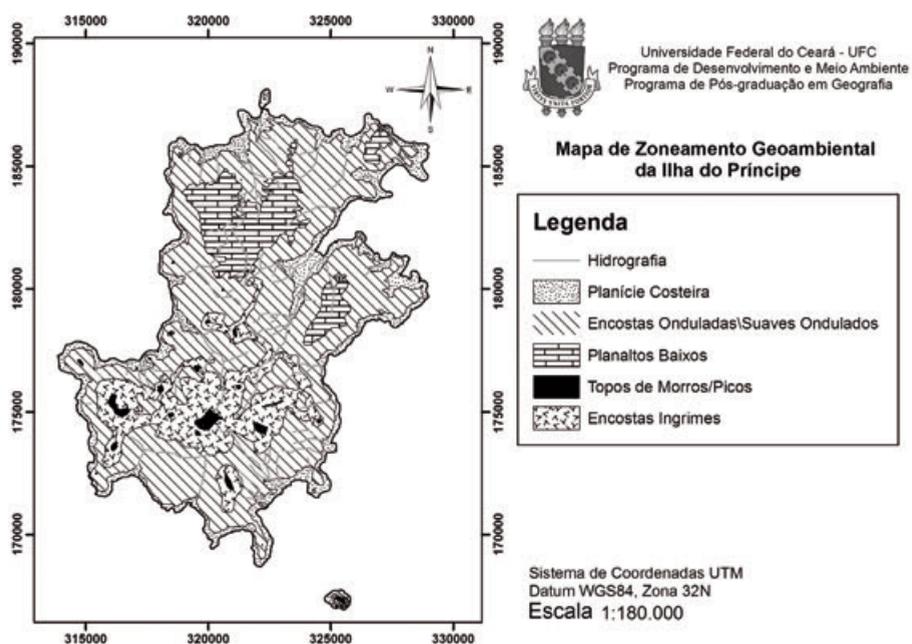


Fig. 1 - Mapa de Zoneamento Geoambiental da Ilha do Príncipe.

As feições geomorfológicas são determinantes no que diz respeito às formas de uso e ocupação, auxiliando na delimitação das unidades geoambientais, servindo como base para o ordenamento territorial da Ilha do Príncipe. Essas unidades são definidas estrategicamente para um melhor conhecimento da dinâmica dos sistemas ambientais, objetivando o reconhecimento da potencialidade e limitações de uso e ocupação das diferentes feições e elementos do ambiente.

Desta forma, propostas de preservação e conservação do ambiente poderão ser trilhadas com base no conhecimento das inter-relações dessas unidades. Esta abordagem integrada dos sistemas proporciona uma compreensão da dinâmica ambiental que ultrapassa a compreensão ecossistêmica dos componentes ambientais.



#### 4 – Considerações finais

Embora se perceba no contexto global que a agricultura familiar é uma solução para a diminuição da pobreza e para a descentralização da renda no e do campo, o exemplo da reforma agrária de Príncipe está longe do alcance dessa objetividade. Pelos passos que a agricultura na Ilha do Príncipe, e no país em geral, tem se percebido que esta prática tem contribuído para o aumento da pobreza no território nacional. Poderia tomar um rumo diferente, mas a reforma agrária ali feita claramente se define como uma simples redistribuição de terra.

Desta forma se está causando novas possibilidades favoráveis para a concentração de terras através da facilidade de compra dos terrenos por aqueles que historicamente acumulam poder e terra nas ilhas.

Para que a agricultura familiar santomense, em especial a da Ilha do Príncipe, tome uma direção mais favorável rumo à sustentabilidade, algumas medidas assistencialistas devem ser implantadas de forma menos concentrada associada a uma política de melhoramento das infra-estruturas determinantes para o favorecimento da produção e distribuição dos produtos. Tratando da necessidade de políticas, assistencialistas, não bastam apenas frisar naquela de facilidade aos créditos, mas esta associada a um acompanhamento técnico para o melhoramento das práticas agrícolas capazes de promover a produtividade satisfatória às demandas sociais, estimulando práticas de manejo causadoras de menos impacto ambiental.

A análise integrada dos sistemas ambientais se enquadra como uma das ferramentas de relevante importância para o acompanhamento contínuo das práticas sociais na comunidade em análise, de modo que práticas alternativas de manejo dos recursos naturais sejam implementadas, tendo como norte a vulnerabilidade e a capacidade de resiliência do ecossistema. Nesse contexto, a integração de sustentabilidade nas práticas cotidianas de interação com o meio ambiente é um requisito, quando se objetiva alcançar o bem-estar social por meio da agricultura familiar incorporada com ações promotoras de qualidade ambiental.

Assim, a educação ambiental seria uma das ferramentas indispensáveis para se atingir a sustentabilidade, uma vez que ela não depende apenas das forças políticas e governamentais. Torna preciso uma aliança na esfera política, educacional, social e cultural, portanto a educação ambiental se configura nessa ótica como uma necessidade.

A insustentabilidade da atual prática de desenvolvimento se manifesta como uma das questões cabíveis de resoluções práticas por meio da elaboração ou de melhor aplicação de planos nacionais de manejo ambiental, estimuladores do crescimento na produção interna de alimentos que melhor adaptem as exigências e condições socioambientais no arquipélago.

É notória a necessidade de maior atenção por meio de acompanhamentos e nas propostas de incentivos do aumento da produtividade agrícola, levando em consideração que a necessidade de uma ampliação considerável nas taxas de produção agrícola em Príncipe é cada vez mais visível tendo em conta que a importação de produtos alimentícios das diásporas nem sempre se destina à dieta de toda camada da população local, devido os altos custos dos mesmos.

Do ponto de vista social, econômica e ambiental, pelos passos da retaguarda dados pela agricultura familiar, a reforma agrária ainda falta muito a oferecer. Este padrão de exploração agrícola está longe de ser um modelo ideal, nessas condições, o agricultor se encontra sob a sua própria sorte.

## Referências Bibliográficas

112

- CYSNE, M & AMADOR, Teresa (Orgs.) ( 2000) - Direito do Ambiente e Redação Normativa: Teoria e Prática nos Países Lusófonos. Alemanha: UICN.
- FERREIRA, L. C. (2006) - Idéias Para Uma Sociologia Da Questão Ambiental No Brasil. Editora Annablume.
- GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (2007) - Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 7ª ed. Editora Bertrand Brasil.
- RODRIGUEZ, J. M., SILVA, E. V. & CAVALCANTI, A. P. B. (2010) - Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental. BNB/UFC.
- TENREIRO, F. (1956) - As Ilhas de São Tomé e Príncipe e o Território de São João Batista de Ajudá. Sociedade de Geografia de Lisboa. Semana do Ultramar.
- VAZ, H. & OLIVEIRA, F. (2007) - Relatório Nacional Do Estado Geral Da Biodiversidade De São Tomé e Príncipe. STP: Ministério do Meio Ambiente.

## ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO VERDE – PARANÁ, BRASIL

### EMPIRICAL ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY OF THE RIO VERDE BASIN - PARANA, BRAZIL

E. Passos<sup>1</sup>, M. Muratori<sup>1</sup> & S. C. Caneparo<sup>1</sup>

**Resumo** – A Bacia do Rio Verde, área-objeto do presente estudo, localizada na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná - Brasil, tem, dentre seus diversos usos, o fornecimento de água para a Refinaria Presidente Getúlio Vargas – REPAR, pertencente à petrolífera Petrobras. Tendo em vista as formas de ocupação desordenada dessa bacia ao longo dos anos, existe uma série de desequilíbrios ambientais, os quais podem deteriorar na sequência, a qualidade de suas águas. Nesse contexto, procurou-se avaliar as características físico-ambientais da bacia quanto a sua capacidade de suporte, identificando-se os níveis de fragilidade potencial e emergente, resultante da atuação de processos geológico-geomorfológicos, integrando os aspectos litológicos e tectono-estruturais em interação com as características climáticas pretéritas e atuais, o relevo, os solos e a vegetação, frente à ação humana. Para essa análise, foi adotada a metodologia que tem como base os critérios estabelecidos por TRICART (1977) relacionados às unidades ecodinâmicas, classificando os meios em estáveis, *intergrades* e fortemente instáveis. Os resultados obtidos serviram como subsídio ao estabelecimento da fragilidade potencial e emergente da bacia, a serem utilizadas no planejamento e gestão, de forma sustentável.

**Palavras-chave** – Bacia hidrográfica; fragilidade potencial; fragilidade emergente

*Abstract* – *The Rio Verde Basin, the area object of the present study, located in the Metropolitan Region of Curitiba, Paraná - Brazil, has, among its many uses, the water supply to the Refinery Presidente Getúlio Vargas - REPAR, owned by the oil company Petrobras. Given the forms of sprawl in this basin over the years, there is a series of environmental imbalances, which can deteriorate the quality of its waters. In this context, it was sought to*

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná; passosever@gmail.com; amuratori@uol.com.br; sony@ufpr.br

*evaluate the physical and environmental characteristics of the basin, identifying the levels of potential and eminent fragility resulting from the geological and geomorphological processes, integrating aspects of tectono-lithological and structural interaction with the past and present characteristics, such as climatic, topography, soils and vegetation and human action. For this analysis, the methodology established by Tricart (1977) was adopted, related to ecodynamic units, classifying as stable, inter grades and strongly unstable. The results served as input to the establishment of eminent and potential fragility of the basin to be used in planning and management in a sustainable manner.*

*Keywords - Basin area; potential fragility, eminent weakness.*

## 1 – Introdução

As políticas de planejamento no Brasil ainda são incipientes, dada uma série de fatores, quais sejam: a imensidão do território e suas formas de ocupação.

As aglomerações urbanas, historicamente concentradas nas porções próximas ao litoral, vêm determinando uma ocupação desordenada com efeitos negativos, tanto para as áreas urbanas como as periurbanas e mesmo rurais. Os ecossistemas são alterados devido ao desflorestamento, à perda de camadas superficiais de solos por processos erosivos acelerados, ao desaparecimento de nascentes, além de alterações biofísicas e químicas das redes fluviais.

Esse é o caso da área-objeto do presente estudo, a bacia do rio Verde, localizada na porção oeste da Região Metropolitana de Curitiba, no estado do Paraná que, atualmente, desempenha um papel de suma importância, tendo em vista que suas águas, parcialmente barradas num reservatório, têm como um dos destinos abastecer a Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR), da Petrobras, que constitui o maior complexo industrial do sul do Brasil. Seu uso inclui água bruta para reposição do sistema de água de resfriamento circulante da refinaria; água para uso industrial e água para produção de vapor, dentre outros usos.

Embora os problemas de degradação ambiental estejam presentes em toda a bacia, há que salientar os referentes às áreas urbanas, cuja infraestrutura, na maior parte das vezes, é precária, além da ausência de práticas de manejo sustentável nas áreas rurais e de um descontrole quanto ao uso de agrotóxicos e fertilizantes.

Nesse contexto, coube aos autores do presente artigo, fazer um estudo integrado dessa bacia, utilizando ferramentas de sensoriamento remoto, aliadas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), buscando diagnosticar a fragilidade potencial e emergente, com o objetivo de avaliar suas características físico-ambientais, frente à capacidade de suporte, de maneira a subsidiar a gestão de uso da terra.

## 2 – Contexto geoambiental da bacia do Rio Verde

A bacia drenada pelo rio Verde, constitui um subsistema hidrográfico do rio Iguaçu, localizado na porção oeste da Região Metropolitana de Curitiba, entre as latitudes de 25°18'5" S e 25°40' S e longitudes de 49°21' W e 49°49' W de Greenwich, ocupando uma

área de 238,96 km<sup>2</sup>, que abrange parte dos municípios de Campo Magro, Campo Largo, Balsa Nova e Araucária (Fig. 1 e Fig. 2).

É formada por sub-bacias, limitadas por colinas ou outeiros, em geral de topos remanescentes de antigas superfícies de aplainamento, convexizadas nas áreas menos dissecadas e mais mamelonizadas em porções de relevo mais acidentado, com interflúvios mais estreitos e condicionados à geologia, determinada pelos alinhamentos estruturais ou intrusões, que no seu conjunto, definem um sistema com direções preferenciais NE-SO e NO-SE.

A drenagem principal dessas sub-bacias tem sua origem próxima aos topos, em pequenos anfiteatros de erosão (grotões, *hollows* ou cabeceiras de drenagem) de onde convergem canais de primeira ordem (registrados em restituições planialtimétricas 1:10.000), formando riachos ou córregos. Nos períodos de relativa estiagem, os pequenos cursos d'água de cabeceira, que têm suas nascentes em “olhos d'água ou fontes d'água” e que no sistema de drenagem constituem a protorrede de drenagem, secam ou diminuem consideravelmente seu volume e, desse modo, afetam a vazão do coletor principal (riacho ou córrego) que define a microbacia hidrográfica componente da sub-bacia.

Do ponto de vista litoestrutural e tectônico a bacia do rio Verde assenta-se sobre a Unidade Morfoestrutural Cinturão Orogênico do Atlântico (ROSS, 1987), constituída por quatro grandes compartimentos geológicos, compreendendo as rochas metamórficas do Complexo Atuba, do Paleoproterozóico (BIGARELLA & SALAMUNI, 1959), e do Grupo Açungui, do Neoproterozóico (MAACK, 1947) e sobre a Bacia Sedimentar de Curitiba, constituída por sedimentos das formações Guabirota, do Eomioceno (BIGARELLA & SALAMUNI, 1959; SALAMUNI, 1998) e Tinguis (BECKER, 1982) do Plio-Pleistoceno, além de depósitos aluvionares holocénicos. Essas unidades são seccionadas por rochas básicas e intermediárias de idade Jurocretácea, imprimindo uma direção preferencial de NW-SE.

Quanto à morfologia, a área está referida à unidade morfoescultural do Primeiro Planalto Paranaense (MAACK, 1968), na qual os sistemas de relevo mais acidentados referem-se à Morraria do Açungui, correspondendo à porção setentrional, nas cabeceiras do rio Verde, e os mais aplanados à Bacia Sedimentar de Curitiba, na porção centro-meridional da bacia, no Planalto de Curitiba (CANALI & MURATORI, 1981), até alcançar seu nível de base no rio Iguaçu, em presença de amplas planícies. É importante salientar que naquela porção setentrional “...ocorrem feições de uma climatogênese antiga, em que quartzitos preservam formas de antigos inselbergs, testemunhos de um processo de pedimentação subatual.” (MURATORI & PASSOS, 2011, p. 131).

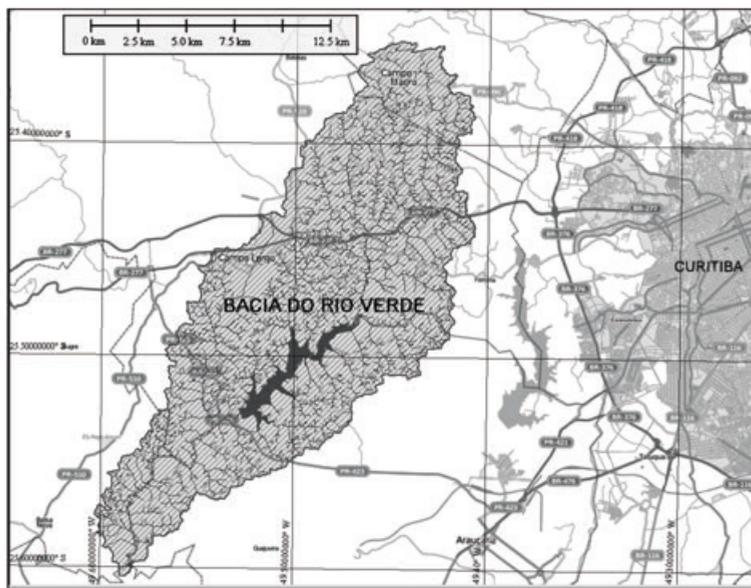


Fig. 1 e Fig. 2 – Localização: Área de estudo com detalhamento da rede hidrográfica e malha viária. (Coordenadas geográficas datum: WGS 84).

De acordo com estudos efetuados por PASSOS (1987), a evolução dessas unidades geomorfológicas se prende a variações de processos morfogenéticos e pedológicos, os quais determinaram modificações do ponto de vista de sua estabilidade físico-química, cujos registros se fazem presentes na morfologia dos terrenos, o que permite uma análise temporo-espaial dos mesmos, fator essencial, em termos de planejamento ambiental.

O clima atual da área da bacia apresenta características subtropicais, classificando-se como Cfb, segundo KÖPPEN & GEIGER (1928). A média anual de temperatura gira em torno dos 16,5°C, com verões frescos (média de 20,3°C) e invernos frios (média de 12,7°C), sendo que as chuvas estão distribuídas ao longo do ano, sendo mais acentuadas nos meses de verão, totalizando valores anuais em torno de 1450 mm.

O conjunto de tais características geológicas, morfológicas e climáticas determinaram as diferentes feições dos solos e da cobertura vegetal, além do comportamento hídrico.

As áreas mais acidentadas correspondem a solos mais rasos com vegetação estépica e as áreas pediplanadas, a solos mais desenvolvidos. De acordo com KLEIN & HATSCHBACH (1962), estão presentes, também, campos edáficos entremeados de capões, constituídos pela Floresta Ombrófila Mista Montana em diversos estágios sucessionais.

O sistema de drenagem é diversificado, apresentando um padrão sub-paralelo, com vales em “v”, tendendo a um padrão sub-dendrítico a dendrítico, em áreas de vertentes amplas. Com solos mais desenvolvidos, latossolos e argissolos, em associação com cambissolos, onde ocorrem colúvios por vezes truncados por linhas de seixos. Em áreas mais dissecadas, em presença de vertentes curtas, os cambissolos estão associados aos argissolos. Em fundos de vale predominam os gleissolos e organossolos.

## 2.1 O fator humano e a modificação do meio ambiente

De acordo com MURATORI & PASSOS (2011), a rápida expansão de núcleos urbanos que ocorreu ao longo do tempo na área-objeto de estudo, somada às atividades industriais, agropecuárias, florestais e de mineração. Destacam-se no caso, os municípios de Araucária e Campo Largo, onde as atividades industriais instaladas, determinaram a expansão urbana, que ocorreu sem planejamento algum, seguida de processos degradacionais. Entretanto, é importante frisar que tais processos tiveram início anteriormente, com atividades primárias extensivas, com práticas agrícolas inadequadas, com desmatamento e ocupação de áreas que, obrigatoriamente, deveriam ser preservadas.

## 3 – Pressupostos teórico-metodológicos

Tendo como objetivo identificar a fragilidade potencial e emergente da Bacia Hidrográfica do Rio Verde – PR, optou-se pela abordagem sistêmica, utilizando-se a proposição do geógrafo JEAN TRICART (1977), tendo em vista que ela constitui a base de estudos ambientais institucionais, no Brasil, tais como o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). Sua proposta tem como base a interação de matéria e fluxos de energia que estruturam os ecossistemas e que dirigem sua dinâmica e a sua sensibilidade às mudanças, considerando três grandes meios geodinâmicos para ordenamento e estabelecendo uma classificação, como se segue:

**Meios Estáveis** – apresentam uma lenta evolução e estão afetos às regiões de pouca atividade geodinâmica interna e onde os processos mecânicos de atividade externa também são pouco importantes, predominando processos pedogenéticos;

**Meios *intergrades*** (intermediários) – a dinâmica se caracteriza por uma interdependência morfogênese/pedogênese. Se a morfogênese predominar o meio se torna instável, mas se, ao contrário, os processos pedogenéticos predominarem, o meio tende para uma estabilidade;

**Meios Instáveis** – predomínio da morfogênese sobre a pedogênese. As causas podem ser consequentes de condições bioclimáticas agressivas que desfavorecem a presença de cobertura vegetal e (ou) uma geodinâmica interna muito intensa e, na atualidade pela ação humana nos distintos ambientes.

Considerando esses aspectos MURATORI & PASSOS, (2011), recorreu-se ao conjunto de dados no sentido de entender a dinâmica do meio natural e destacar as zonas ou fatores que podem limitar determinados usos do território, sendo útil para a ordenação dos recursos hídricos. Para tanto, recorreu-se à cartografia dos elementos naturais (litologia, relevo, cobertura vegetal, hidrografia, ações humanas), sua identificação, localização e análise dos diferentes processos e sistemas em interação dinâmica, compreendendo: coleta e análise de bibliografia e documentos cartográficos; preparação dos trabalhos de campo, com interpretação visual de fotografias aéreas e de imagens, visando a construção de um SIG; trabalhos de campo para checagem dos dados obtidos em gabinete e/ou laboratório; confecção dos mapas a partir de cartas topográficas e mapas temáticos; tratamento dos dados obtidos; interpretação; montagem do SIG, plotagem de mapas e elaboração do texto final.

**Essa proposição metodológica envolveu três grandes níveis de tratamento:**

- a) Compartimentação do relevo com base na carta topográfica, com descrição precisa das formas de relevo, de acordo com AB'SABER (1969);
- b) Extração de informações sistemáticas da estrutura superficial da paisagem, a qual segue o modelo de mapeamento integrado apresentado por BIGARELLA *et al.* (1979) que, na adequação à cartografia digital, considera aspectos qualitativos e quantitativos do relevo, transformados em planos de informação (PIs) para compor o tema relevo no sentido amplo;
- c) Análise da fisiologia da paisagem mediante o entendimento dos processos morfogenéticos e pedogenéticos, neste caso, integrado ao conceito de ecossistema, adaptado a uma perspectiva que define como resultantes dos referidos processos as unidades ecodinâmicas sistemáticas sugeridas por TRICART (1977) com a indicação da fragilidade de solo em função de instabilidade potencial e emergente.

#### 4 – Discussão dos resultados

Considerando os pressupostos de TRICART (1977), a área da Bacia do Rio Verde foi compartimentada em unidades geodinâmicas, determinantes dos meios estáveis, *intergrades* e instáveis, as quais foram cartografadas, em unidades espaciais e organizadas em categorias de fragilidade potencial e emergente.



#### 4.1 Fragilidade potencial da bacia do Rio Verde, RMC

As categorias de fragilidade potencial (Fig. 3), variam desde insignificante, muito baixa, baixa, e moderada. De acordo com os dados obtidos, constatou-se que, sob a ótica geoambiental, a quase totalidade da bacia faz parte da unidade geodinâmica *intergrade* ou intermediária. Analisando cada categoria isoladamente, tem-se:

**Insignificante** (6%): independe da litologia, tendo em vista apresentar, de maneira geral, uma cobertura pedológica espessa (Latosolos) sob a cobertura florestal (Floresta Ombrófila Mista), em declividades inferiores a 3% situada em superfícies elevadas.

**Muito Baixa** (65 %): independe da litologia, tendo em vista contar, de maneira geral, como uma cobertura pedológica espessa referente a Latossolos e Argissolos, sob cobertura florestal (Floresta Ombrófila Mista) e estépica (campos), em declividades entre 3% a 12%, distribuídas em topos médios e estreitos e ao longo das vertentes.

**Baixa** (14,4%): litologia referida às rochas do Grupo Açungui Floresta Ombrófila Mista sob manchas de estepe, em declividades de 12 a 30% distribuídas em topos médios e estreitos e ao longo das vertentes. É importante citar que associadas a esta categoria ocorrem inclusões de áreas pouco significativas para a escala de estudo, com vertentes bastante inclinadas, com declives acima de 30%.

119

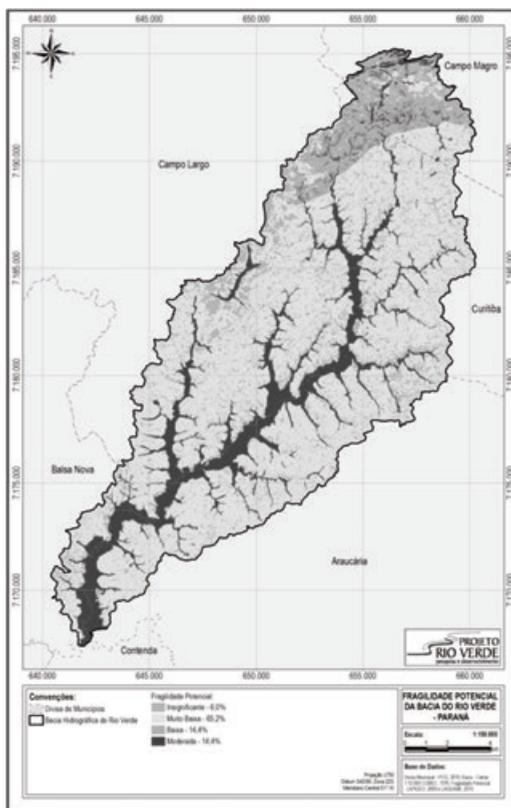


Fig. 3: Mapa de Fragilidade Potencial

**Moderada** (14,4%): Litologia referida a aluviões sob Floresta Ombrófila Mista Aluvial e ocorrências de manchas de depósitos orgânicos sob estepe, e solos hidromórficos em declividades inferiores a 3%.

Sintetizando, pode-se concluir que, quanto à fragilidade potencial, os componentes naturais da Bacia do Rio Verde determinam um estágio intermediário entre processos morfogênicos e pedogenéticos, ou seja, uma interdependência entre a questão estabilidade/instabilidade do meio.

#### 4.2 Fragilidade emergente da bacia do Rio Verde, RMC.

Para a obtenção do Mapa de Fragilidade Emergente da Bacia do Rio Verde (Fig. 4), cruzaram-se os planos de informação (PI's) das unidades geodinâmicas estabelecidas e representadas no Mapa de Fragilidade Potencial com os planos de informação referentes aos fatores de natureza antrópica.

As categorias de fragilidade emergente, obtidas pelos cruzamentos dos planos de informação (PIs) do meio natural e de natureza antrópica, variam desde insignificante, muito baixa, baixa, baixa a moderada, moderada, moderada a alta, alta e muito alta. De acordo com os dados obtidos, constatou-se que sob o prisma geoambiental, a quase totalidade da bacia (86%) faz parte da unidade geodinâmica *intergrade* ou intermediária. Analisando cada categoria isoladamente, tem-se:

**Insignificante** (0,3 %): Áreas preservadas com cobertura florestal (Floresta Ombrófila Mista), independente da litologia, tendo em vista terem, de maneira geral, uma cobertura pedológica espessa (Latossolos) em declividades inferiores a 3%, situadas em superfícies elevadas.

**Muito Baixa** (21,6 %): Áreas conservadas com cobertura florestal secundária em estágio avançado da Floresta Ombrófila Mista e manchas de campo (estepe) em declividades entre 3% a 12%, distribuídas em topos médios a estreitos e ao longo das vertentes.

**Baixa a Moderada** (1,2 %): Encontram-se associadas à litologia referida às rochas do Grupo Açungui sob Floresta Ombrófila Mista manchas de estepe, com declividades de 12 a 30%, distribuídas em topos médios e estreitos e ao longo das vertentes.

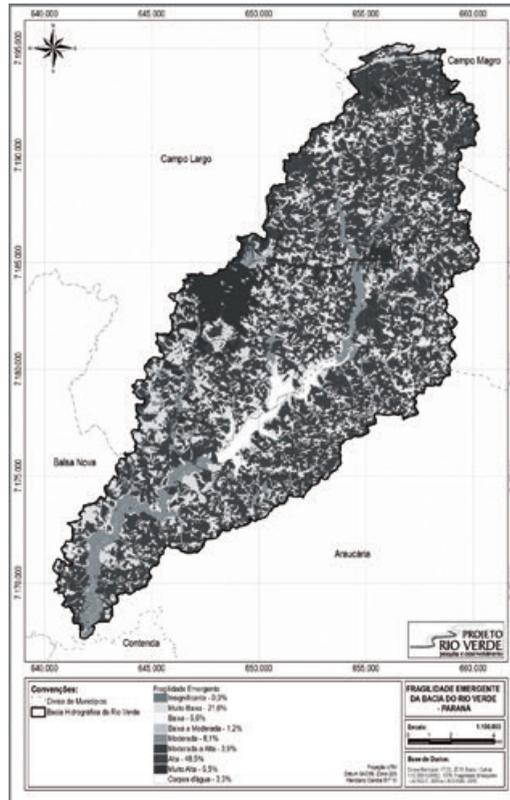


Fig.04: Mapa de Fragilidade Potencial

Associados a esta categoria ocorrem inclusões de áreas pouco significativas que de acordo com a escala não são mapeáveis com declives acima de 30% relacionadas às categorias de Moderada a Alta, em presença de rochas carbonatadas e a filitos.

**Moderada (8,1 %):** Litologia referida a aluviões sob Floresta Ombrófila Mista Aluvial e ocorrências de manchas de depósitos orgânicos sob estepe, e solos hidromórficos em declividades inferiores a 3%.

**Moderada a Alta (3,9 %):** Essa categoria independe da litologia, relaciona-se a áreas alteradas pela ação antrópica, onde as técnicas de manejo comprometem a conservação dos solos (Fig. 4) em áreas com declives em geral, abaixo de 30%, distribuídas em diferentes situações de relevo, desde as baixas rampas junto à planície fluvial até as superfícies mais elevadas junto aos interflúvios.

**Alta (48,5 %):** Essa categoria independe da litologia relaciona-se às áreas alteradas pela ação antrópica onde as técnicas de manejo comprometem de modo mais significativa categoria anterior a conservação dos solos em áreas com declives em geral acima de 12%, distribuídas em topos médios e estreitos e ao longo das vertentes.

**Muito Alta (6,5 %):** Essa categoria independe da litologia e da morfologia do terreno embora a situação possa ser agravada pelo grau maior de suscetibilidade à desestabilização destes componentes e/ou sensibilidade destes aos agentes externos de morfogênese.

Fundamentalmente relaciona-se às áreas muito alteradas pela ação antrópica e às áreas com solos expostos e aos corpos de água em geral (3,3 %) stes, em particular, pela constante alteração em sua carga de sedimentos em suspensão e ao risco de contaminação por materiais solúveis.

## 5 – Conclusões

A metodologia utilizada, tendo como base a proposta de Tricart, permitiu, a partir da caracterização geoambiental da Bacia do Rio Verde, identificar a fragilidade potencial e a fragilidade emergente, frente à ação humana, na desestabilização do meio ambiente.

Os resultados mostraram que do ponto de vista da fragilidade potencial da bacia a mesma pode ser considerada, como um todo, de baixa a moderada, contrapondo-se à fragilidade emergente que apresenta alguns índices elevados, considerados críticos. Tal circunstância aponta para a necessidade de ações coordenadas pelo poder público no que tange ao planejamento e gestão ambiental da bacia, no sentido de sua estabilidade.

**Agradecimentos** – Agradecemos, em primeiro lugar, à PETROBRAS que tornou possível esse estudo; aos estagiários do Curso de Geografia da Universidade Federal do Paraná, pelo seu desempenho na confecção dos mapas e ao Eng. Augusto Muratori pela revisão.

## Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A. N. (1969) - Pedimentos e Bacias Detriticas Pleistocénicas em São Paulo. *Geomorfologia*, USP, Instituto de Geografia, (9): 1-12.
- BECKER, R. D. (1982) - Distribuição dos Sedimentos Cenozóicos na Região Metropolitana de Curitiba e sua relação com a estrutura geológica e morfológica regional. Porto Alegre, 237p. Tese. Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BIGARELLA, J. J. & SALAMUNI, R. (1959) - Notas complementares à planta da cidade de Curitiba e arredores. Bol. Do Inst. De Biologia e pesquisas tecnológicas. Curitiba, n. 40 p. 1-14.
- BIGARELLA, J. J. et al. (1979) - Recursos Naturais. Ouro Fino. Região Metropolitana de Curitiba. Secretaria de Estado do Planejamento. 30p.
- CANALI, N. E. & MURATORI A. M. (1981) - Síntese da evolução geomorfológica da Bacia Sedimentar de Curitiba. In: Simp. Regional de Geologia, 3, Atas, v.2, p. 335-362.
- KLEIN, R. M. & HATSCHBACH, G. (1962) - Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica do Município de Curitiba e arredores (Paraná). Boletim da Universidade do Paraná, Curitiba, n. 4, p. 1-29.
- KÖPPEN, W. & GEIGER, R. (1928) - *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx-200cm.
- MAACK, R. (1968) - *Geografia física do Estado do Paraná*. 1ª. Ed. Curitiba: Banco de desenvolvimento do Paraná; Universidade Federal do Paraná; Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas.
- MAACK, R. (1947) - Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. Arq. De Biologia e Tecnologia. Curitiba, v.II p. 63-154.

- MURATORI, A. M. & PASSOS, E. (2011) - Fragilidade potencial e emergente do solo. In: Eutrofização em reservatórios: gestão preventiva. Estudo interdisciplinar na Bacia do rio Verde, PR / Editores Cynara I. N. Cunha et al. Curitiba Editora UFPR, 127-142.
- PASSOS, E. (1987) - Relação entre vertentes e solos em Umbará/Curitiba-PR. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná. Orientador Arthur dos Santos Filho. Curitiba.
- ROSS, J. L. S. (1987) - Estudo e Cartografia Geomorfológica da Província Serrana - MT – Tese de doutorado apresentada à FFLCH-USP São Paulo-SP.
- SALAMUNI, E. (1998) - Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista-Rio Claro. Tese de Doutorado.
- TRICART, J. (1977) - Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN.

(Página deixada propositadamente em branco)

## AMOSTRAGENS DOS SOLOS EM DIFERENTES AMBIENTES: LITORAL, SERRA E SERTÃO (CEARÁ, BRASIL)

### SOIL SAMPLING IN DIFFERENT ENVIRONMENTS: COAST, SERRA AND SERTÃO (CEARÁ, BRAZIL)

S. P. Dantas<sup>1</sup>, M. F. B. Damasceno<sup>2</sup>, M. S. Costa<sup>3</sup>, L. R. F. Costa<sup>4</sup>, K. G. C. Branco<sup>5</sup>,  
L. L. Barreto<sup>6</sup> & E. C. Lima<sup>7</sup>

**Resumo** – Este trabalho de pesquisa foi realizado em um percurso linear em locais das cidades de Fortaleza e em Caucaia, São Luiz do Curu, Pé de Serra de Uruburetama, Amontada, Sobral, Ibiapaba (reverso), Parque Nacional de Ubajara, Tianguá e Irauçuba, correlacionando com as unidades de paisagens características de alguns trechos desses municípios. As técnicas utilizadas foram aulas teóricas, estudos laboratoriais e práticas de campo. Foram feitos levantamentos quanto às tipologias de solos recorrendo ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) e, a partir disso, foram identificados solos diferenciados para cada região. Com uma breve análise, concluiu-se sobre a riqueza em diversidades do solo cearense, bem como as condições de uso e ocupação do mesmo.

**Palavras-chave** – Amostragens; Solos; Ceará; Brasil

*Abstract* – This research was conducted in a linear path in different places of Fortaleza and in Caucaia, São Luiz do Curu, Pé de Serra de Uruburetama, Amontada, Sobral, Ibiapaba (reverse), Ubajara National Park, Tianguá and Irauçuba, correlating with units of the landscape features of some parts of these municipalities. The techniques used include lectures and laboratory and field practices. Surveys were made regarding the type soils established in

---

<sup>1</sup> Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Ceará, Brasil; sulivandantas@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Ceará, Brasil; mariliafbd@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Ceará, Brasil; marcelosousacosta@gmail.com

<sup>4</sup> Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Ceará, Brasil; ricardogeoufc@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Ceará, Brasil; kaubergbranco@yahoo.com.br

<sup>6</sup> Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Ceará, Brasil; lopes\_ufc@yahoo.com.br

<sup>7</sup> Prof. Dr. pela Universidade Estadual Vale do Acaraú, Brasil; ernanecortez@hotmail.com

the Brazilian System of Soil Classification (EMBRAPA, 1999), and soil identifications were carried out for the each region. The analyses have pointed out the richness in soil diversity in Ceará, as well as the conditions of its use and occupation.

126

**Keywords** – Soil; Sampling; Ceará; Brazil

## 1 – Introdução

Observou-se os solos do estado do Ceará, em dez pontos que proporcionaram uma visão de diferentes situações frente a variedade pedológica do nosso Estado, sendo eles: Fortaleza, Caucaia, São Luiz do Curu, Pé de Serra de Uruburetama, Amontada, Sobral, Ibiapaba (reverso), Parque Nacional de Ubajara, Tianguá e Irauçuba (Fig. 1).

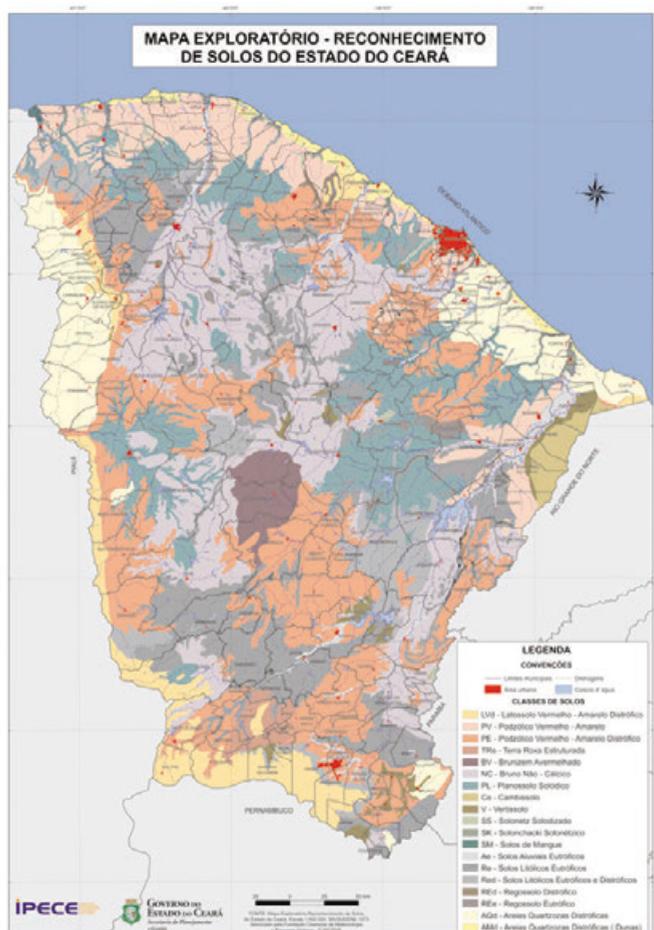


Fig. 1 - Mapa de Solos do Estado do Ceará. Fonte: IPECE (2007).



PEREIRA & SILVA (2007) afirmam serem

“os solos conceituados como unidades naturais que sustentam as plantas, dotados de propriedades e características singulares, cuja origem e evolução resultam, num determinado lugar, da ação conjugada do clima, organismos vivos, material de origem, relevo e tempo, os quais se constituem nos chamados fatores de formação” (p. 123).

127

No campo pode-se observar através de um corte vertical exposto na superfície do terreno até o contato com a rocha subjacente, o que se denomina perfil do solo.

Neste arrazoado, o presente artigo descreve, em forma de apresentação linear, os solos cearenses - que, por sua vez, são classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, publicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 1999 -, a saber: Latossolos vermelho-amarelos, Argissolos, vermelho-amarelos (eutróficos e distróficos), Chernossolos, Luvisolos, Planossolos, Neossolos Flúvicos, Vertissolos, Neossolos litólicos, Cambissolos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos.

## 2 – Metodologia

Em geral, as técnicas para estudos de solos são realizadas em três eixos de trabalhos diferenciados; no entanto, eles se complementam. São eles: gabinete, campo e laboratório. No caso desta pesquisa, os estudos iniciaram-se com a pesquisa bibliográfica com leituras que deram subsídio para fundamentar a pesquisa; após esta fase de conceituação, utilizou-se a técnica de laboratório, mais especificamente o Laboratório de Pedologia (LAPED) da Universidade Federal do Ceará, em que foi possível observar de forma mais concreta o que se estudou.

Analisaram-se os seguintes aspectos: Cor – consiste na forma mais evidente das características morfológicas do solo, expressa a proporção dos diferentes constituintes da fase sólida do solo; relacionamos a cores vistas nas amostras de solo do laboratório com a tabela de cores MUNSELL (1994), um sistema universal que parte das cores primárias e secundárias. Os valores RGB foram convertidos para o sistema CIELAB, pelo programa Munsell Conversion 6.41 (COLORPRO, 2004).

Na etapa de reconhecimento e diferenciação dos elementos que compõe um solo, foi realizada a pesquisa de campo, iniciando da cidade de Fortaleza até o reverso da Cuesta da Ibiapaba, em um percurso linear de leste - oeste do Estado do Ceará, onde teríamos que descrever os solos percorridos em campo, para a escolha das paradas, onde seria pesquisado um corte do perfil, “a primeira coisa a observar é sua macro-organização, seja numa seção vertical, numa trincheira ou barranco ou nas amostras coletas com trado”. (MANFREDINI *et al.*, 2005).

Notou-se, a cada ponto percorrido, os parâmetros morfológicos e físicos dos perfis - cor, textura, estrutura, porosidade, atividades biológicas – o que permitiu evidenciar os horizontes e relacioná-los entre si. Estabeleceu-se relação também para melhor interpretação dos perfis estudados através de mapas geológicos, pedológicos e geomorfológicos. A sistematização dos dados ocorreu da seguinte forma: aproveitar perfis já abertos, onde sua grande maioria foi à beira das estradas, após os cortes realizados com o auxílio do martelo pedológico, em perfis, foram sendo observados os elementos supracitados.

A pesquisa iniciou-se em Fortaleza, logo após foi estudado o perfil no município de Caucaia, continuando as observações houve o estudo do perfil em São Luis do Curu, em seguida o perfil do pé de serra de Uruburetama. Já o quarto perfil foi em Amontada, o quinto perfil do dia aconteceu em Sobral, o sexto perfil foi no reverso da Cuesta de Ibiapaba, a sétima foi no Parque Nacional de Ubajara, uma área de proteção ambiental, o penúltimo local de pesquisa aconteceu em Tianguá, e por fim, o último perfil de solo observado deu-se em Irauçuba.

### 3 – Resultados e discussões

A pesquisa aconteceu da seguinte forma: saímos do litoral, posteriormente seguimos pela Depressão Sertaneja, observamos algumas várzeas de rios, Maciços Residuais, e chegamos ao Planalto da Ibiapaba, encontrando assim, solos representativos para cada ambiente identificado. Abaixo há uma breve descrição dos solos encontrados ao longo da pesquisa.

Segundo a classificação do (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos; EMBRAPA, 1999):

**Argissolo vermelho-amarelo** - Estes solos apresentam perfis bem diferenciados, geralmente seqüenciados por horizontes A, Bt e C, normalmente são profundos a muito profundos, raras são as vezes que encontram-se neles solos rasos.

Ao caracterizar este solo, pode-se perceber que o horizonte A apresenta-se de forma fraca ou moderadamente desenvolvida, outra característica é de serem por vezes abrupto, ou seja, uma mudança textural abrupta do A para o Bt, assim como o Bt pode apresentar plintita, como foi o caso do perfil observado em pesquisa de campo. Ainda possuem coloração variada ou com mosqueado abundante, e drenagem moderada e/ou perfeita. Estes solos abrangem zonas fisiográficas do litoral, sertões do Baixo Jaguaribe e de Baturité derivam-se dos sedimentos da formação Barreiras, e em menor proporção de arenitos da Formação Açú do Cretáceo.

No tocante ao uso atual nota-se que os solos das áreas do Litoral e sertão do Baixo Jaguaribe, restringem-se a culturas de subsistência tais como mandioca, milho, feijão e pequenos plantios de algodão herbáceo, destacam-se ainda os cajueiros na zona litorânea.

A maior limitação ao uso agrícola decorre de sua baixa fertilidade natural e forte acidez, desta forma, necessitando do uso de fertilizantes, para a correção da acidez. Um benefício é que estes são em grande parte favorecidos pelo relevo (plano e suave ondulado) que propicia boas condições ao uso das máquinas agrícolas. Outro fator limitante é a baixa representatividade hídrica no período seco.

**Os Neossolos Flúvicos.** - No Ceará ocorrem somente solos Neossolos flúvicos eutróficos, a textura altera desde arenosa até argilosa. A espessura alterna de 10 a 26 cm.

No que diz respeito às características químicas principais, o referido solo apresenta pH alternando de moderadamente ácido a moderadamente alcalino. De sorte que, estes solos são bem providos de minerais primários, no qual constitui boa fonte de nutrientes para as plantas. Ainda possuem alta fertilidade natural, também ocorrem nas várzeas dos principais rios do Estado. O material originário é constituído por sedimentos fluviais não consolidados de natureza e granulometria muito variada, que remontam ao Holoceno, outra característica informa-nos que o relevo é plano.

No que se refere ao uso atual dos solos pode inferir que são intensamente aproveitados com diversas culturas, onde se destaca a cana-de-açúcar no Cariri, rizicultura, oleicultura, milho, feijão, algodão, bem como fruticultura regional e extrativismo vegetal. Ao cabo que, as principais limitações ao uso agrícola, procedem da falta d'água, em face das insuficientes precipitações pluviométricas nas áreas semi-áridas. Os solos, por serem argilosos e imperfeitamente drenados, encharcam-se facilmente, o que provoca outras limitações, além disso, estas áreas estão sujeitas a riscos de inundações. Ressalta-se ainda que sob condições de clima semi-árido, a evaporação é maior que a precipitação e há tendência de acumular sais nos solos situados nas partes mais rebaixadas.

**Argilossolo vermelho amarelo eutrófico** - São solos de média a alta fertilidade natural. O citado solo presta-nos perfis bem diferenciados, normalmente profundos, textura geralmente arenosa ou média no horizonte A, e o B é argilosa ou é média, por vezes cascalhenta, possui aspectos de solos abruptos. Geralmente, são solos bem drenados, que reflete em drenagem moderada/imperfeita, há predominância de solos moderadamente ácidos a ácidos.

No tocante, ao uso atual, em áreas próximas do litoral, os argilossolos vermelho-amarelo eutrófico são utilizados com fruticultura, banana entre outras. Grosso modo, são solos com elevado potencial agrícolas, no entanto, algumas áreas apresentam problemas devido o relevo, outras limitações se refere à mecanização pela pedregosidade que há na superfície, possuem de média a alta fertilidade natural, favorecem a culturas de ciclo ou adaptadas às condições de pouca umidade. Todavia, a principal limitação deste solo é a falta d'água.

**Luvisolos** - São moderadamente profundos a rasos, tendo seqüência de horizonte no caso do corte pesquisado A, Bt1, Bt2, C, tem textura arenosa ou média no horizonte A, transições planas e abruptas do horizonte A para o B. Os luvisolos cobrem grandes extensões no Estado do Ceará, abrangendo algumas áreas do sertão Centro-Norte, sertão central e sertão do sudeste. O material de origem constitui-se principalmente, por saprolito de micaxisto e gnaisses, todos eles referidos ao pré-cambriano.

Estes solos são aproveitados pela pecuária, em que é realizado de modo extensivo em meio a vegetação natural da caatinga, é importante lembrar, que este solo, tem importante relação com a caatinga. Também ocorrem pequenas culturas de subsistência, como as de milho e feijão. Como outros solos, este apresenta limitações ao uso agrícola devido o déficit de água, além disso, são áreas muito susceptíveis a erosão, ao passo que são solos de alta fertilidade natural.

**Neossolos Quartzarênicos** - No corte do perfil observado, o referido solo apresentou a seqüência dos horizontes da seguinte maneira: A, C1, C2, C3, C4+, tendo como espessura 230 cm, não possui horizonte B, por isso são solos pouco evoluído, é muito profundo, contudo, é jovem. Referente ao uso agrícola, estes solos são aproveitados em pequena escala, devido sua baixa fertilidade natural e a textura muito arenosa, nos últimos anos têm-se destacado a cultura do cajueiro. A limitação é a deficiência d'água, pois há uma necessidade de maior quantidade de água, uma vez que este solo é muito poroso, possui baixa fertilidade natural, são distróficos, ácidos.

**Latossolo vermelho amarelo distrófico** - Bem drenados a fortemente drenados, comumente bastante resistentes a erosão em decorrência da baixa mobilidade da fração argila, do alto grau de floclulação e da grande porosidade e permeabilidade, são solos profundos a muito profundos, apresentando perfil: O, A, Bw, C. No perfil estudado nesta pesquisa os horizontes davam-se desta forma: A1, A2, Bw1, Bw2, Bw3 +, em que a diferenciação dos horizontes não era bem nítida, provavelmente tinha um horizonte O, entretanto a área foi desmatada, não propiciando a permanência do horizonte no perfil.

A pecuária extensiva em meio à vegetação natural constitui ainda em culturas de subsistência que são bastante freqüentes, a maior limitação ao uso agrícola deve-se a sua baixa fertilidade natural, contudo são fisicamente bons. Os latossolos vermelho-amarelos distróficos podem ser considerados, em termos de extensão, relevo e condições físicas, entre os mais importantes solos mapeados no Estado do Ceará para os futuros planejamentos agrícolas, onde devem ser racionalmente e intensamente cultiváveis.

**Planossolos** - São solos rasos a moderadamente profundos, bem diferenciado, possuindo sequência de horizontes A, Bt, C, no Ceará estes solos geralmente são de textura arenosa no horizonte A e média ou argilosa no horizonte Bt. As áreas destes solos compreendem trechos rebaixados e dissecados que acompanham os cursos d'água de regiões semi-áridas do Estado. Em sua quase totalidade, estes solos não são cultivados, situam-se em áreas com fortes limitações pela falta d'água e que possuem elevado teor de sódio trocável, elevada susceptibilidade a erosão. Insere-se em extremos, sofre por excesso de água no período chuvoso e por falta de água no período seco. O uso atual é de extrativismo, na área pesquisada especificamente extrativismo de Jurema.

Ressaltamos que todas as caracterizações dos solos supracitados estão baseadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

#### 4 – Conclusões

Conclui-se a grande riqueza que estes diferentes solos possuem, onde se relacionam com os mais variados elementos da paisagem, dando suporte de nutrientes as plantas, servindo de uso agrícola e outros fins para o homem.

É lamentável que a maioria dos solos esteja sofrendo degradação seja por desmatamento, queimadas, plantios “morro abaixo”, seja pela utilização de fertilizantes e outros elementos prejudiciais ao solo, faz-se necessário nesses lugares uma maior fiscalização para o cumprimento da lei, quanto a uma conscientização – Educação Ambiental para melhor utilização e conservação dos solos.

#### Referências Bibliográficas

- COLORPRO (2004) - Munsell Conversion versão 6.41. Disponível em: <http://www.colorpro.com/info/software/munsell.htm>. (consultado em 2011.09.08).
- EMBRAPA (1999) - Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 412p.
- IPECE (2007). – Ceará em Mapas. <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/124x.htm>. (consultado em 2011.09.08).
- MANFREDINI, S, DIAS, S. M. F., QUEIROZ NETO, J. P., OLIVEIRA, D. & FERREIRA, R. O. D. (2005) - Técnicas em Pedologia. In: Venturi, L. A. B. (eds.). *Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia*. São Paulo: Oficina de Textos.
- MUNSELL (1994) – Munsell soil color charts. New Windsor. Rev. Ed., 10p.
- PEREIRA, R. C. M. & SILVA, E. V. (2007) - Solos e vegetação do Ceará: características gerais. In: Silva, J. B. & Cavalcante, T. (org.). *Ceará: um novo olhar geográfico*. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha.

PERIGOS GEOLÓGICOS NA ILHA DO FOGO (CABO VERDE):  
IMPLICAÇÕES PARA O PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

GEOLOGICAL HAZARDS IN FOGO ISLAND (CAPE VERDE):  
IMPLICATIONS FOR EMERGENCY PLANNING

J. Cabral<sup>1</sup>, T. Ferreira<sup>1</sup>, J. L. Gaspar<sup>1</sup> & G. Queiroz<sup>1</sup>

**Resumo** – A Ilha do Fogo é a única ilha do Arquipélago de Cabo Verde para a qual existe registo de vulcanismo histórico, contabilizando-se cerca de três dezenas de eventos desde os finais do séc. XV, na sua maioria com características havaianas e estrombolianas. As erupções vulcânicas mais recentes tiveram lugar em 1951 e 1995. A sismicidade registada na Ilha do Fogo tem sido relacionada com fenómenos de origem magmática ou tectónica, gerados na área de influência da ilha ou no eixo Fogo-Brava, e tem envolvido crises sísmicas marcadas, no geral, por eventos de baixa magnitude, e sismos sentidos com intensidade forte a muito forte. Os movimentos de massa constituem outro dos perigos geológicos que se encontra bem patente na Ilha do Fogo. Tais fenómenos podem ser desencadeados por ação sísmica ou vulcânica, mas também por chuvas intensas, refletindo-se em acidentes de dimensão variável, como o testemunham o colapso do flanco oriental do vulcão central ou as cicatrizes de deslizamentos registados na parede de caldeira, em escarpas de falha ou em vertentes mais íngremes de linhas de água ou da linha de costa. O elevado risco vulcânico que caracteriza a Ilha do Fogo, aliado à ocorrência de sismos e movimentos de massa, justifica a implementação de um programa de monitorização multidisciplinar nesta zona do Arquipélago de Cabo Verde, envolvendo a conceção, instalação, desenvolvimento e exploração de redes geofísicas, geodésicas, geoquímicas e ambientais.

**Palavras-chave** – Perigos geológicos; Ilha do Fogo; Erupções; Sismos; Movimentos de massa

*Abstract* – Fogo Island is the only island in Cape Verde Archipelago with historical volcanism, where three dozen events were recorded since the end of the XV century, mostly

---

<sup>1</sup> Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos da Universidade dos Açores, Portugal; Jeremias.A.Cabral@azores.gov.pt; Teresa.JL.Ferreira@azores.gov.pt; Joao.LR.Gaspar@azores.gov.pt; Maria.GPS.Queiroz@azores.gov.pt

of hawaiian and strombolian types. The most recent volcanic eruptions took place in 1951 and 1995. The seismicity registered in Fogo Island has been related to phenomena of magmatic or tectonic origin generated in the influence area of the island or in the Fogo-Brava axis, and it has involved marked seismic swarms, in general, by low magnitude events, and felt earthquakes with strong to very strong intensities. Mass movements are another geologic hazard that is well evident in Fogo Island. These phenomena may be triggered by seismic or volcanic activity, but also by heavy rainfall. They are reflected in accidents of varying size, as evidenced by the eastern flank collapse of the central volcano or by the scars of landslides preserved in the caldera wall, in fault scarps or in the steeper slopes of streamlines or shorelines. The high volcanic risk that characterizes the Fogo Island, coupled with the occurrence of earthquakes and mass movements, justifies the implementation of a multidisciplinary monitoring program in this area of Cape Verde Archipelago, involving the design, installation, development and operation of geophysical, geodetic, geochemical and environmental networks.

**Keywords** – Geological hazards; Fogo Island; Eruptions; Earthquakes; Mass movements

## 1 – Enquadramento geográfico e geodinâmico

O Arquipélago de Cabo Verde, localizado no Atlântico Central ao largo da costa da África Ocidental (Fig. 1), é constituído por dez ilhas de origem vulcânica, distribuídas pelos grupos Barlavento (Santo Antão, S. Vicente, St<sup>a</sup>. Luzia, S. Nicolau, Sal e Boavista) e Sotavento (Maio, Santiago, Fogo e Brava). As ilhas representam a expressão superficial de um enorme planalto submarino que se eleva a cerca de 5 km da planície abissal, entre a plataforma continental do Senegal e a Crista Média Atlântica.

A Ilha do Fogo pertence ao Grupo Sotavento e fica entre os paralelos 15°03' e 14°48' de latitude norte e os meridianos 24°18' e 24°31' de longitude oeste, estando situada entre as ilhas de Santiago e Brava, a 55 km e 17 km de distância, respetivamente.

A localização geográfica do Arquipélago de Cabo Verde nesta região do Atlântico favorece a ocorrência de precipitação em regime torrencial que, por vezes, desencadeia movimentos de massa. Por outro lado, as ilhas desenvolvem-se num contexto intraplaca, possivelmente dominado pela presença de uma pluma mantélica, a que se associam as manifestações sísmicas e vulcânicas que têm marcado a história do arquipélago, em geral, e da Ilha do Fogo, em particular.



Fig. 1 – Localização geográfica do Arquipélago de Cabo Verde.

## 2 – Geomorfologia e geologia

A Ilha do Fogo é a quarta maior do arquipélago e apresenta uma forma cônica, com aproximadamente 25 km de diâmetro e uma altitude máxima de 2.829 m no topo do Pico do Fogo. Corresponde a um grande edifício vulcânico com centro deslocado para nordeste. As suas vertentes apresentam declives médios que variam entre 12°, nas zonas Sul e Oeste, 18° na zona Norte e 25° no flanco Este, podendo localmente, atingir 28° (BEBIANO, 1932; RIBEIRO, 1960).

O topo do edifício encontra-se truncado por uma caldeira em forma de hemiciclo, com cerca de 9 km de diâmetro máximo segundo a direção N-S e abertura para Este. Esta depressão é denominada por “Chã das Caldeiras” e situa-se a uma cota aproximada de 1.700 m. As paredes da caldeira têm um declive próximo da vertical, chegando a atingir 1.000 m de altura. No interior da Chã desenvolve-se um grande cone vulcânico denominado Pico do Fogo e localmente designado por “Vulcão”. Este apresenta um diâmetro basal de 5 km e eleva-se a cerca de 1.200 m da Chã alcançando a altitude máxima da ilha.

A forma vulcânica dominante na ilha é a que corresponde aos cones de escória distribuídos quer sobre as vertentes, quer no interior da Chã Caldeiras (Fig. 2), aos quais se associam abundantes escoadas lávicas que marcam a paisagem, principalmente na vertente leste da ilha.

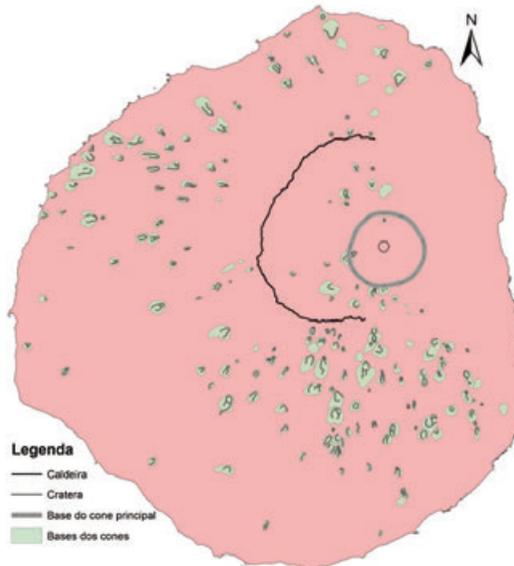


Fig. 2 - Mapa da distribuição das formas vulcânicas.

A maior parte da ilha é ocupada por rochas basálticas que estão representadas sob forma de escoadas lávicas, filões e chaminés (Fig. 3). Pontualmente observam-se rochas do tipo fonolítico. A unidade geológica mais antiga é constituída por pequenos afloramentos de carbonatitos (MACHADO & ASSUNÇÃO, 1965; DAY *et al.*, 1999).

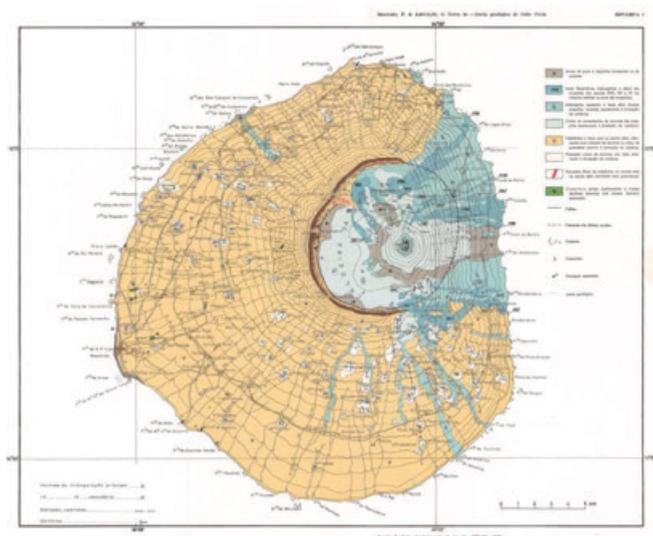


Fig. 3 - Carta geológica da Ilha do Fogo (MACHADO & ASSUNÇÃO, 1965).

### 3 – Perigos geológicos

A análise dos riscos geológicos que podem afetar o Arquipélago de Cabo Verde e em particular a Ilha Fogo passa pela determinação do perigo inerente à ocorrência dos diferentes tipos de fenómenos passíveis de ocorrerem. Segundo diversos autores (e.g. CRUZ-REYNA, 1996; QUEIROZ, 1997; GASPAR *et al.*, 1997), a **perigosidade** (*hazard*) é determinada pela probabilidade de um dado evento potencialmente destruidor afetar uma determinada área num certo intervalo de tempo. O registo geológico na Ilha do Fogo apresenta evidências de perigosidade geológica associada a sismos, erupções vulcânicas e movimentos de massa, fenómenos que, por sua vez, podem estar na origem de *tsunamis*.

#### 3.1 – Perigos vulcânicos

A Ilha do Fogo é a única do Arquipélago de Cabo Verde para a qual existe registo de vulcanismo histórico, contabilizando-se cerca de três dezenas de eventos desde os finais do séc. XV (TORRES *et al.*, 1997). Neste período, a frequência eruptiva variou entre um máximo de 10 erupções registadas no séc. XVII e um mínimo de 2 erupções no séc. XX. As últimas erupções ocorreram em 1951 e 1995 (Fig. 4) e localizaram-se em Chã das Caldeiras, na base do Pico do Fogo, envolvendo a edificação de cones de escórias e o desenvolvimento de escoadas lávicas.

Até ao final do séc. XVIII, a atividade eruptiva centrou-se essencialmente no Pico do Fogo, localizando-se os centros eruptivos das erupções posteriores na sua base ou na superfície da Chã. A atividade eruptiva recente, pré-histórica, localizou-se principalmente ao nível da Chã das Caldeiras e do Pico do Fogo, situando-se alguns dos centros eruptivos



fora da caldeira, nomeadamente nos flancos norte e sul. A atividade vulcânica no interior da Chã tem contribuído para o preenchimento da depressão por escoadas lávicas e piroclastos, verificando-se que muitas das escoadas se desenvolveram sobre a vertente leste da ilha, atingindo, por vezes, o mar.

Como referido, a forma vulcânica dominante são os cones de escória, aspeto que indica que a maioria das erupções que têm marcado a história eruptiva mais recente da ilha tem sido do tipo havaiano a estromboliano, de natureza basáltica (*s.l.*), envolvendo a produção de piroclastos de queda e de escoadas lávicas (Fig. 5). A identificação de outros estilos eruptivos faz parte dos trabalhos que se encontram em curso e que têm por objetivo identificar e caracterizar os depósitos vulcânicos presentes na ilha para uma melhor caracterização do perigo vulcânico.

Em resultado da atividade eruptiva histórica não há registo da perda de vidas humanas. Contudo algumas erupções de maior intensidade, como a de 1675, provocaram o abandono da ilha por parte de alguma população. Contudo, é assinalável a área que tem sido coberta por escoadas lávicas, levando à destruição de terrenos de cultivo e habitações. As erupções de 1951 e 1995 obrigaram à evacuação da população das zonas afetadas e das zonas consideradas de maior risco. Foram destruídas algumas habitações e registaram-se cortes na rede viária (Fig. 5a). Parte dos terrenos de cultivo mais férteis da ilha foram destruídos durante tais episódios. No caso da erupção de 1995, foi destruída a cooperativa vinícola de Boca Fonte (Fig. 5b), facto que provocou uma importante perda económica para a ilha.

Considerando a ocorrência de erupções com as mesmas características das de 1951 e 1995, os perigos vulcânicos espectáveis consistem na emissão de piroclastos de queda, extrusão de escoadas lávicas e libertação de gases vulcânicos. Dependendo da altura atingida pela coluna eruptiva, o tráfego aéreo na região poderá ser afetado. Em termos de saúde pública, os efeitos podem resultar da inalação de poeiras e gases tóxicos, ou envolver acidentes associados à queda de piroclastos de trajetória balística ou ao desenvolvimento de escoadas lávicas.



Fig.4 – Fotografias da erupção da Ilha do Fogo em 1995 (Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos).

Nos últimos tempos tem vindo a ser realizada, uma recolha documental sobre as erupções históricas de modo a caracterizar melhor a atividade eruptiva ocorrida e a definir

cenários eruptivos para utilização em termos de planeamento de emergência. Neste contexto, estão também a ser estudados os fatores de vulnerabilidade. A este respeito, sublinha-se, por exemplo, que alguns anos após a erupção de 1995, a população residente em Chã das Caldeiras começou a aumentar significativamente incrementando o risco vulcânico na região.



Fig. 5 – Corte da rede viária (a) e destruição da cooperativa vinícola (b) em Chã das Caldeiras na Ilha do Fogo durante a erupção de 1995 (Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos).

### 3.2 – Perigo sísmico

A Ilha do Fogo tem apresentado uma atividade sísmica essencialmente associada a fenómenos de origem vulcano-tectónica, estando a sismicidade à escala regional marcada por eventos de magnitude superior a 4, registados pela rede sísmica mundial, e localizados principalmente a noroeste do arquipélago. Apenas alguns destes eventos se situam nas proximidades das ilhas Brava, Fogo e Santiago.

A informação sobre a atividade sísmica na Ilha do Fogo é escassa e até à década de 80 do séc. XX resume-se principalmente à contida nas descrições históricas das erupções vulcânicas e a algumas compilações de informação macrossísmica presentes em FERREIRA (1956) e no Anuário Sismológico de Portugal para o período de 1947-1971 (INSTITUTO DE METEOROLOGIA DE PORTUGAL). As duas primeiras estações sísmicas no arquipélago foram instaladas em 1981, nas ilhas do Fogo e Brava, para fazer o acompanhamento da atividade que se vinha a fazer sentir desde finais de 1980 nas proximidades da Ilha Brava (PIRES & NEVES, 1981). Posteriormente foram instaladas redes temporárias em 1994 e 1995 (HELENO DA SILVA, 2003; MATIAS *et al*, 1997), esta última na sequência da erupção iniciada em Abril do mesmo ano. Somente em 1999 foi instalada nestas ilhas, uma rede sísmica de carácter permanente (rede VIGIL) que, no entanto, esteve operacional apenas alguns anos.

De acordo com os relatos históricos existentes, há registo de atividade sísmica associada a algumas erupções vulcânicas tais como as de 1675, 1680, 1785, 1799, 1847. Também as erupções de 1951 (RIBEIRO, 1960) e de 1995 (HELENO DA SILVA & FONSECA, 1997; MATIAS *et al*, 1997) foram precedidas e acompanhadas por importante atividade sísmica. O sismo de maior intensidade para o qual se dispõe de informação ocorreu a 12 de Junho de 1951, no início da erupção vulcânica, e foi sentido em toda ilha com a intensidade máxima de VII na Escala de *Wood Neumann*. Outros sismos sentidos na Ilha do

Fogo não relacionados com períodos de atividade eruptiva ocorreram nos anos de 1941, 1942, 1950, 1963 e 1965, alguns dos quais decorrentes de crises sísmicas na Ilha Brava. A atividade registada nos períodos que em que se operaram redes sísmicas temporárias na Ilha do Fogo, revela a existência de uma importante microssismicidade em que alguns eventos são sentidos pela população.

Só recentemente têm sido desenvolvidos estudos com vista à caracterização da tectónica da Ilha do Fogo, os quais permitiram identificar a presença de três sistemas de falhas principais, com direções NW-SE a WNW-ESSE, N-S e NNE-SSW (BRUM DA SILVEIRA *et al.*, 1997) (Fig. 6).

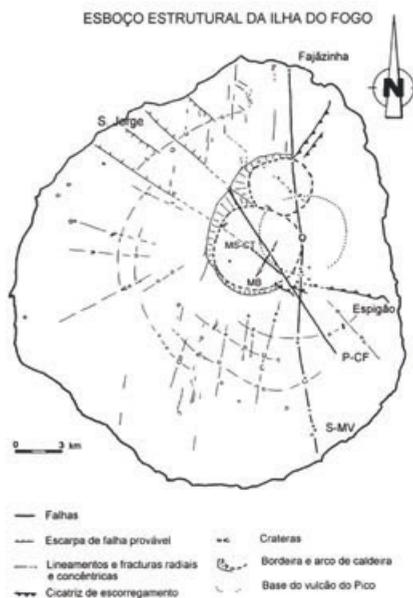


Fig. 6 - Estrutura da Ilha do Fogo (Brum da Silveira *et al.*, 1997).

A ausência de uma rede sísmica permanente não tem permitido obter o conhecimento necessário acerca da localização das principais áreas sismogénicas na Ilha do Fogo e região envolvente e a caracterização das fontes sísmicas, bem como da sua relação com os sistemas tectónicos identificados. Verifica-se, assim, a necessidade de se proceder à instalação e manutenção de uma rede sísmica permanente, que permita a criação de dispositivos de deteção e de alarme, fundamentais para a mitigação não só do risco sísmico como vulcânico.

### 3.3 – Movimentos de massa

Os movimentos de massa podem ser desencadeados na sequência de condições meteorológicas extremas e/ou de episódios de origem sísmica ou vulcânica. De um modo geral, trata-se de um fenómeno para o qual podem contribuir inúmeros fatores, individualmente ou em conjunto, de ordem natural ou resultantes da ação do homem.

A Ilha do Fogo está sujeita à ocorrência de movimentos de massa de origem e tipologias diversas, acentuada pelas suas características geomorfológicas. Os flancos do Pico do Fogo, as paredes da caldeira, as vertentes declivosas da ilha, os taludes das linhas de água encaixadas e as arribas litorais são as zonas que oferecem maior susceptibilidade ao desenvolvimento de movimentos de vertente (Fig. 7 e 8).



Fig. 7 - Instabilidade de taludes.



Fig. 8 - Depósitos de enxurradas.

A outra escala, a Ilha do Fogo apresenta cicatrizes de episódios de grandes colapsos laterais que envolveram o deslocamento de volumes de material na ordem de 150 a 200 km<sup>3</sup> e que tiveram, certamente, influência na evolução da caldeira (DAY *et al.*, 1999). A entrada de um volume tão significativo de material no mar deve, por sua vez, ter dado origem a *tsunamis* tal como é atribuído por PARIS *et al.* (2011) aos depósitos de natureza conglomerática identificados na Ilha de Santiago.

#### 4 – Conclusões (considerações finais)

Os perigos geológicos abordados (sismos, erupções vulcânicas e movimentos de massa) ocorrem frequentemente associados no tempo e no espaço, podendo uns atuar como mecanismos desencadeantes dos outros.

Vários fatores permitem atribuir a esta ilha uma elevada probabilidade de ocorrência de catástrofes naturais de natureza geológica, tais como: (1) a elevada frequência eruptiva histórica, (2) a intensa atividade sísmica associada aos episódios eruptivos e a evidência de roturas superficiais no terreno; (3) a ocorrência de movimentos de vertentes potenciais pela precipitação intensa, pela atividade sísmica local e regional e pela deformação de terrenos associada a intrusões magmáticas.

O elevado risco vulcânico que caracteriza a Ilha do Fogo, aliado à ocorrência de sismos e movimentos de massa, justifica a implementação de um programa de monitorização multidisciplinar nesta zona do Arquipélago de Cabo Verde, envolvendo a conceção, instalação, desenvolvimento e exploração de redes geofísicas, geodésicas, geoquímicas e ambientais, conforme já sugerido anteriormente por GASPAS *et al.*, 1997.

A mitigação do risco passa, também, pela existência de planos de emergência atualizados, com a devida caracterização dos diferentes perigos a que a ilha está sujeita, para uma melhor resposta por parte das autoridades de proteção civil.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi apoiado pelo Governo Regional dos Açores através do projecto de doutoramento “M3.1.2/CV/003/2008” financiado pela Direção Regional da Ciência e Tecnologia e PROEMPREGO, ao abrigo do protocolo entre o Governo Regional dos Açores e o Governo de Cabo Verde.

139

## Referências Bibliográficas

- BEBIANO, J. B. (1932) – A geologia do Arquipélago de Cabo Verde. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 18, 275 p.
- BRUM DA SILVEIRA, A., MADEIRA, J., SERRALHEIRO, A., TORRES, P. C., SILVA, L. C. & MENDES, M. H. (1997) – O controlo estrutural de Abril de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde, IICT, p. 51-61.
- CRUZ-REYNA, S. (1996) – Long-term probabilistic analysis of future explosive eruptions. In: Scarpa, R. e Tilling, R. (eds.). *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*, p. 599-629.
- DAY, S. J., HELENO, S. I. N. & FONSECA, J. F. B. D. (1999) - A past giant collapse and present-day flank instability of Fogo, Cape Verde Islands. *J. Volcanol. Geothermal. Res.*, 94, p. 191-218.
- FERREIRA, H. (1956) – Macrossismos sentidos em Portugal no período de 1901-1954. Simpósio sobre a acção de sismos e sua consideração no cálculo das construções. Comunicação nº16. Boletim da Ordem dos Engenheiros, Memória nº 128, V.1, 1-10.
- GASPAR, J. L., QUEIROZ, G., FERREIRA, T. & COUTINHO, R. (1997) - A monitorização geoquímica no quadro geral da vigilância sismovulcânica da ilha do Fogo. In: A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde, Lisboa, p. 93-101.
- HELENO DA SILVA, S. (2003) - O vulcão do Fogo - estudo sismológico. Teses. IPAD, 463 p.
- HELENO DA SILVA, S. & FONSECA, J. (1997) – A estrutura interna do Vulcão do Fogo: contributo para a monitorização da erupção de Abril de 1995. In: A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde, Lisboa, p. 93-101.
- INSTITUTO DE METEOROLOGIA DE PORTUGAL - Anuário sismológico de Portugal. Vol. I – nºs 1-27.
- MACHADO, F. e ASSUNÇÃO, C.T. (1965) – Carta Geológica de Cabo Verde (na escala 1/100.000). Notícia explicativa da folha da Ilha do Fogo – estuós petrográficos. *Garcia da Orta*, 13 (4), 59-604.
- MATIAS, L., CRUZ, J., PENA, J. A., MARTINS, I & SENOS, M. L. (1997) – A sismicidade registada na ilha do Fogo durante os primeiros dias de actividade do vulcão na erupção de Abril de 1995. In: “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, p. 13-32.
- PARIS, R., GIACHETTI, T., CHEVALIER, J., GUILLOU, H. & FRANK, N. (2011) - Tsunami deposits in Santiago Island (Cape Verde archipelago) as possible evidence of a massive flank failure of Fogo volcano. *Sedimentary Geology* V., 239 (3-4), p.129-145.
- PIRES, J. C. A. C. & NEVES, J. V. (1981) - Relatório preliminar da Missão Geofísica a Cabo Verde no período de 10 de Abril a 11 de Maio de 1981. Relatório Interno, INMG, Lisboa, 17 p.
- QUEIROZ, G. (1997) – Vulcão das Sete Cidades (S. Miguel, Açores). História eruptiva e avaliação do hazard. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 226 p.
- RIBEIRO, O. (1960) – A ilha do Fogo e as suas Erupções; Memórias Série Geográfica I, Junta de Investigações do Ultramar, Lisboa, 319 p.
- TORRES, P.C., MADEIRA, J., SILVA, L. C., SILVEIRA, A. B., SERRALHEIRO, A. & GOMES, A. M. (1997) - Carta geológica das erupções históricas da ilha do Fogo: revisão e actualização. *Simp. Int. “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”* IICT, 119-132.

(Página deixada propositadamente em branco)

AValiação DE SOLOS RESIDUAIS DE ROCHAS BASÁLTICAS  
E A OCORRÊNCIA DE FEIÇÕES EROSIVAS  
(TRÓPICO DE CAPRICÓRNIO, SUL DO BRASIL)

EVALUATION OF RESIDUAL SOILS OF BASALTIC ROCKS  
AND THE OCCURRENCE OF EROSIVE FEATURES  
(TROPIC OF CAPRICORN, SOUTH OF BRAZIL)

M. L. de Souza<sup>1</sup> & V. de Souza<sup>2</sup>

**Resumo** – O presente artigo apresenta os resultados obtidos através de pesquisas experimentais integradas, que foram desenvolvidas visando o levantamento de algumas propriedades físicas de solos residuais de rochas basálticas. A finalidade foi avaliar se essas propriedades naturais, aliadas a outros atributos do meio físico, interferem diretamente ou não no desenvolvimento de feições erosivas de grande porte designadas de “*gullies*” e denominadas de voçorocas ou boçorocas no Brasil. A área de estudo localiza-se em um campo experimental da Universidade Estadual de Maringá, nas coordenadas 23°23'56” - 23°25'S e 51°56'17” - 51°57'30”W, em uma encosta no segmento superior da bacia do Córrego Mandacaru, lado esquerdo, situada na cidade de Maringá, estado do Paraná, Sul do Brasil, onde se encontra a linha imaginária do Trópico de Capricórnio. Os ensaios realizados em campo e laboratório foram: análise morfopedológica, infiltração pelo método do duplo anel, granulometria conjunta, erodibilidade e adsorção do corante azul de metileno utilizado em frações finas do solo como um indicativo do grau de atividade dos argilominerais. Além desses ensaios, também foram elaborados documentos cartográficos. Dos resultados obtidos concluímos que os atributos do meio físico analisados não interferem diretamente no desenvolvimento de feições erosivas de grande porte, mas podem ser afetados pela interferência das atividades humanas, concretamente a concentração do volume das águas das chuvas ou a remoção, ou não, do coberto vegetal.

**Palavras-chave** – Solos residuais; erosão; basaltos; Maringá

---

<sup>1</sup> Dep. Geografia e Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Bloco J-12, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil; mlsouza@uem.br

<sup>2</sup> Geógrafo autônomo; vladimirdesouza@yahoo.com.br

*Abstract* – The current essay shows the results from integrated experimental research based on the physical qualities of residual soils from basaltic rocks. These natural features from the physical environment were evaluated to check whether they interfered directly or indirectly in the development of gullies (*voçorocas* in Portuguese). Study area lies within the experimental field of the Universidade Estadual de Maringá, Maringá (PR), Brazil, at 23°23'56" - 23°25'S and 51°56'17" - 51°57'30"W, on a slope in the upper, left segment of the Mandacaru stream basin, in Maringá (PR), Brazil, standing over the Tropic of Capricorn imaginary line. The field and laboratory essays were as follows: morphopedological analysis, double ring method infiltration, joint granulometry, erosion capacity and adsorption of methylene blue staining in fine soil fractions as an indication of clay-mineral activity degree. Apart from the above mentioned essays, cartographic documents were also undertaken. The obtained results show that the analyzed physical environment features do not directly affect the development of gullies, but are rather due to the interference of human activities, namely, the concentration of rain water volume and the removal or non-removal of vegetation covering.

*Keywords* – Residual soils; Erosion; Basalt; Maringá

## 1 – Introdução

O solo é um recurso natural de suma importância para a vida humana. O estudo e o conhecimento de suas propriedades constituem uma ferramenta fundamental para diversos ramos das Ciências Naturais. Os solos residuais, enfoque da pesquisa, são formados por diferentes processos de intemperismo e pedogênese que atuam sobre as rochas e que levam à constituição de um perfil de alteração de rocha, por vezes complexo. Embora a análise de um perfil de solo residual possa ter restrições quanto a sua generalização regional, alguns fatores devem ser considerados na análise local como a espessura dos materiais.

A pesquisa teve como principal objetivo a realização de um levantamento de algumas propriedades físicas de solos residuais de rochas basálticas. A finalidade foi avaliar se essas propriedades naturais, aliadas a outros atributos intrínsecos e extrínsecos do meio físico, afetam diretamente ou não o desenvolvimento de feições erosivas de grande porte, denominadas voçorocas ou boçorocas no Brasil e “*gullies*” nos países de língua inglesa.

O interesse no assunto surgiu devido aos relatos da presença desse tipo de feição erosiva em áreas urbanas da cidade de Maringá nos últimos anos.

A área de estudo localiza-se nas coordenadas 23°23'56" - 23°25'S e 51°56'17" - 51°57'30"W, em uma encosta no segmento superior da bacia do Córrego Mandacaru, lado esquerdo, situada na cidade de Maringá, estado do Paraná, Brasil, onde se encontra a linha imaginária do Trópico de Capricórnio (Fig. 1). O local pertence à Universidade Estadual de Maringá, Centro de Treinamento em Irrigação, destinado a vários tipos de experimentos em campo devido à disponibilidade de perfis característicos dos diferentes tipos de solos da região e de diversos tipos de cobertura vegetal. É um local utilizado principalmente para pesquisas agrônômicas, assim como para pesquisas de Geociências. Sendo assim, algumas pesquisas de iniciação científica foram desenvolvidas nessa área com a temática abordada no presente artigo (BALBO, 2004; VIEIRA, 2004; SCHIMIDT, 2008).



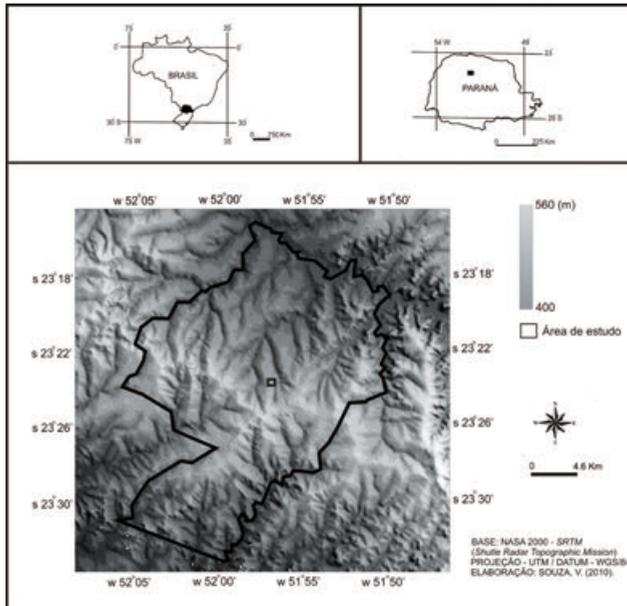


Fig. 1 – Localização da área de estudo.

## 2 – Importância dos estudos de solos residuais para análises de feições erosivas

No território brasileiro ocorre o predomínio de solos profundos, ferralíticos e porosos ou lateritas. São materiais que encontram-se sobre as plataformas geomorfológicas que estão expostas à aproximadamente 80 Ma a elevados índices termo-hídricos.

No sul do Brasil, em especial no norte do estado do Paraná, os solos residuais de rochas basálticas são profundos, bem drenados, apresentam alta fertilidade natural e são intensamente utilizados para fins agrícolas. Devido ao processo histórico de ocupação e das características climáticas da referida região, observa-se um intenso processo de degradação dos solos, sobretudo por fenômenos erosivos hídricos.

No sul do Brasil, em especial no norte do estado do Paraná, os solos residuais de rochas basálticas são profundos, bem drenados, apresentam alta fertilidade natural e são intensamente utilizados para fins agrícolas. Devido ao processo histórico de ocupação e das características climáticas da referida região, observa-se um intenso processo de degradação dos solos, sobretudo por fenômenos erosivos hídricos.

Os principais fatores que influenciam as perdas de solo por erosão são a chuva, a cobertura vegetal, o uso da terra, a topografia e as características dos solos (MORGAN, 1995). Nesse sentido, o levantamento dos parâmetros físicos, morfológicos e mineralógicos é fundamental no estudo dos solos tropicais, pois irá fornecer informações relevantes para o processo de uso e ocupação dessas terras.

Atributos físicos como a textura, a capacidade de infiltração, a profundidade dos solos e os fatores relacionados à resistência dos constituintes ao destacamento irão determinar a suscetibilidade dos solos à erosão (SCOTT, 2000).

Em condições tropicais, os solos que se desenvolvem a partir de rochas areníticas apresentarão materiais mais grosseiros em sua composição, enquanto nos solos desenvolvidos sobre rochas vulcânicas básicas predominarão as frações finas. A identificação dos principais constituintes mineralógicos da fração fina pode assessorar no entendimento do comportamento da estabilidade dos materiais argilosos em contato com a água, durante os processos de destacamento das partículas (SOUZA & GASPARETTO, 2010).

De acordo com REZENDE *et al.* (2005), se um solo apresentar argilominerais trila-minares do grupo 2:1 com características expansivas, com a introdução de moléculas polares, o seu comportamento frente aos processos erosivos será diferente, ou seja, durante o processo de erosão hídrica, as partículas de argila irão se expandir proporcionando maior desagregação.

### 3 – Procedimentos metodológicos

No desenvolvimento da presente pesquisa foram adotados procedimentos metodológicos de diversos autores que realizaram uma revisão bibliográfica do tema e da área de estudo, e que incluem o levantamento de dados em campo e em laboratório, além da elaboração de documentos cartográficos descritos a seguir. A área na qual os ensaios foram realizados foi escolhida para essa análise devido aos seguintes fatores: encosta representativa de perfil típico de alteração da região, acesso fácil e infraestrutura básica disponível, como o fornecimento de água para os ensaios de infiltração.

#### 3.1 – Coleta de dados em campo

Primeiramente foi realizada a caracterização do meio físico da encosta estudada, representada por um perfil (topossequência) que apresenta 540 m de comprimento com um desnível de 52 m, do topo ao talvegue do vale (Fig. 2). Na sequência foi realizada a demarcação dos pontos de coleta de amostras de solo, deformadas e indeformadas e ensaios de campo (P1, P2 e P3). O *GPS* (*Global Positioning System*) foi utilizado para determinar a latitude, a longitude e a altitude dos pontos, ou seja, foram feitas as aberturas de duas trincheiras (P1 e P2) para análises dos solos residuais nos segmentos superior (altitude: 520 m) e mediano (altitude: 480 m). A terceira trincheira (Ponto 3), definida no segmento inferior, (altitude: 460 m) foi aberta somente para finalizar o perfil da encosta, pois os materiais expostos não pertencem a classe de solos residuais.

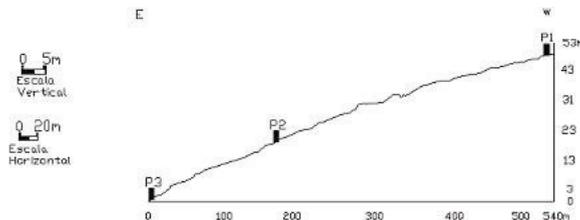


Fig. 2– Perfil esquemático da topossequência do local estudado.

Os ensaios realizados em campo, segundo as metodologias de LEMOS & SANTOS (1996) e MUNSELL (1975) foram: sondagens a trado manual para análise pedológica básica das características morfológicas dos solos (cor, textura, estrutura, porosidade, cerosidade, consistência, cimentação, nódulos e concreções minerais, conteúdos de carbonatos e efluorescências); também foram realizados ensaios de infiltração pelo método do duplo-anel (ASTM-D 3385-88, 1988).

### 3.2 – Ensaios em laboratório

Os ensaios realizados em laboratório nos solos residuais foram: granulometria para determinar a textura do solo (CAMARGO *et. al.*, 1986) e erodibilidade que reflete a sua maior ou menor susceptibilidade à ação erosiva. O método adotado para essa propriedade foi o conjunto de ensaios de absorção de água (S) e perda de massa por imersão (P). Os resultados foram obtidos a partir da aplicação dos valores adquiridos nos ensaios de laboratório na seguinte equação:  $E = 40S/P$ , onde: E= erodibilidade; S e P são valores determinados pelos ensaios realizados em laboratório; onde:  $E > 1$ = baixa erodibilidade e  $E < 1$ =alta erodibilidade (PEJON, 1992).

O ensaio da adsorção do corante azul de metileno pelo método da mancha, adaptado por PEJON (1992), foi realizado com o objetivo de analisar expeditamente, o grau de atividade dos argilominerais nas frações finas dos solos, ou seja para detectar a existência ou não de argilominerais com comportamento expansivo, que podem colaborar diretamente com a desagregação acelerada das partículas dos solos e que podem causar vários tipos de feições erosivas.

### 3.3 – Documentos cartográficos

Em gabinete foram elaboradas as cartas de localização com o modelo de elevação da região, utilizando-se imagens de radar *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)*. Além da elaboração de gráficos que representaram as curvas de infiltração, efetuou-se o cálculo das Velocidades de Infiltração acumulada e média (VIa e VI<sub>m</sub>) em cm/h, segundo BERNARDO (1986).

## 4 – Resultados

### 4.1 – Caracterização do meio físico-natural

O substrato rochoso da área é composto por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, formadas pelo vulcanismo fissural ocorrido no período Juro-Cretáceo. Os derrames com espessuras variáveis de alguns metros a uma centena de metros, podendo chegar a 1000 m no centro da bacia, apresentam alternância de níveis maciços e vesiculares e/ou amigdaloidais, também de espessuras variadas (PINESE & NARDY, 2003).

Na área ocorre o predomínio de rochas basálticas que sofreram um intenso processo de intemperismo, principalmente químico, que gerou um manto de alteração com camadas de até 30 m de profundidade, segundo NÓBREGA *et al.* (2010). Estes analisaram vários ensaios de *SPT* (*Standard Penetration Test*) realizados em vários locais da cidade onde está inserida a área de estudo. Os autores destacaram que a porção maciça das rochas apresenta resistência mecânica mais elevada e, normalmente, é mais resistente ao intemperismo químico, que aquelas vesiculares e/ou amigdaloidais. Sendo assim foi utilizada uma escala de graus de alteração da rocha, segundo critérios de campo adaptáveis (GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT, 1990). Os graus de alteração encontrados no local foram: intensamente (IV), completamente (V) e o solo residual (VI), o objeto de estudo.

Do ponto de vista pedológico, o solo residual oriundo de rochas basálticas foi classificado, segundo EMBRAPA (1999), como Latossolo Vermelho férrico que ocorre, em geral, no topo e no segmento superior das encostas. No segmento mediano, e por vezes no topo, predomina o Nitossolo Vermelho férrico, ambos podem ser distroférrico ou eutroférrico, e em espessuras rasas, predominam os Cambissolos e Neossolos Litólicos. Os Gleissolos predominam no segmento inferior.

Geomorfologicamente, a área encontra-se inserida no Terceiro Planalto Paranaense, apresenta relevo suave ondulado com encostas convexo-retilíneas e posiciona-se no divisor das bacias dos rios Pirapó e Ivaí (MAACK, 1968). Na área de estudo ocorrem várias nascentes do Córrego Mandacaru, que pertence à bacia do Rio Pirapó, a principal fonte de abastecimento de água para a cidade de Maringá. A variação altimétrica regional está entre 400 a 560 m acima do nível do mar e as classes de declividade variam de 3 a 20%, com predomínio na área de 3 a 8%. No local perpassa o Trópico de Capricórnio e o clima predominante é o subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com tendências de chuvas no verão (dezembro a março) e inverno (junho a setembro) e com geadas pouco frequentes sem estação seca definida (KÖEPPEN, 1948). Apresenta um índice pluviométrico anual de 1.500 mm, umidade relativa do ar em torno de 66% e temperatura média em torno de 22°C. A média das mínimas é 10,3°C e a média das máximas 33,6°C.

A vegetação original do local era constituída pela Floresta Estacional Semidecidual e Submontana. O desenvolvimento da floresta era condicionado pela dupla estacionalidade climática, com épocas de intensas chuvas de verão e estiagens prolongadas. (MAACK, 1968).

Atualmente, o uso da terra é caracterizado por infraestrutura de edificações do CTI. No local dos ensaios predominam gramíneas ao longo da encosta, áreas destinadas ao cultivo de culturas permanentes ou temporárias, dependendo do experimento desenvolvido, e mata ciliar alterada nas margens do Córrego Mandacaru (Fig. 3). A presença de sulcos erosivos foi observada na área, principalmente nos locais onde os solos residuais estavam expostos e em alguns trechos nas margens do córrego, onde predominam os Gleissolos.



Fig. 3– Vista da área de estudo.

#### 4.2 – Propriedades físicas dos solos residuais no campo experimental

Do ponto de vista pedológico, os solos residuais do perfil de alteração foram classificados no segmento superior (P1) como Nitossolo Vermelho distroférrico, latossólico, textura argilosa. No segmento mediano (P2), como Nitossolo Vermelho eutroférrico, textura argilosa. E para concluir o perfil (P3), no sopé da encosta ocorrem solos com hidromorfia, no caso Gleissolo, pouco húmico (Fig.4).

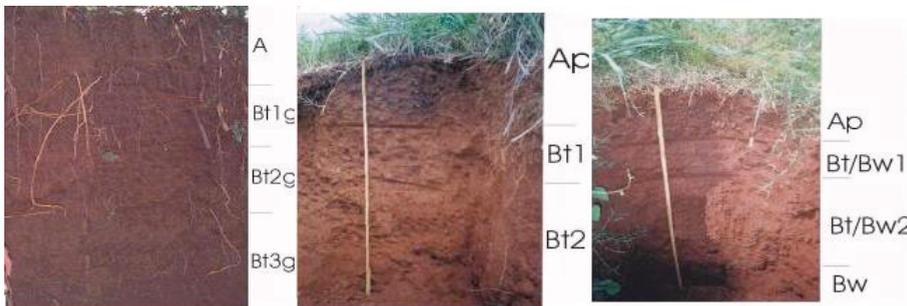


Fig. 4 – Representação dos horizontes dos solos (P3, P2 e P1, da esquerda para direita).

Sinteticamente, segundo EMBRAPA (1999), a classe Nitossolo Vermelho, compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B nítico, formados a partir de rochas eruptivas básicas. Estes solos são profundos, argilosos, bem drenados, com argilas de baixa capacidade de troca catiônica, predominantemente caulíníticas, ricos em sequióxidos de ferro e alumínio, com expressiva cerosidade na superfície dos agregados e com sequência de horizonte A, B nítico e C.

Para corroborar com a textura da análise morfopedológica foram feitos ensaios de granulometria (BALBO, 2004) que resultaram nos seguintes gráficos (Fig.5):

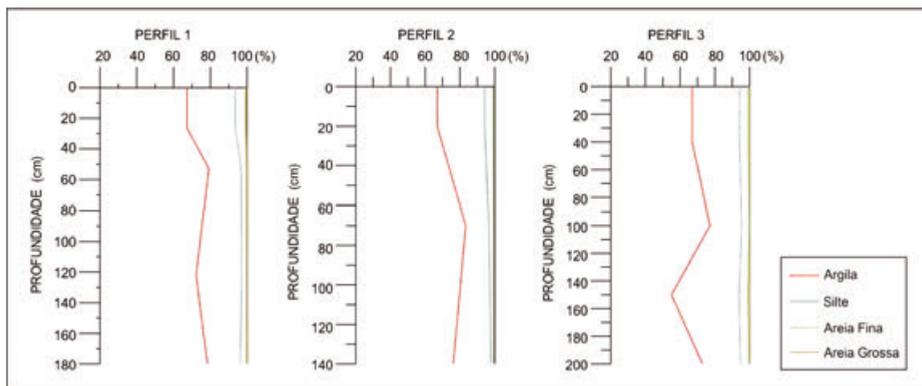


Fig. 5– Gráficos representativos dos ensaios granulométricos.

Nos dois pontos (P1 e P2) de análise dos solos residuais, predomina a textura de argilosa a muito argilosa, que também foi encontrada no P3.

VIEIRA (2004) realizou nos mesmos locais dos perfis de alteração, ensaios expeditos com o corante azul de metileno nas frações finas dos solos, após a percepção tátil-visual, que indicou a presença de materiais argilosos, fato comprovado em laboratório, como explicitado acima. Os resultados obtidos mostraram que no P1, os Coeficientes de Atividade (CA) foram de 54,9% no horizonte de maior incidência e de 37,95 no de menor. No P2, os valores de CA foram muito próximos, o de maior incidência foi de 49,9% e de 45,9% no de menor incidência. Durante o trabalho de interpretação dos valores de CA obtidos, constatou-se que a encosta analisada apresenta possivelmente argilominerais pertencentes ao grupo da caulinita. Esse resultado expedito foi comparado com alguns dados obtidos por SOUZA & GASPARETTO (2010), que realizaram análises de difratometria de raios-X nos mesmos tipos de solos na região, e que obtiveram a presença de argilominerais do grupo da caulinita e óxidos.

Os ensaios de erodibilidade realizados nos mesmos locais resultaram em  $E > 1$ , ou seja, no P1 (1,8) e no P2 (1,9) e apresentaram baixa erodibilidade devido ao teor da fração argila presente nos solos residuais oriundos das rochas basálticas. O detalhamento dos ensaios realizados pode ser pesquisado em BALBO (2004).

O comportamento da propriedade infiltração encontrado foi o característico de materiais argilosos com baixas velocidades de infiltração. A velocidade básica de infiltração obtida para os dois ensaios nos pontos 1 e 2 foi de 0,9 cm/h. A figura 6 mostra o comportamento das curvas de Velocidade de Infiltração acumulada e média VIa (cm/h) e VI<sub>m</sub> (cm/h) no decorrer do tempo de ensaio.

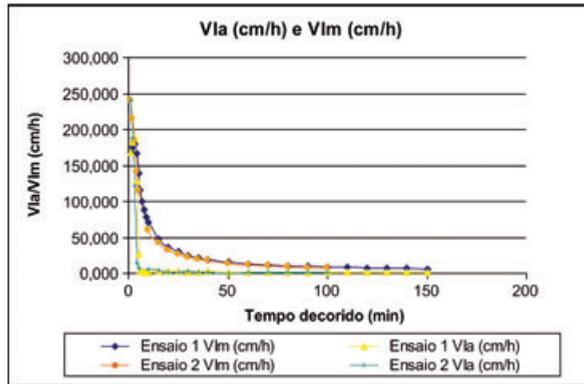


Fig. 6– Gráfico das Velocidade de Infiltração acumulada e média da área de estudo (SCHIMIDT, 2008).

## 5 – Conclusões

A caracterização básica das propriedades físicas dos solos residuais oriundos de rochas basálticas foi realizada em campo e em laboratório com ensaios utilizados em Geociências, tanto na Geotecnia como na Pedologia. O objetivo era analisar se as propriedades naturais, aliadas a outros atributos do meio físico, afetam diretamente ou não o desenvolvimento de feições erosivas de grande porte.

Os resultados obtidos através da análise morfopedológica, que incluiu a análise táctil-visual, indicaram nos dois perfis analisados, que os materiais são predominantemente de textura argilosa a muito argilosa e foram classificados pedologicamente como: Nitossolo Vermelho distroférico, latossólico, textura argilosa no segmento superior (P1) e Nitossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa no segmento mediano (P2). Esses resultados foram corroborados com o ensaio de granulometria realizado em laboratório.

A utilização da técnica de adsorção do corante azul de metileno para identificar o Coeficiente de Atividade dos argilominerais é rápido, eficaz e de baixo custo, sendo um indicativo do tipo de argilomineral presente no solo, que deve ser comparado por outras técnicas (difratometria de raios-X, MEV). Os resultados obtidos indicaram que nos perfis de alteração, os argilominerais presentes pertencem ao grupo da caulinita, que não apresentam comportamentos expansivos.

Os ensaios de erodibilidade apresentaram baixa erodibilidade ( $E > 1$ ) nos dois perfis analisados, corroborando com a textura argilosa obtida em outros ensaios. Quanto aos resultados obtidos no ensaio de infiltração pelo método do duplo anel, constatou-se através da análise táctil-visual que os materiais eram argilosos, o que indicou, teoricamente, que a taxa de infiltração seria baixa. A infiltrabilidade se confirma nos dois pontos onde foram realizados os ensaios, com uma velocidade de infiltração básica de 0,9cm/h. De acordo com os resultados obtidos, concluímos que os atributos do meio físico analisados não interferem diretamente no desenvolvimento de feições erosivas de grande porte. Essas ocorrências se devem à interferência de ações antrópicas, ou seja, quando existe o despejo de águas pluviais concentradas aliada a retirada da cobertura vegetal ou não. Neste caso, o solo residual tende a desenvolver feições erosivas de grande porte. Existe,

também, outra variável relacionada à estrutura desse material, pois quando microagregado, o material exibe comportamento de material arenoso, portanto é facilmente desagregado. Para a comprovação dessas conclusões, sugerimos estudos mais detalhados incluindo análises microscópicas do solo residual.

**Agradecimentos** - Ao apoio financeiro da Fundação Araucária (Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná) na Chamada 06/2011.

### Referências Bibliográficas

- ASTM-D 3385-88 (1988) – American Society for Testing and Materials. Standard test method for infiltration rate of soils in fields using double ring infiltrometers, 6p.
- BALBO, A. J. (2004) - Avaliação da Erodibilidade de Perfis de Solos Residuais da Vertente do CTI/UEM. *Relatório Iniciação Científica*, (Graduação Geografia), Universidade Estadual de Maringá, 20p.
- BERNARDO, S. (1986) - Manual de Irrigação. 4ª Ed. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 488p.
- CAMARGO, O. A., MONIZ, A. C., JORGE, L. A. & VALADARES, J. M. A. S. (1986) - Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. *Boletim Técnico*, 106, 93p.
- EMBRAPA (1999) - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 412p.
- GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP WORKING PARTY REPORT (1990) – Tropical Residual Soil. *The Quarterly Journal of Engineering Geology*, 23, p. 4-101.
- KÖPPEN, W. (1948) - Climatologia. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 478p.
- LEMOES, R. C. & SANTOS, R. D. (1996) - Manual de descrição e coleta de solo no campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3ª Ed., Campinas-SP, 83p.
- MAACK, R. (1968) - Geografia Física do Estado do Paraná. 1.ed. Curitiba (PR): Banco de Desenvolvimento do Paraná, Universidade Federal do Paraná e Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas, 350p.
- MORGAN, R. P. C. (1995) - Soil erosion and Conservation. Longman Group Limited, 2ª Ed., 298p.
- MUNSELL, L. (1975) - Munsell soil color charts. U.S. Dep. Agric. Handb., 18, Soil Survey Manual, Baltimore, 22p.
- NÓBREGA, M. T., GUTIERREZ, N. H. M., MENEGUETTE, M. Z. & FERRAZ, R. L. (2010) - Características geotécnicas de áreas sobre basalto: o caso de Maringá. 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, *anais (CD-ROM)*, ABGE, Maringá/PR, p.1-14.
- PEJON, O. L. (1992) - Mapeamento Geotécnico de Piracicaba, escala 1:100.000: Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação dos Atributos. São Carlos, *Tese* (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2v, 224p.
- PINESI, J. P. P. & NARDI, A. J. R. (2003) - Contexto geológico da Formação Serra Geral no Terceiro Planalto Paranaense. Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense, *anais (CD-ROM)*, ABMS/ABGE, Maringá/PR, p.1-15
- REZENDE, M., CURTI, N., KER, J. C. & RESENDE, S. B. (2005) - Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações. Lavras: Editora UFLA, 192p.
- SCHIMIDT, M. F. (2008) - Estudo Experimental da propriedade infiltração: aplicação na vertente do CTI, Maringá/PR. *Relatório Iniciação Científica*, (Graduação Engenharia Civil), Universidade Estadual de Maringá, 44p.



- SCOTT, H. D. (2000) - Soil water flow processes in the field. In: Soil Physics: agricultural and environmental applications. Iowa: State University Press, p. 244-281.
- SOUZA, V. & GASPARETTO, N. V. L. (2010) - Avaliação da erodibilidade de algumas classes de solos do município de Maringá - PR por meio de análises físicas e geotécnicas. *Boletim de Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM)*, 28, p. 5-16.
- VIEIRA, P. S. S. (2004) - Caracterização da fração fina dos solos residuais da vertente CTI/UEM: através da adsorção do corante azul de metileno. *Relatório Iniciação Científica*, (Graduação Geografia), Universidade Estadual de Maringá, 23p.

(Página deixada propositadamente em branco)

## UMA REVISÃO DA MODELAGEM FUZZY DA INTERFACE CONTINENTE E OCEANO PARA IDENTIFICAR LOCAIS VULNERÁVEIS À EROSÃO

### A REVIEW OF FUZZY MODELING OF INTERFACE CONTINENT AND OCEAN TO IDENTIFY VULNERABLE SITES TO EROSION

L. M. Silva<sup>1</sup> & R. M. Gonçalves<sup>1</sup>

**Resumo** – O avanço da urbanização vem provocando grandes transformações nas relações sociais e morfológica da área costeira. As informações cartográficas e históricas quando comparadas caracterizam a configuração espacial de um ambiente em estudo, tornando-se uma ferramenta poderosa para detectar mudanças espaciais de determinadas feições. O presente trabalho tem como objetivo revisar a modelagem *fuzzy* (nebulosa) aplicada à classificação da vulnerabilidade costeira. Os resultados esperados são a aplicação da modelagem através da classificação temática da área de estudo. O método a ser aplicado utiliza variáveis linguísticas que caracterizam a abordagem *fuzzy*, ideal para estudos onde existem incertezas capazes de serem modeladas matematicamente gerando como produto uma classificação local.

**Palavras chaves** – Erosão Costeira. Vulnerabilidade. Interface Oceano Continente. Lógica *Fuzzy*.

**Abstract** – *The urbanization advance in coastal areas has been changing social relations and morphological aspects. The cartographic and historical information when it is compared over time characterize the spatial configuration of an environment under study, and become a powerful tool to detect spatial changes of cartographic features. This study aims to review the fuzzy classification modeling applied to coastal vulnerability. The expected results are the model implementation through the classification coverage classes of the case study. The applied method uses linguistic variables, which characterize the fuzzy*

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Centro de Tecnologia e Geociências – CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife – PE. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação; luciana\_maria15@hotmail.com; rodrigo.mikosz@ufpe.br

*approach, ideal for uncertainties studies able to be mathematically modelled, generating a local classification as a product.*

**Keywords** – *Coastal Erosion. Vulnerability. Interface Ocean Continent. Fuzzy Logic.*

## 1 – Introdução

As praias são definidas em ALMEIDA (2008) como feições geológicas temporárias e movimentadas, estando entre os sistemas físicos da superfície da terra com maior dinâmica.

O ambiente praias pode ser dividido em três partes: pós-praia, praia (estirâncio) e ante praia. Em um estudo realizado por ARAÚJO *et al.* (2007) foi possível analisar a ocupação urbana das praias de Pernambuco, onde no setor Metropolitano do Estado 47% de sua extensão indicava a ocupação concomitante da pós-praia e da praia.

Nos últimos 60 anos, a praia de Boa Viagem e Pina localizada no município de Recife-PE, Brasil vem sendo urbanizada próximo à linha de costa. Diante das construções cada vez mais sobre a pós-praia e até mesmo na praia (estirâncio), observam-se problemas de erosão costeira e de vulnerabilidade. Com aproximadamente 8,5 km de extensão a linha de costa desta área vem sendo modificada por processos antrópicos. Segundo SMITH (1991), praias urbanas são aquelas que circundam cidades, bairros ou balneários consolidados de diversos níveis de desenvolvimento. Ou seja, são as praias sob ocupação e influência humana direta, e utilizada, tanto pelas populações locais como por visitantes.

A erosão praias é um problema sério que ocorre em vários lugares do mundo podendo alcançar estágios bastante elevados, assim como ocorre ou ocorreu em outras praias no mundo e no Brasil, por exemplo, na Espanha, em trechos do litoral, a urbanização não deixou espaço suficiente para dinâmica costeira ocasionando prejuízos ambientais, comerciais e recreativos, (DOODY, 2001). No estado de Delaware, localizado na costa leste dos Estados Unidos o enorme valor das propriedades ao longo da costa e o valor econômico da indústria do turismo costeiro combinam para criar um problema de gestão de recursos naturais que é particularmente difícil de resolver, pois na medida em que a indústria do turismo nessa área se expande, há o aumento de barreiras para evitar o avanço do mar devido à erosão das praias, (DANIEL, 2001).

A vulnerabilidade costeira à erosão consiste em diversos processos morfodinâmicos. Diversos estudos vêm sendo realizados para analisar os níveis da vulnerabilidade, em geral utilizando parâmetros geomorfológicos, taxa de variação, variações do nível do mar, altura de ondas, fatores antrópicos, atributos naturais etc., como pode ser visto em MAZZER *et al.* (2008), MALLMANN (2008), MALLMANN e ARAÚJO (2010) e RAPOSEIRO e FERREIRA (2010).

## 2 – Área de estudo

O litoral de Recife é formado pelas praias de Pina (1 km de extensão litorânea) e Boa Viagem (7,38 km de extensão litorânea) que totalizam aproximadamente 8,5 km de linha de costa.

A figura 1 apresenta um mapa de localização do Estado de Pernambuco na Região Nordeste, no Brasil, a ampliação do Estado e em particular um polígono que define os municípios de Recife e um polígono de Boa Viagem.

Recife, conforme dados do censo de 2010, conta com uma população de 1.537.704 habitantes e apresenta uma superfície territorial de 218.498 km<sup>2</sup>. Limitando-se ao norte com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe, e a leste com o Oceano Atlântico. Ver Tabela 1, com os dados de área e população em 2010 dos municípios na malha urbana de Recife totalizando aproximadamente três milhões de habitantes.

Segundo MANSO *et al.*, (2006), o litoral pernambucano foi delimitado e setorizado com base na sua situação geográfica e política em 21 municípios, distribuídos numa faixa de 187 km. A costa pernambucana apresenta baixa altitude, chegando a atingir, em vários pontos, cotas inferiores ao nível médio do mar.

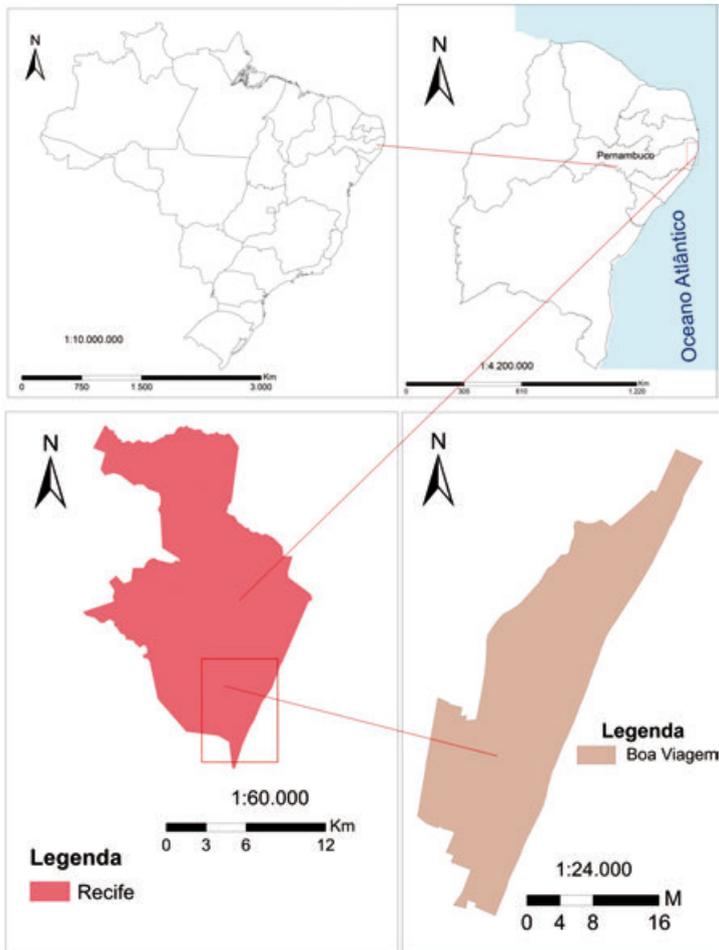


Fig. 1 – Mapa de Localização de Boa Viagem.

Tabela 1 - Área total e população dos municípios na malha urbana.

Municípios	Área (km <sup>2</sup> )	População (2010)
Camaragibe	51.194	144.466
Jaboatão dos Guararapes	258.566	644.620
Olinda	41.659	377.779
Paulista	97.364	300.466
Recife	218.498	1.537.704
São Lourenço da Mata	262.157	102.895
Total	929.438	3.107.930

Fonte: IBGE (2010)

A Praia de Boa Viagem é oceânica e se situa na zona sul da cidade faz parte de um conjunto (composto por um cordão arenoso de orientação aproximada Norte-Sul) de ecossistemas costeiros que se estendem outros 7 km para o sul, ao longo da praia de Piedade (Município de Jaboatão dos Guararapes), mais detalhes em COSTA *et al.*, (2008), banhada pelo Oceano Atlântico.

A maior parte da praia de Boa Viagem é protegida por cordões de arenito (*beachrocks*) paralelos à costa. Na maré baixa, formam-se várias piscinas naturais ao longo da praia, sendo possível andar sobre os recifes, que são relativamente planos, largos e escorregadios. Quando a maré sobe, os recifes ficam completamente cobertos pela água.

COSTA *et al.*, (2008), relatam que a praia da Boa Viagem e seu segmento mais ao norte, a praia do Pina, chegaram a ser consideradas Unidades de Conservação (58 ha) pela Prefeitura da Cidade do Recife em 2000 e que a construção de uma avenida beira-mar (pistas de rolamento, calçada, mureta, quiosques, banheiros e infraestrutura de lazer) teve forte influência na impermeabilização do terreno e imobilização das dunas, podendo ter levado a um sério deslocamento do frágil balanço sedimentar para o lado da erosão da praia.

O deslocamento do balanço sedimentar também pode ter levado a um aumento da vulnerabilidade da praia a tempestades e ressacas. Como consequências, um enrocamento aderente foi instalado emergencialmente em cerca de 2 km da praia em 1996. Os fenômenos como ressacas e tempestades apresentam uma tendência recente de aumento de sua frequência e intensidade. Sendo assim a praia poderá estar mais vulnerável a erosão do que a uma mudança (elevação) do nível do mar propriamente dita (COSTA *et al.*, 2008).

### 3 – Mapeamento da linha de costa

A zona costeira concentra grande potencial econômico e turístico. Por sua importância a Lei de Gerenciamento Costeiro do Estado de Pernambuco (LGCEP, 2010) que trata dos instrumentos e ocupação da zona costeira em seu capítulo V, artigo 10 inciso

2º, propõe que para as áreas urbanizadas não será permitido qualquer tipo de instalações de novas construções, urbanização ou outra forma de utilização do solo na zona costeira, na faixa de 33 m (trinta e três metros), considerada como “*non aedificandi*”, ou valor superior a este quando comprovado em estudo técnico, medidos perpendicularmente em direção ao continente, a partir da linha de preamar máxima da sizígia atual. Ao longo do litoral de Boa Viagem é possível observar obras muito próximas ao mar demonstrado que a urbanização costeira continua em plena atividade.

Uma forma de realizar eficientemente o gerenciamento é investir no monitoramento geodésico da linha de costa, que desempenha um papel essencial para o planejamento territorial. Vários estudos apresentam o monitoramento da linha de costa como, por exemplo: ROCHA *et al.* (2008) estudam a aplicação de técnicas de posicionamento GPS (*Global Positioning System*) tridimensional para localizar a linha de costa, proporcionando a obtenção do Modelo de Elevação Digital (DEM); GONÇALVES (2010) estuda modelos preditivos utilizando dados temporais de linha de costa; entre outros.

Segundo GONÇALVES (2010), o monitoramento da linha de costa se beneficia do posicionamento global (GNSS - *Global Navigation Satellite Systems*) através de levantamentos geodésicos usando o sistema americano GPS (*Global Positioning System*); o sistema russo GLONASS (*GLOBAL NAVIGATION Satellite System*); e em breve o sistema europeu Galileo e o sistema chinês *Beidou* (ou *Compass*). Outras técnicas que são utilizadas para o mapeamento da linha de costa são as relacionadas ao Sensoriamento Remoto, e entre as mais utilizadas encontram-se: imagens de satélites, fotografias aéreas (aerofotogrametria) e dados (levantamentos), LIDAR (*Light Detection and Ranging*), que tem um sistema de varredura a laser, aerotransportado ou terrestre, de medição da superfície da terra que tem como princípio a emissão e recepção de raios laser, mais detalhes em BOYD e FOODY (2011). Detalhes desses métodos são definidos e discutidos, por exemplo, em BOAK e TURNER (2005).

O uso do sensoriamento remoto torna-se fundamental para obtenção de dados temporais atuando como uma ferramenta poderosa para identificação dos problemas causados pelo não planejamento adequado do espaço físico destinado para urbanização, (LI *et al.*, 2011), além de realizar análises de padrões, tendências e interações sobre as áreas costeiras.

Segundo PRADO e GALO (2009, 2010) técnicas tradicionais de classificação de imagens multiespectrais têm sido a ferramenta usual para o mapeamento temático da cobertura da terra. Tais técnicas foram projetadas para tratar fenômenos que apresentam limites bem definidos e que podem ser facilmente discretizados. Contudo, existem regiões de incertezas e imprecisões a serem mapeadas, as quais demandam técnicas alternativas, como classificações baseadas em abordagem *fuzzy* que tem se mostrado mais adequada que as abordagens convencionais. As classificações *fuzzy* fornecem informações relacionadas com a incerteza na atribuição dos *pixels* às classes, que podem ser úteis e tornar os mapas temáticos gerados mais confiáveis.

O cenário das áreas costeiras no passado era composto apenas por vegetação e oceano, contendo poucas feições identificáveis para serem utilizadas como controle fotogramétrico. Porém, destaca-se que a qualidade métrica obtida por fotografias aéreas é importante e, muitas vezes, são os únicos dados disponíveis para formar um conjunto de informações temporais em zonas costeiras, (GONÇALVES, 2010).

### 3.1 Vulnerabilidade

Segundo MAZZER *et al.* (2008), a vulnerabilidade costeira à erosão está associada a diversos processos morfodinâmicos. Uma ampla gama de métodos é utilizada para analisar os seus níveis, em geral utilizando parâmetros geomorfológicos, taxas de variação da linha de costa, variações do nível do mar, altura de ondas etc.

Atualmente através de dados qualitativos e quantitativos vem se desenvolvendo novos métodos para análise da vulnerabilidade costeira. Aos dados são atribuídos pesos proporcionais à influência da vulnerabilidade sendo utilizado como ferramenta de análise e compartimentação da linha de costa em células costeiras e modelagem espacial em sistema de informação geográfica, tendo como resultado mapas temáticos temporais da vulnerabilidade ao longo da linha de costa, como pode ser visto em MAZZER *et al.* (2008), MALLMANN e ARAÚJO (2010) e RAPOSEIRO e FERREIRA (2010).

MAZZER *et al.* (2008), para produzir respostas em relação a vulnerabilidade baseou-se em dois principais pressupostos: as células costeiras são unidades homogêneas de balanço sedimentar e os processos costeiros que atuam na linha de costa em diversas escalas temporais. MALLMANN e ARAÚJO (2010) utilizaram dados qualitativos e quantitativos codificados em pesos proporcionais à sua influência sobre um Índice de Vulnerabilidade Global (IVG) calculado a partir de cinco Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs), relacionados: à morfologia costeira, à presença de atributos naturais, à influência marinha, aos processos costeiros e a fatores antrópicos. RAPOSEIRO e FERREIRA (2010) basearam-se em quatro etapas principais: divisão da área de estudo em subáreas com características semelhantes em termos de defesa costeira, determinação da probabilidade de ocorrência de cotas de inundações marítimas, estabelecimento de fatores qualitativos associados às consequências de ocorrência, a associação das três etapas iniciais para avaliar os riscos de inundação.

## 4 – Lógica Fuzzy

A lógica foi “fundada” por Aristóteles, que estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que conclusões pudessem ser aceitas como logicamente válidas. O emprego da lógica leva a uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões. A lógica binária é uma declaração falsa ou verdadeira, não podendo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa. A lógica *fuzzy* permite soluções aproximadas. Lotfi Asker Zadeh foi o pioneiro na criação da lógica *fuzzy* que combinou os conceitos da lógica clássica e os conjuntos de Lukasiewicz (graus de pertinência sendo: 0,  $\frac{1}{2}$  e 1, mais tarde expandiu um número infinito de valores entre 0 e 1). Os conceitos fundamentais de lógica *fuzzy* podem ser visto em ZADEH (1965).

Várias pesquisas têm utilizado a lógica *fuzzy* como ferramenta de estudo em cartografia, por exemplo: ANTUNES *et al.* (2003) explicitam a classificação de imagens digitais de alta resolução com base na orientação a objeto, considerando descritores de forma e textura através das regras fuzzy, em uma área teste na zona agrícola no município de Nova Esperança-PR, onde se propôs mapear a mata ciliar ao longo do Rio Porecatú; LAZZAROTTO *et al.* (2005) utilizaram os indicadores e sistema de inferência *fuzzy* como avaliação da qualidade de base cartográfica; KERSTING e CENTENO (2007)



fazem a categorização dos objetos por meio de classificador *fuzzy*, a partir da definição das funções de pertinência baseadas nos descritores de forma, textura e relação entre os objetos; XIMENES *et al.* (2008), verificam a eficácia do modelo da dinâmica do desmatamento na Amazônia através de uma simulação do índice de similaridade *fuzzy* elevado; FERNANDES *et al.* (2010) utilizam a lógica *fuzzy* e os sistemas de informações geográficas como apoio a decisão ao planejamento do uso do espaço, onde elaboraram um mapa de sugestão, onde o conjunto difuso é utilizado para analisar o resultado dos mapas, entre outras pesquisas.

O raciocínio *fuzzy* é formado por três etapas: a *fuzzificação*, a *inferência* e a *defuzzificação*.

- *Fuzzificação*: transformam-se as variáveis do problema em valores *fuzzy*, ou seja, valores numéricos em termos da linguagem natural.
- *Inferência*: é a etapa mais importante do raciocínio *fuzzy*, pois é através dela que é feita a tomada da decisão.
- *A defuzzificação*: transforma-se o resultado *fuzzy* em um resultado nítido, ou seja, ele transforma o dado nebuloso em dado quantitativo (consiste em retornar os valores, obter um valor numérico dentro da faixa estipulada pela lógica *fuzzy*).

## 5 – Metodologia

Através de dados de Sensoriamento Remoto são organizadas as informações cartográficas temporais resgatadas possibilitando criar um banco de dados geográfico para extrair informações do processo de mudança temporal antrópica, além de informação espacial da morfologia costeira ao longo da praia de Boa Viagem.

Para desenvolver uma modelagem para vulnerabilidade, pode-se escolher uma abordagem semi-quantitativa, na qual todos os atributos, qualitativos ou quantitativos, são codificados em variáveis linguísticas (1, 2 e 3) utilizando lógica *fuzzy* de acordo com seu grau de influência sobre a vulnerabilidade da costa à erosão. Todos os dados referentes a cada segmento podem ser organizados em matrizes para possibilitar a álgebra dos mapas.

Para este estudo ser desenvolvido pode-se utilizar como materiais:

- Ortofotos no formato *Tif* e Imagens orbitais de Satélites (*Quickbird* e *Geoeye*) que servem para representar as informações espaciais da morfologia costeira no processo de vetorização
- E o *software* ArcGIS 9.3 para a interpretação de feições cartográficas e elaboração de mapas temáticos da morfologia costeira.
- O *software* Matlab®: *Fuzzy Logic Toolbox*® será utilizado para fazer a modelagem da vulnerabilidade, onde a entrada *fuzzy* será baseada no espaço, possibilitando uma análise quantitativa, os dados onde são inseridos através da *Fuzzy Logic Toolbox*®.
- Utilização do *software* Excel®, para colocar os resultados.

A seguir na Tabela 2 são apresentados exemplos de classes possíveis de serem marcadas com as variáveis utilizadas, seus intervalos e variáveis linguísticas utilizadas que servem de dados de entrada para a modelagem *fuzzy*. Após a *fuzzificação* ocorrerá

à inferência onde é feito o cálculo dos índices, com seus intervalos e variáveis correspondentes; os dados nebulosos obtidos serão transformados em quantidades numéricas, quantidades estas que servirão para análise dos dados.

Tabela 2 – Classes utilizadas como dados de entrada e suas variáveis linguísticas correspondentes para utilização da Lógica *Fuzzy*.

Dados Espaciais ( $\phi$ , $\lambda$ , h)	Classes	Variáveis Linguísticas		
		1	2	3
	Características Morfológicas e antrópicas			
	Enrocamento	Presente	Adjacente	Ausente
	Benfeitorias de Lazer	Presente	Adjacente	Ausente
	Praia (estirâncio)	Ampla	Média	Estreita
	Vegetação (dunas frontais e coqueiros)	Alta	Média	Baixa
	Ante praia	Ampla	Média	Estreita
	Linha de costa	Estável	Moderada	Instável
	Urbanização (tipos de Construções)	Alta	Média	Baixa
	Erosão costeira	Ausente	Adjacente	Presente

## 6 – Considerações finais

A praia é um dos grandes pontos recreativos na cidade do Recife, mas encontra-se comprometida por conta da falta de espaço de areia para permanência quando a maré está alta. Através de uma análise temporal, considerando como referência a evolução do espaço onde é possível quantificar as classes selecionadas, obtém-se a modelagem da interface oceano continente.

O enrocamento, proteção feita com rochas, tem a missão de retirar a energia das ondas e proteger a área urbanizada gerando um grande problema que é mútuo, pois prejudica a dinâmica da praia e da maré. A contenção do mar, por conta do mau planejamento da cidade, se torna um problema, pois exige cuidados constantes.

Através da metodologia utilizada para identificar as mudanças ao longo do ambiente praial, destaca-se que a fonte de informação cartográfica servirá como ferramenta fundamental para as análises de informações espaciais e da modelagem, mas ainda existem muitas questões que precisam ser analisadas e respondidas no que se refere ao diagnóstico e temas ligados ao crescimento da urbanização costeira.

**Agradecimentos** – Os autores desejam agradecer o apoio financeiro da FACEPE/CNPq através do projeto de pesquisa PPP/APQ-1242-1.07/10 PPP e ao Laboratório de Cartografia Costeira – LACCOST pela disponibilização de equipamentos e espaço físico para pesquisa. Luciana, à bolsa de mestrado contemplada pela Capes.

## Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, H. R. R. C. (2008) - Séries temporais de imagens suborbitais e orbitais de alta resolução espacial na avaliação da morfodinâmica praial no município do Cabo de Santo Agostinho –PE. Dissertação de conclusão de curso, (Mestrado em Ciências Geodésicas) UFPE, 124p.
- ANTUNES, A. F. B., LINGNAU, C. & CENTENO, J. A. S. (2003) - Object Oriented Analysis and Semantic Network for high Resolution Image Classification. *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol.9, nº 2, p. 233-242.
- ARAÚJO, M. C. B., SOUZA, S. T., CHAGAS, A. C. O., BARBOSA, S. C. T. & COSTA, M. F. (2007) - Análise da Ocupação Urbana das Praias de Pernambuco, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*. 7(2), p. 97-104.
- BOAK, E. H. & TURNER, I. L. (2005) - Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*. 21(4), p. 688-703.
- BOYD, D. S. & FOODY, G. M. (2011) - An overview of recent remote sensing and GIS based research in ecological informatics. *Journal of Ecological Informatics*. 6, p. 25-36.
- COSTA, M. F., ARAÚJO, M. C. B., CAVALCANTI, J. S. S. & SOUZA, S. T. (2008) - Verticalização da Praia da Boa Viagem (Recife, Pernambuco) e suas Consequências Socioambientais. *Revista da Gestão Costeira Integrada*. 8(2), p. 233-245.
- DANIEL, H. (2001) - Replenishment versus retreat: the cost of maintaining Delaware's beaches. *Ocean & Coastal Management*. 44, p. 87-104.
- DOODY, J. P. (2001) - Shoreline management – conservation, management or restoration? *National Coastal Consultants*. p. 407-419.
- FERNANDES, E., BASTOS, L. C. & MELLO, R. (2010) - Apoio à decisão ao Planejamento do uso do espaço com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas e Lógica Difusa. *Revista Brasileira de Cartografia*, nº 62, p. 43-54.
- GONÇALVES, R. M. (2010) - Modelagem de tendência a curto-prazo da linha de costa através de dados geodésicos temporais utilizando regressão linear, estimativa robusta e redes neurais artificiais. Tese de conclusão de curso (Doutorado em Ciências Geodésicas), UFPR, 152p.
- IBGE (2010) - Mapa de distribuição da população 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em Internet: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas\\_doc1.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas_doc1.shtm) acessado em 13/07/2011.
- KERSTING, A. P. B. & CENTENO, J. A. S. (2007) - Object Oriented Transmission Line Corridors Classification using LIDAR Technology and a Non-Metric Digital Camera. *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol. 13, nº 2, p. 295-315.
- LAZZAROTTO, D. R., SLUTER, C. R. & DALMOLIN, Q. (2005) - Avaliação da qualidade de base Cartográfica por meio de indicadores e Sistema de Inferência *Fuzzy*. *Boletim de Ciências Geodésicas: Resumos*, vol.11, nº 2, p. 297-299.
- LGCEP (2010) - Lei de Gerenciamento Costeiro do Estado de Pernambuco. Lei Nº 14. 258, de 23 de dezembro de 2010.
- LI, C., YIN, J. & LIU, L. (2011) - Research Overview on Urban Land Use Change Based on Remote Sensing Images. *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 2, nº 1, p. 45-48.
- MALLMANN, D. L. B. (2008) - Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à erosão. Dissertação de conclusão de curso (Mestrado em Oceanografia), UFPE, 152 p.
- MALLMANN, D. L. B. & ARAÚJO, T. C. M. (2010) - Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à erosão. *Tropical Oceanography*, vol. 38, nº 2, p. 129-151.
- MANSO, V. A. V., COUTINHO, P. N., GUERRA, N. C. & JUNIOR, C. F. A. S. (2006) - Erosão e Progridação do Litoral Brasileiro: Pernambuco. Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM. Recife: Editorial da Universidade.

- MAZZER, A. M., DILLENBURG, S. R. & SOUZA, C. R. G. (2008) - Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil, 38(2), p.278-294.
- PRADO, F. A. & GALO, M. L. B. T. (2009) - Classificação de Imagens Multiespectrais Baseada em Abordagem *Fuzzy*. Revista Brasileira de Cartografia. nº 61/03, p.233-244.
- PRADO, F. A. & GALO, M. L. B. T. (2010) - Desenvolvimento de um Sistema Hierárquico de Classificação com Aplicação Baseada em Abordagem *Fuzzy*. Boletim de Ciências Geodésicas – Curitiba-PR, vol. 16, nº 2, p.309-331.
- RAPOSEIRO, P. D. & FERREIRA, J. C. R. (2010) - A análise da vulnerabilidade e do risco de inundação como ferramenta de apoio à gestão dos territórios litorais sob pressão urbana. Pluris: Planejamento urbano regional integrado e sustentável, p. 1-12.
- ROCHA, C. P., ARAÚJO, T. C. M. & MENDONÇA, F. J. B. (2008) - Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife-PE, Brasil. Revista da Gestão Costeira Integrada. 8(2), p. 127-137.
- SMITH, R. A. (1991) - Beach resorts: A model of development evolution. *Landscape and Urban Planning*, 21, p. 189-210.
- XIMENES, A. C., ALMEIDA, C. M. & AMARAL, S., ESCADA, M. I. S., AGUIAR, A. P. D. (2008) - Modelagem Dinâmica do desmatamento na Amazônia. Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 14, nº 3, p. 370-391.
- ZADEH, L. A. (1965) - Fuzzy Sets, Inform. and Control. 8, p. 338-353.

**AValiação DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE CHUMBO, CRÓMIO, MANGANÊS E NÍQUEL PELO SOLO EM ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DE ESTRUTURAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA (BELO HORIZONTE, MG – BRASIL)**

**EVALUATION OF THE ABILITY TO RETENTION OF LEAD, CHROMIUM, MANGANESE AND NICKEL IN THE SOIL OF THE AREA OF IMPLEMENTATION OF COMPENSATORY URBAN DRAINAGE STRUCTURES (BELO HORIZONTE, MG – BRAZIL)**

F. M. Belotti<sup>1</sup>, C. V. Oliveira<sup>2</sup> & L. Campos<sup>3</sup>

**Resumo** – O emprego de estruturas compensatórias de drenagem (trincheiras de infiltração, pavimento poroso, entre outras) tem sido apontado como uma alternativa na redução do volume e vazão das cheias urbanas, no aumento da infiltração e na recarga de águas subterrâneas. Entretanto, a infiltração de águas pluviais urbanas com elevado teor de poluentes no solo pode representar um risco de contaminação das águas subterrâneas em virtude da possibilidade de percolação dos mesmos pelo solo. Para avaliar os riscos de lixiviação de metais pesados em uma área de implantação de estruturas de infiltração em Belo Horizonte (Brasil) foram realizadas três amostragens de solo entre março de 2008 e abril de 2009. As amostras coletadas foram submetidas às análises de granulometria, Capacidade de Troca de Cátions, pH em H<sub>2</sub>O e em KCl, teor de matéria orgânica, teor de Argila Dispersa em Água, mineralogia da fração argila e teor total dos metais chumbo, crômio, manganês e níquel. Os resultados indicam que o solo da área apresenta capacidade para reter parte dos metais oriundos das águas de drenagem urbana; principalmente chumbo, crômio e manganês. Entretanto, outra parte desses metais (principalmente o níquel) pode ser lixiviada no solo, o que evidencia os riscos de contaminação das águas subterrâneas na área

---

<sup>1</sup> Dep. Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira, Minas Gerais, Brasil; fernandabelotti@unifei.edu.br

<sup>2</sup> Dep. Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil; crisval\_oliveira@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Dep. Geologia, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil; lauralfch@gmail.com

de implantação das estruturas de infiltração e a necessidade de realizar avaliações específicas sobre a capacidade de retenção de poluentes pelo solo antes da implantação das mesmas.

**Palavras-chave** – Drenagem urbana; Metais pesados; Estruturas de infiltração; Capacidade de adsorção do solo

*Abstract* – *The employment of structures to compensate for drainage (infiltration trenches, porous pavement, etc.) have been considered as an alternative to reduce the volume and flow of urban flooding, increased infiltration and groundwater recharge. However, the infiltration of urban stormwater with high levels of pollutants in soil may pose a risk of groundwater contamination due to the possibility of percolation of those pollutants by the soil. To evaluate the risks of leaching of heavy metals in an area of implementation of infiltration structures in Belo Horizonte-Brazil three soil samples were collected between March 2008 and April 2009. The samples were analyzed for particle size, Cation Exchange Capacity (CEC), pH in H<sub>2</sub>O and in KCl, organic matter content, content of Clay Dispersed in Water (CDW), clay mineralogy and total content of metals lead, chromium, manganese and nickel. The results indicate that the soil of the area has the capacity to retain some of the metals from the waters of urban drainage mainly lead, chromium and manganese. However, another part of these metals (especially nickel) can be leached into the soil, which demonstrates the risks of contamination of groundwater in the area of implantation of infiltration structures and the need for specific assessments on the retention capacity of pollutants by soil prior to implantation thereof.*

*Keywords* – *Urban drainage; Heavy metals; Structures of infiltration; Adsorption capacity of the soil*

## 1 – Introdução

As questões relacionadas com a drenagem das águas pluviais em áreas urbanas têm adquirido cada vez mais importância, principalmente tendo em vista o aumento do escoamento superficial decorrente da urbanização e a conseqüente ocorrência de enchentes, responsáveis por uma série de impactos sociais, econômicos e ambientais, cada vez mais significativos (ARAÚJO *et al.*, 2000; TUCCI, 2007).

A frequência de enchentes nas grandes cidades torna urgente a definição e o emprego de um manejo adequado e gestão eficaz das águas pluviais urbanas, buscando formas alternativas de drenagem destas águas, na tentativa de diminuir a magnitude de seu fluxo e reduzir as cheias urbanas (UNESCO, WMO & IAEA, 2006; TUCCI, 2000).

Nesse sentido, o emprego de estruturas alternativas ou compensatórias de drenagem (trincheiras de infiltração, pavimento poroso, reservatórios de detenção, dentre outras) apresenta-se como um importante instrumento de controle do escoamento superficial, uma vez que tais estruturas buscam reter e infiltrar parcela da água da chuva, o que reduz os volumes escoados e as vazões máximas de cheias, diminuindo os riscos de inundação e favorecendo a recarga de água subsuperficial (ARAÚJO *et al.*, 2000).

Entretanto, como as águas de drenagem urbana podem conter significativa quantidade de poluentes ambientais, especialmente metais pesados, há a necessidade de investigar a capacidade de retenção do solo na área de implantação das estruturas compensatórias como

forma de garantir a adsorção dos metais adicionados e o uso adequado da capacidade natural de filtração dos solos (PITT *et al.*, 1994), buscando reduzir os riscos de contaminação das águas subterrâneas e superficiais pela lixiviação de metais na área de implantação destas estruturas.

O objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade de retenção de chumbo, crômio, manganês e níquel pelo solo em uma área de instalação de estruturas de infiltração para águas pluviais urbanas em Belo Horizonte, MG - Brasil, e os riscos de contaminação de águas subterrâneas associados à infiltração de águas de drenagem urbana no solo; bem como indicar quais características físicas, químicas e mineralógicas dos solos que mais influenciam na retenção dos metais selecionados, o que pode servir de subsídio para a escolha de locais de implantação para estruturas compensatórias de drenagem.

## 2 – Metodologia

### 2.1 – Implantação das estruturas de infiltração

O trabalho foi realizado em uma área de implantação de estruturas de infiltração – uma trincheira de infiltração e uma vala de detenção - para águas pluviais urbanas em Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, Brasil, como estudo piloto para testar novas formas de gerenciamento das águas pluviais urbanas no município, dentro do contexto do Projeto SWITCH – *Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health* (IHE/UNESCO).

O experimento é composto por uma trincheira de infiltração com 20 m de comprimento, 1 m de largura, 1,50 m de altura (profundidade) média, recoberta por manta geotêxtil e preenchida por brita; e uma vala de detenção de 12 m de comprimento, 3 m de largura de topo, 1,5 m de altura (profundidade) e 45° de declividade dos taludes, recoberta por gramíneas. O experimento foi instalado em área com declividade de 4,5%; condutividade hidráulica média do solo de  $k = 5,21 \times 10^{-5}$  m/s e profundidade do N. A. (Nível d'Água) maior que 4 metros e as estruturas (trincheira de infiltração e vala de detenção) entraram em funcionamento em maio de 2008.

A área do experimento recebe escoamentos superficiais provenientes da Av. Presidente Carlos Luz, via que liga a área central de Belo Horizonte à região Norte da cidade. A área de contribuição aos dispositivos experimentais, com 3.880 m<sup>2</sup>, corresponde às três pistas da avenida, incluindo calçadas e passeio. O escoamento gerado nessa área é drenado por sarjetas até uma boca de lobo, onde é coletado e conduzido até a área do experimento. O volume de escoamento superficial coletado depende da eficiência de captação da boca de lobo, que varia com a vazão afluyente, podendo atingir 50 l/s. Uma caixa de passagem permite a divisão dos escoamentos afluentes em duas partes, de forma a alimentar, simultaneamente, a trincheira de infiltração e a vala de detenção. As vazões afluentes são monitoradas por meio de calhas *Parshall* implantadas no circuito de alimentação de cada dispositivo.

### 2.2 – Amostragem e análises de solo

Para a realização do monitoramento de retenção de metais pesados foram realizadas três amostragens de solo na área: uma amostragem em março de 2008 (realizada

antes do funcionamento das estruturas), utilizada para a caracterização física, química e mineralógica do solo da área estudada; uma amostragem em janeiro de 2009 (metade do período chuvoso na área) e uma amostragem em abril de 2009 (fim do período chuvoso).

Foram coletadas amostras na trincheira de infiltração e na vala de detenção em três profundidades: 0 – 10 cm; 50 – 60 cm e 1,00 – 1,10 m; totalizando seis amostras que foram submetidas a análises físicas, químicas e mineralógicas para definição de sua granulometria, teor de Argila Dispersa em Água (ADA), teor de matéria orgânica, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), pH em H<sub>2</sub>O e pH em KCl, mineralogia da fração argila e teor total dos metais (Pb, Cr, Mn e Ni).

As análises de granulometria, pH em H<sub>2</sub>O e em KCl, CTC e ADA foram realizadas de acordo com EMBRAPA (1997). A análise do teor de matéria orgânica de acordo com o método *Walkley-Black* (DEFELIPO & RIBEIRO, 1997). A mineralogia da fração argila por difratometria de raios-X (pelo método do pó) e o teor de metais pesados por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy*) de acordo com o método USEPA 3050B.

Os metais a serem analisados foram escolhidos com base em revisão bibliográfica sobre qualidade da água de drenagem urbana em áreas de intenso tráfego de veículos (característica da área de localização das estruturas), que apontou os metais chumbo, cromo, níquel e manganês como os parâmetros mais recorrentes na literatura.

### 3 – Resultados e discussão

O solo da área de estudo foi classificado como Cambissolo com textura predominantemente arenosa, elevada variação nos teores de Argila Dispersa em Água (ADA) nos pontos amostrados, mineralogia da fração argila composta por caulinite, gibbsite e goetite, baixa Capacidade de Troca de Cátions (CTC), baixo teor de matéria orgânica e predomínio de cargas negativas (pH do solo acima do Ponto de Carga Zero - PCZ) (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Características físicas e mineralógicas do solo da área de estudo

AMOSTRA (cm)	Análise textural (g/kg)			ADA (g/kg) (inicial/final)	Mineralogia da fração argila
	areia	silte	argila		
Trincheira					
0-10	509	154	337	007/102	caulinite>gibbsite> goetite
50-60	433	183	384	002/046	caulinite>gibbsite> goetite
100-110	432	164	404	000/002	caulinite>gibbsite> goetite
Vala					
0-10	495	195	310	252/188	caulinite>gibbsite> goetite
50-60	374	285	341	001/002	caulinite>gibbsite> goetite
100-110	421	405	174	004/001	caulinite>gibbsite> goetite

ADA = Argila Dispersa em Água (inicial = início do monitoramento, final = fim do monitoramento).



Tabela 2 – Características químicas do solo da área de estudo.

AMOSTRA (cm)		pH em H <sub>2</sub> O	pH em KCl	ΔpH	PCZ	M.O. (g/kg)	CTC	CTC efetiva
Trincheira								
0-10	inicial	5,3	4,5	-0,8	3,7	17	2,59	1,18
	final	7,6	6,7	-0,9	5,8	19	-	-
50-60	inicial	5,4	4,5	-0,9	3,6	18	2,40	1,04
	final	7,5	6,8	-0,7	6,1	14	-	-
100-110	inicial	5,4	4,5	-0,9	3,6	18	2,37	0,66
	final	7,4	6,6	-0,8	5,8	15	-	-
Vala								
0-10	inicial	7,8	7,0	-0,8	6,2	19	4,46	3,74
	final	8,2	7,9	-0,3	7,6	20	-	-
50-60	inicial	6,5	5,8	-0,7	5,1	16	3,65	2,54
	final	7,7	6,8	-0,9	5,9	05	-	-
100-110	inicial	6,3	5,5	-0,8	4,7	09	3,13	2,31
	final	7,4	6,6	-0,8	5,8	07	-	-

CTC e CTC efetiva em cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>.

Os teores de metais retidos no solo durante o monitoramento na área de implantação das estruturas de infiltração são apresentados na tabela 3.

Os dados do monitoramento indicam que o solo da área apresenta capacidade de retenção dos metais estudados, principalmente chumbo, cromo e manganês, elementos que apresentaram maiores teores no solo na amostragem realizada na metade do período chuvoso em comparação com os teores existentes no solo no início de funcionamento das estruturas (Tabela 3). Entretanto, dados da amostragem realizada no final do período chuvoso revelam teores de metais menores que aqueles encontrados na amostragem anterior, indicando que parte dos metais adsorvidos durante a primeira metade do período chuvoso foi lixiviada no solo pelas chuvas ocorridas no restante do período (Tabela 3).

Tabela 3 – Teores de metais no solo durante o monitoramento de retenção.

METAL		Amostragens na trincheira (mg/kg)			Amostragens na vala (mg/kg)		
		1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
Chumbo	0-10	5,86	7,95	8,04	4,98	8,46	10,62
	50-60	6,25	8,02	8,00	4,12	7,52	7,48
	100-110	6,26	7,36	6,89	7,37	8,88	7,79
Cromo	0-10	11,35	9,67	6,59	9,05	15,00	22,28
	50-60	11,43	20,72	6,63	8,69	9,81	6,06
	100-110	17,54	11,79	8,71	7,41	11,11	6,39

Manganês	0-10	16,36	19,94	12,01	18,19	176,32	247,56
	50-60	16,70	23,18	11,97	7,15	33,14	11,30
	100-110	12,19	26,55	14,32	13,39	17,66	15,27
Níquel	0-10	1,34	1,99	0,71	2,18	3,86	3,73
	50-60	1,40	2,25	0,71	1,04	2,07	0,67
	100-110	1,46	2,70	0,94	0,84	1,84	0,83

1ª amostragem – março de 2008 (implantação das estruturas), 2ª amostragem – janeiro de 2009 (metade do período chuvoso na área), 3ª amostragem – abril de 2009 (final do período chuvoso na área).

O chumbo foi o metal mais fortemente adsorvido pelo solo, com retenção também na 3ª amostragem. O metal foi retido em todos os pontos amostrados na 2ª amostragem, e apresentou aumento dos seus teores no solo ou apenas uma ligeira redução na amostragem realizada no final do período chuvoso. A capacidade de retenção do chumbo pelo solo da área pode ser explicada pela elevada afinidade deste elemento com óxidos de ferro, formando ligações mais estáveis, o que reduz a sua mobilidade e lixiviação no perfil do solo (ARAÚJO *et al.*, 2002).

A semelhança nas taxas de adsorção em todos os pontos amostrados pode também ser correlacionada com o papel dos óxidos de ferro na retenção de chumbo, uma vez que o tipo e o teor de óxidos são basicamente o mesmo em todos os pontos amostrados.

Destacam-se os pontos 0-10 cm e 50-60 cm na trincheira e o ponto 50-60 cm na vala em virtude da manutenção de praticamente o mesmo teor do metal da metade ao final do período chuvoso, o que pode indicar a saturação do solo nestes pontos, onde não é mais possível a retenção de metais.

O aumento do pH durante o monitoramento também pode ter contribuído para a adsorção de chumbo, devido à diminuição da concentração de  $H^+$  e ao aumento das cargas negativas devido à desprotonação de grupos  $OH^-$ . Com o aumento do pH, a concentração de íons hidrogênio diminuiu, possibilitando um aumento da adsorção de cátions metálicos (PIERANGELI *et al.*, 2001).

O crómio não apresentou comportamento homogêneo nos diversos pontos estudados, manifestando-se de três maneiras: i) redução dos teores do início ao fim do monitoramento nos pontos T1 (trincheira 0-10 cm) e T3 (trincheira 50-60 cm); ii) aumento dos teores da 1ª para a 2ª amostragem nos demais pontos estudados e iii) redução dos valores da 2ª para a 3ª amostragem, exceto no ponto V1 (vala 0-10 cm). Destaca-se o aumento significativo dos teores da 1ª amostragem (11,43 mg/kg) para a 2ª amostragem (20,72 mg/kg) na trincheira à profundidade 50-60 cm, acompanhado de redução significativa da 2ª (20,72 mg/kg) para a 3ª amostragem (6,63 mg/kg).

O comportamento do crómio na área apresenta-se em desacordo com a literatura, que diz que este metal, assim como o chumbo, possui a tendência de se ligar mais fortemente aos solos, através de mecanismos de adsorção interna, ou seja, ligações fortes que limitam a sua dessorção e liberação para a solução do solo (ARAÚJO *et al.*, 2002), sendo normalmente, pouco móvel nos solos.

Os resultados da 3ª amostragem (final do período chuvoso) indicam que a água que se infiltra nas estruturas não só lixiviou o crômio que foi retido no solo durante a primeira metade do período chuvoso, como também lixiviou parte do crômio já existente no solo quando da implantação do experimento. Provavelmente, esse efeito pode ser atribuído à retenção do metal em frações mais móveis, ligado a sítios não-específicos, cedendo lugar a elementos com maior afinidade pela matriz do solo ou a sua ligação à fração argila dispersa do solo, que apresenta valores elevados em diversos pontos de amostragem, o que pode ter contribuído para o transporte de crômio através da movimentação da argila.

O aumento do pH da 1ª para a 3ª amostragem pode ter favorecido a complexação do crômio pela matéria orgânica dissolvida, uma vez que o pH elevado favorece a complexação crescente de alguns cátions por ligantes dissolvidos, o que aumenta a mobilidade do metal (GUILHERME *et al.*, 2005; KLITZKE *et al.*, 2008).

A elevada retenção de crômio na vala à profundidade de 0-10 cm pode provavelmente ser explicada pelo efeito de sedimentação dos sólidos suspensos dissolvidos das águas de drenagem urbana, comportamento observado para os demais metais estudados.

O manganês apresentou elevadas taxas de retenção do início do monitoramento até a metade do período chuvoso, com maiores valores na vala à profundidade de 0-10 cm. Entretanto, houve redução dos seus teores no solo da 2ª (metade do período chuvoso) para a 3ª amostragem (final do período chuvoso), exceto no ponto 0-10 cm na vala, no qual houve aumento no teor retido.

O comportamento do manganês parece estar diretamente relacionado ao teor de matéria orgânica. O registro de maior retenção foi na vala à profundidade de 0-10 cm, apresentando este ponto, elevação significativa do teor de matéria orgânica do início ao fim do monitoramento. Na vala à profundidade de 50-60 cm, a redução dos teores de matéria orgânica de 1,6 para 0,5% durante o monitoramento pode justificar os teores lixiviados que foram os maiores dentre os pontos amostrados.

O níquel apresentou retenção da 1ª para a 2ª amostragem e significativa redução nos seus valores (em média redução de 50% no teor da 2ª para a 3ª amostragem, exceto para a vala à profundidade de 0-10 cm), sendo que em quatro dos nove pontos amostrados (nas três amostras coletadas na trincheira e na amostra de 50-60 cm coletada na vala), os teores na 3ª amostragem foram menores que aqueles existentes no solo antes do início do monitoramento. Os reduzidos valores de retenção e a significativa perda de níquel da metade para o final do período chuvoso evidenciam o reduzido poder de competição deste elemento em relação aos demais e concorda com KRETZSCHMAR & VOEGELIN (2001) e ZEHETNER & WENZEL (2000), segundo os quais a retenção de níquel em solos é bastante reduzida quando este compete com outros metais.

A reduzida retenção pode ser explicada pelo menor poder de competição do níquel com outros metais pelos sítios de adsorção do solo; enquanto que as elevadas taxas de lixiviação podem ser atribuídas aos aportes de água pluvial nos meses de intervalo entre as amostragens, com novas entradas de metais no solo, capazes de deslocar o níquel adsorvido anteriormente.

Outro fator que afeta as taxas de retenção é o elevado teor de  $\text{Ca}^{++}$  no solo. De acordo com ZEHETNER & WENZEL (2000), a adsorção de níquel pelo solo é drasticamente reduzida e o transporte através dos solos é significativamente aumentado na presença de cálcio; efeitos atribuídos à competição entre cálcio e níquel nas regiões trocáveis na superfície do solo.

De forma geral, cinco características do solo podem ser utilizadas para explicar as taxas de adsorção e lixiviação dos metais na área:

170

- i) a reduzida Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e o reduzido teor de matéria orgânica, que limitam a adsorção dos metais com afinidades para esses sítios, sejam eles o níquel ou o manganês;
- ii) o elevado teor de Argila Dispersa em Água (ADA) em alguns pontos amostrados, o que pode contribuir para a lixiviação de metais adsorvidos nas argilas;
- iii) o aumento do pH durante o monitoramento, que pode contribuir negativamente na retenção de manganês em razão da afinidade deste elemento pela matéria orgânica solúvel, que tem a sua solubilidade aumentada com o aumento do pH do solo. Por outro lado, o aumento do pH favorece a adsorção de chumbo, porque aumenta a adsorção de cátions pelos óxidos de ferro (GUILHERME *et al.*, 2005) e aumenta a CTC do solo, favorecendo a retenção de metais nos sítios de troca de cátions;
- iv) o elevado teor de  $\text{Ca}^{++}$  na área de estudo limita a adsorção de metais nos sítios de troca catiônica. Os cátions metálicos competem com  $\text{Ca}^{++}$ , que tem preferência pelos sítios de troca de cátions nos solos. Entretanto, a retenção do chumbo, diferente dos outros cátions metálicos, não é afetada pelos teores de  $\text{Ca}^{++}$  do solo (RIBEIRO-FILHO *et al.*, 2001);
- v) a presença de óxidos de ferro e alumínio no solo, que contribuem para a retenção e manutenção de metais com afinidade por estes óxidos, principalmente o chumbo, fazendo com que ele seja o elemento menos lixiviado na área de implantação das estruturas.

Dentre os pontos amostrados, destaca-se o comportamento diferenciado do ponto vala 0-10 cm, que apresentou elevados teores de retenção para todos os elementos estudados, o que pode, provavelmente, ser explicado pelo efeito de sedimentação de partículas no fundo da vala de detenção. Grande parte dos metais depositados nas ruas no período seco associam-se às partículas finas, sendo posteriormente carregados pela enxurrada na fração de sólidos suspensos (HOFFMAN *et al.*, 2002). Como a vala exerce o papel de decantação, comum em estruturas de detenção, pode haver a sedimentação das partículas finas, enquanto que a água se infiltra no solo. O material em suspensão é retido por filtração/sedimentação (precipitação), enquanto que o material dissolvido pode ser adsorvido no solo.

O efeito de sedimentação de partículas que ocorre na vala não é verificado na trincheira, devido ao recobrimento desta estrutura com uma manta geotêxtil, o que faz com que os metais da fração sólidos suspensos advindos na água de escoamento fiquem retidos nesta manta.

Dentre os fatores que afetaram o comportamento dos metais no solo, a competição entre eles também tem efeito importante, tendo em vista a presença de diversos metais nas águas pluviais urbanas.

No estudo de adsorção competitiva com Cr, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb, (FONTES & GOMES, 2003) constataram que quase todos os metais foram adsorvidos pelo solo em concentrações mais baixas, ocupando uma percentagem proporcional relativa à sua concentração molar na solução. Contudo, quando a concentração aumentou, alguns

competidores mais fortes, como o Cr, Cu e Pb mantiveram a sua forte afinidade com a superfície adsorvedora, enquanto outros competidores mais fracos, como Ni, Zn e Cd, foram deslocados, reduzindo, portanto, as suas quantidades adsorvidas.

#### 4 – Conclusões

A análise e interpretação dos dados permite concluir que o solo da área de estudo possui capacidade para reter parte dos metais existentes nas águas de drenagem urbana que infiltram nas estruturas. Entretanto, outra parte desses metais é lixiviada ao longo do perfil do solo, o que representa um risco efetivo de contaminação das águas subterâneas pela infiltração de águas de drenagem urbana nas estruturas de compensação em Belo Horizonte-Brasil.

O aporte constante de metais através da infiltração de águas pluviais na área pode fazer com que os sítios de adsorção do solo se tornem saturados, deixando parte dos metais presentes nas águas pluviais disponíveis em solução e passíveis de serem carreados no perfil do solo.

Os resultados evidenciam a importância e a necessidade de incorporar a capacidade de retenção de poluentes pelo solo como mais um critério a ser avaliado na escolha de áreas para a implantação de estruturas de infiltração para águas pluviais urbanas. De maneira geral, solos com elevado teor de Argila Dispersa em Água (ADA), baixo teor de matéria orgânica, baixa Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e baixo teor de óxidos de ferro e alumínio não devem ser utilizados para implantação dessas estruturas.

**Agradecimentos** - Ao Projeto *Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health* – *SWITCH* (Institute for Water Education – IHE/UNESCO), pelo custeio parcial das análises de solo e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pela concessão de bolsa de estudo à primeira autora.

#### Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M. & GOLDENFUN, J. A. (2000) - Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução do Escoamento Superficial. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, 3, p. 21-29.
- ARAÚJO, W. S., AMARAL SOBRINHO, N. M. B., MAZUR, N. & GOMES, P. C. (2002) - Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solos do Brasil. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 26, p. 17-27.
- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. (1997) - Análise química do solo. Boletim de extensão, 29UFV, 26 p.
- EMBRAPA (1997) - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Manual de Métodos de Análise de Solo, 212 p.
- FONTES, M. P. F. & GOMES, P. C. (2003) - Simultaneous competitive adsorption of heavy metals by the mineral matrix of tropical soils. *Appl. Geochem.*, 18, p. 795-804.
- GUILHERME, L. R. G., MARQUES, J. J., PIERANGELI, M. A. P., ZULIANI, D. Q., CAMPOS, M. L. & MARCH, G. (2005) - Elementos-traço em Solos e Sistemas Aquáticos. *Tópicos Ci. Solo*, 4, p. 345-390.
- HOFFMAN, D., RATTNER, B., BURTON Jr. G. A. & CAIRNS Jr. J. (2002) - Handbook of ecotoxicology. In: Hoffman, D., Rattner, B., Burton, Jr., G. & Cairns Jr., J. (eds.). HCRC-Lewis, Boca Raton, 1290p.

- KLITZKE, S., LANG, F. & KAUPENJOHANN, M. (2008) - Increasing pH releases colloidal lead in a highly contaminated forest soil. *Eur. J. Soil Sci.*, p. 265-273.
- KRETZSCHMAR, R. & VOEGELIN, A. (2001) - Modeling Competitive Sorption and Release of Heavy Metals in Soils. In: SELIM, H. M; SPARKS, D. L. (eds.). *Heavy Metals Release in Soils*. CRC Press, Boca Raton, p. 55-88.
- PIERANGELI, M. A. P., GUILHERME, L. R. G., CURI, N., SILVA, M. L. N., OLIVEIRA, L. R. & LIMA, J. M. (2001) - Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em Latossolos Brasileiros. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 25, p. 279-288.
- PITT, R., CLARK, S. & PARMER, K. (1994) - Potential Groundwater Contamination from Intentional and Nonintentional Stormwater Infiltration. EPA (Environmental Protection Agency), p. 1-7.
- RIBEIRO-FILHO, M. R., SIQUEIRA, J. O., CURI, N. & SIMÃO, J. B. P. (2001) - Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 25, p. 495-507.
- TUCCI, C. E. M. (2000) - Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. *Rev. Bras. Rec. Hídricas*, 1, p. 61-68.
- TUCCI, C. E. M. (2007) - Impactos da urbanização. In: Tucci, C. E. M. *Inundações urbanas*. ABRH, Porto Alegre, p. 104-121.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATIONS & INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. (2006) - The 2<sup>nd</sup> UN World Water Development Report: "Water, a shared responsibility". [http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/table\\_contents.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/table_contents.shtml) (consultado em 2009. 08.12).
- ZEHETNER, F. & WENZEL, W. W. (2000) - Nickel and copper sorption in acid forest soils. *Soil Science*, 165, p. 463-472.

## DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO SÃO PAULO, CANDEIAS, BAHIA, BRASIL

### DETERMINATION OF WATER QUALITY INDEX OF SAO PAULO RIVER, CANDEIAS, BAHIA, BRAZIL

A. B. S. Ramos Junior<sup>1</sup>, M. J. M. Cruz<sup>2</sup>, R. A. Santos<sup>1</sup> & M. V. P. Gonçalves<sup>1</sup>

**Resumo** – Os impactos ambientais gerados por efluentes nos cursos d'água têm crescido de maneira alarmante, especialmente em grandes centros urbanos, isso em função da deficiência da rede de esgoto sanitário e baixa conscientização da população em relação à conservação dos corpos hídricos. A necessidade de um maior conhecimento e controle da variabilidade temporal e espacial desse tipo de impacto levou ao desenvolvimento de índices de qualidade das águas (IQA) que é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice e reflete a interferência de substâncias orgânicas, nutrientes, sólidos e microbiológicos na qualidade das águas para consumo humano. Visto que a região do rio São Paulo-BA é vulnerável às contaminações domésticas e industriais, o presente trabalho objetiva determinar o Índice de Qualidade das Águas, estabelecendo a variabilidade espacial da qualidade, a fim de possibilitar uma melhor integração e interpretação dos dados. A coleta foi realizada em um período caracterizado por chuvas esparsas em dez pontos, na superfície e ao longo do Rio São Paulo onde foram determinados parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os valores de IQA determinados nos dez pontos amostrados revelam que as águas do Rio São Paulo estão classificadas de regular a boa e o IQA foi satisfatório para uma avaliação hidrogeoquímica do rio São Paulo, porém expressa de uma forma simplificada uma condição momentânea. Entretanto, O IQA pode ser utilizado para implementação de políticas de gerenciamentos dos Recursos Hídricos se for estabelecido um sistema de monitoramento.

**Palavras-chave** – Índice de Qualidade de Água, Rio São Paulo, Hidrogeoquímica.

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil: bomfilhojr@yahoo.com.br, rodrigo.santos@ufba.br, zoovitor81@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Dep. de Geoquímica, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil: jeronimo@ufba.br

**Abstract** – *The environmental impacts caused by effluents in rivers have increased alarmingly, especially in large urban centers, that the disability of the sewage network, and low public awareness regarding the conservation of water bodies. The need for greater knowledge and control of temporal and spatial variability of this type of impact, led to the development of water quality index (IQA) that is calculated by weighted multiplicand of the water qualities corresponding to the variables that comprise the index and reflects the interference from organic substances, nutrients, solids and microbiological quality of drinking water. Since the region of São Paulo river, Bahia is vulnerable to domestic and industrial contamination, this study aims to determine the water quality index, establishing the spatial variability of quality in order to enable better integration and interpretation of data. The data were collected in a period characterized by frequent showers, in ten points on the surface and along the São Paulo river, where certain physical, chemical and biological parameters were determined. The IQA values determined in ten sample locations shows that the waters of the São Paulo river are classified from regular to good, being the IQA suitable for an hydrogeochemical evaluation, but expressed in a simplified form a momentary condition. However, the AQI can be used for implementation of policies for managing water resources if a monitoring system is established.*

**Keywords** – *Water quality index (IQA), River São Paulo, Hydrogeochemistry.*

## 1 – Introdução

As atividades antrópicas lançam diversos poluentes industriais na região, dos quais podemos destacar a presença de metais pesados, elementos de alta densidade com potenciais riscos ao meio ambiente e muitos deles venenosos a espécie humana (PEKEI et al., 2004).

Os impactos ambientais gerados por efluentes nos cursos d'água têm crescido de maneira alarmante, especialmente em grandes centros urbanos, isso em função da deficiência da rede de esgoto sanitário e baixa conscientização da população em relação à conservação dos corpos hídricos (CETESB, 2003).

Os efeitos combinados da urbanização e das demais atividades antropogênicas associadas ao rápido crescimento populacional das últimas décadas são facilmente visualizados nos ecossistemas (THORNE & WILLIAMS 1997; POMPEU et al., 2005). Muitos rios, lagos e reservatórios têm sido prejudicados como consequência do aumento de atividades humanas. Sendo assim, o planejamento e gestão dos recursos hídricos dependem de informações confiáveis, tanto no que diz respeito à demanda como à oferta de água (BRAGA & TUCCI, 1999).

A necessidade de um maior conhecimento e controle da variabilidade temporal e espacial desse tipo de impacto levou ao desenvolvimento de índices de qualidade das águas (IQA). A idéia básica dos índices de qualidade é agrupar uma série de variáveis numa escala comum, combinando-as em um único número (ALMEIDA & SCHWARZBOLD, 2003) que possa ser empregado pelos órgãos governamentais competentes para gerenciar a qualidade das águas de uma bacia hidrográfica (SIMÕES et al., 2007).

A elaboração de um IQA deve considerar apenas variáveis ambientais críticas que afetam determinado recurso hídrico, em função do tipo de uso e ocupação do solo. O primeiro IQA utilizado foi desenvolvido pela “National Foundation Sanitation (NFS)”





### 3 – Material e métodos

176

Inicialmente foi feito um levantamento utilizando-se imagens de satélites e mapas topográficos.

A coleta foi realizada em um período caracterizado por chuvas esparsas (outubro/2011) em dez pontos, na superfície e ao longo do Rio São Paulo. Para tal coleta utilizou-se garrafas específicas para cada parâmetro a ser determinado, seguindo o APHA (2005).

Baseado nas características hidrográficas e hidrológicas (padrões de drenagem, vazão, fluxo, presença de afluente, etc...) estabeleceu-se os dez pontos de amostragens, sendo o ponto 01 localizado a montante, até onde foi possível navegar, e o ponto 10 localizado já na desembocadura do Rio São Paulo com a Baía do Todos os Santos, totalizando uma extensão de 6 km, e mantendo um intervalo de 600 m entre os pontos amostrais.

Foram determinados os seguintes parâmetros: Temperatura, Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo (P), Nitrato (NO<sub>3</sub>), pH, Sólidos Totais Dissolvido (STD) e Turbidez, alguns mensurados *in situ* com o auxílio de uma sonda multiparâmetro (Horiba) e outros determinados no laboratório, seguindo o APHA (2005).

Os nove parâmetros obtidos foram necessários para realização dos cálculos de IQA, através da fórmula;

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

onde: IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;  $q_i$ : qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,  $w_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

em que:

$n$ : número de variáveis que entram no cálculo do IQA. Porém, todos os cálculos foram desenvolvidos através do software IQADATA, versão 2010 (UNISC), levando em consideração os pesos e a classificação proposta pela CETESB.

As análises estatísticas foram realizadas através do software Multi-Variate Statistical Package, version 3.2, já as análises geoestatísticas foram desenvolvidas com a utilização do programa computacional ArcGIS 9.3.

### 4 – Resultados e discussão

Os valores de IQA determinados nos dez pontos amostrados revelam que as águas do Rio São Paulo estão classificadas de regular a boas, seguindo o quadro de classificação proposto pela CETESB.

Quadro 1 - Classificação do IQA.

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>
<b>ÓTIMA</b>	$79 < IQA \leq 100$
<b>BOA</b>	$51 < IQA \leq 79$
<b>REGULAR</b>	$36 < IQA \leq 51$
<b>RUIM</b>	$19 < IQA \leq 36$
<b>PÉSSIMA</b>	$IQA \leq 19$

Os valores de IQA determinados foram caracterizados pela integração dos nove parâmetros, sendo alguns mais representativos que outros e se assemelham com valores encontrados em outros trabalhos ao estudarem áreas similares (ANDRADE et al., 2005; KONIG, 2008; STOLFI & FIGUEIREDO, 2008; LOPES et al., 2008; PIASENTIN et al., 2009).

Foi possível verificar em cada ponto a representatividade dos parâmetros, sendo facilmente notável a influência desses parâmetros na determinação do Índice de Qualidade de Água. No qual podemos destacar os seguintes parâmetros como os mais representativos: Coliformes Termotolerantes, Turbidez e Oxigênio Dissolvido Saturado.

A análise de Cluster realizada pelo método de Ward classifica os parâmetros e os pontos de acordo com características peculiares entre si. Podendo desta forma, verificar se os parâmetros destacados como mais representativos, são os que realmente influenciam na determinação do IQA e distingui os diversos pontos por grupos.

O dendograma dos parâmetros pelo método Ward (Fig. 2) descreve três grupos diferentes: O grupo 1 caracterizado por inferior é representado pelos Coliformes Termotolerantes (COL), parâmetro considerado o mais representativo, agindo como principal agente na classificação do IQA, sendo possível notar que os pontos que possuem o maior número de COL, são os que apresentam menor IQA.

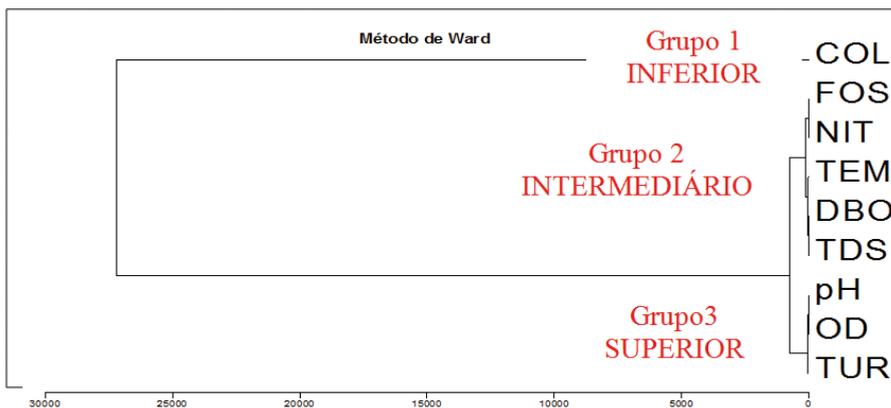


Fig. 2 - Dendograma dos parâmetros amostrados pelo método de Ward.

O grupo 2 definido como intermediário é representado por dois subgrupos: o primeiro composto pelo Fósforo (FOS) e Nitrato (NIT) e o segundo por Temperatura (TEM), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), mesclando o IQA na classificação regular e boa.

Entretanto, o grupo 3 caracterizado por superior é representado pelos parâmetros; Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD) e Turbidez (TUR), onde todos os pontos desse grupo apresentam maiores valores de IQA em relação aos outros grupos.

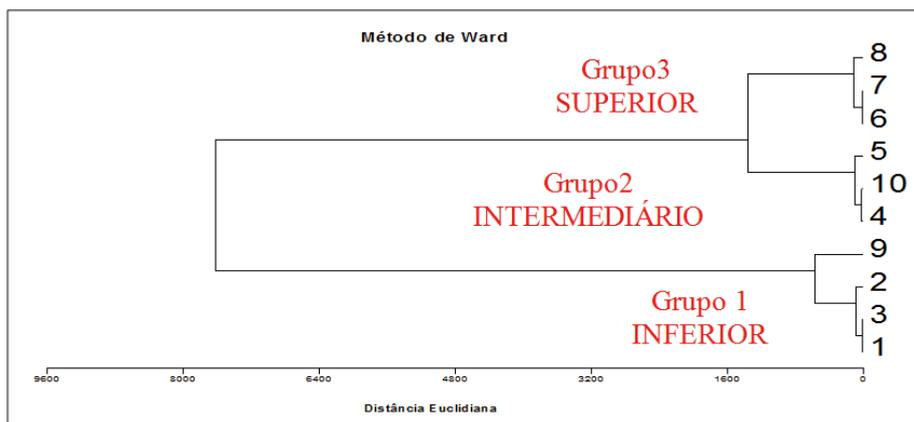


Fig. 3 - Dendrograma dos pontos amostrados pelo método de Ward.

O dendrograma dos pontos amostrados pelo método de Ward (Fig. 3) descreve três distintos grupos.

O grupo 1 caracterizado como inferior é composto pelos pontos 9, 2, 3 e 1, sendo todos os pontos enquadrados na classificação de IQA regular. Porém o ponto 9 apresenta características peculiares aos demais pontos, influenciando os demais grupos.

O grupo 2 caracterizado por intermediário, composto pelos pontos 5 e 4 tiveram valores de IQA classificados na faixa considerada regular e o ponto 10 enquadrado na classificação boa.

Já o grupo 3 caracterizado como superior engloba os pontos 6, 7 e 8, sendo todos os valores de IQA também enquadrados na categoria boa, entretanto, apresentam valores mais contundente em relação ao grupo 2.

O mapa de distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de salinidade, onde os pontos expressos em amarelo são de classificação regular e os pontos expressos em verde possuem classificação boa, tendo sua intensidade caracterizada pelo tamanho das bolas. É possível afirmar que a extensão do rio que sofre maior influencia da salinidade (mais próximo da desembocadura), apresentam boa classificação de IQA, com exceção do ponto 9 que recebe aporte de um pequeno afluente (margeado por uma comunidade) contribuindo diretamente para a redução da qualidade do meio.

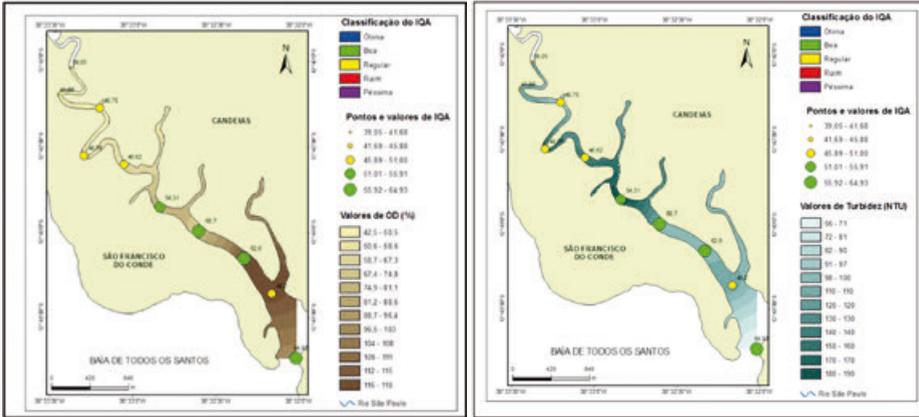


Fig. 4 e 5 - Mapa de distribuição dos pontos de IQA pela Krigagem dos valores de OD(%) e Turbidez (NTU), respectivamente.

O Oxigênio Dissolvido Saturado (Fig. 4) foi o segundo parâmetro mais representativo, corroborado pela análise no software IQA\DATA, e o mapa de distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de OD(%) demonstram que os pontos do rio São Paulo-Ba que apresentam maiores valores de IQA, estão dispostos em uma extensão que sofre maior influencia do OD(%) enquadrando na classificação boa. Vale ressaltar que o efluente já anteriormente elucidado, caracteriza o ponto 9, reduzindo a sua qualidade e enquadrando o seu IQA na classificação regular.

O mapa de distribuição dos pontos de IQA pela Krigagem dos valores de Turbidez (Fig. 5), no qual podemos descrever que os pontos de IQA regular são os que possuem maiores valores de turbidez e os pontos que apresentam menor turbidez possuem uma melhor qualidade, com exceção do ponto 9, que mesmo próximo a desembocadura do rio onde a turbidez é menor, se enquadra na classificação de IQA regular.

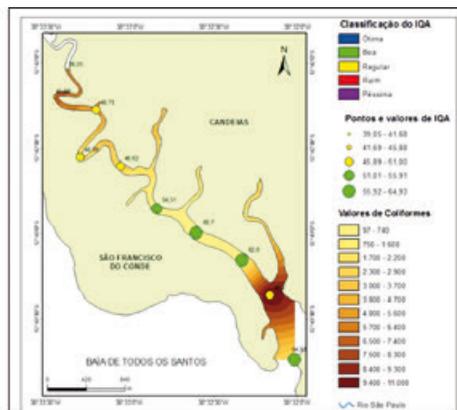


Fig. 6 - Mapa de distribuição dos pontos de IQA pela Krigagem dos valores de Coliformes em NMP/100mL.

Determinação dos Índices de Qualidade de Água, e a figura 6 caracteriza a distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de coliformes onde a extensão do Rio São Paulo-Ba com maiores concentração dos mesmos são as que apresentam os menores IQAs determinados, dando destaque ao ponto 9 que apresentou o maior valor de Coliformes, reduzindo a sua qualidade.

Desta forma, é possível inferir que o efluente por ser margeado por uma comunidade recebe contribuições domésticas e pode estar propiciando a proliferação e o estabelecimento desse número tão expressivo dessa variável biológica.

## 5 – Conclusão

O Índice de Qualidade de Água (IQA) apresentou uma boa adequação para avaliar a qualidade das águas do rio São Paulo-BA e sua aplicação mostrou que as águas enquadram-se em classes que vão de regular a boa.

Houve uma significativa variabilidade espacial dos valores de IQAs das águas do rio São Paulo.

A análise integrada dos nove parâmetros foi necessária para uma melhor determinação do IQA, possibilitando verificar quais parâmetros foram os mais representativos no índice.

Os coliformes termotolerantes apresentaram valores bem acima da legislação do CONAMA e foi o parâmetro mais representativo na classificação dos Índices de Qualidades das Águas, seguido pelo Oxigênio Dissolvido Saturado e Turbidez, respectivamente.

A análise de Cluster permitiu a formação de diferentes grupos a através de características peculiares as pontos amostrados ao longo do rio São Paulo-Ba, dando ênfase ao ponto 9 que recebe aporte de uma afluente.

As análises geoestatísticas através da krigagem ordinária possibilitam uma melhor visualização da distribuição dos valores de IQA, tornando a interpretação dos dados mais rápida e fácil.

O IQA foi satisfatório para uma avaliação hidroquímica do rio São Paulo-BA, porém expressa de uma forma simplificada uma condição momentânea. Entretanto, O IQA pode ser utilizado para implementação de políticas de gerenciamentos dos Recursos Hídricos se for estabelecido com um sistema de monitoramento.

## Referências

- ALMEIDA M. A. B. & SCHWARZBOLD, A. (2003) - Avaliação sazonal da qualidade das águas do arroio do Cria Montenegro, RS, com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 8(1):81-97.
- ANDRADE, E. M. et al. (2005) - Índice de qualidade de água: uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 36, n. 02, p.135-142.
- APHA (2005) - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed. Washington.
- BRAGA, B. P. M. & TUCCI, C. E. M. (1999) - Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. Pp. 637-652. *In: Rebouças, A. C., Braga, B. & Tundisi, J. G. (Eds). Águas Doces no Brasil. Escrituras, São Paulo, 717p.*

- CIMITESINOS (1990) - Comitê de preservação, gerenciamento e pesquisa da bacia do rio dos sinos. Utilizando de um índice de qualidade da água no rio dos Sinos. PortoAlegre. p. 33.
- CETESB (2003) - Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2002. São Paulo. p. 274.
- CETESB (2004) - Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2003. São Paulo. p. 273.
- KONIG, R., SUZIN, C. R. H., RESTELLO, R. M. & HEPP, L. U. (2008) - Qualidade das águas de riachos da região norte do Rio Grande do Sul (Brasil) através de variáveis físicas, químicas e biológicas. Pan-American Journal of Aquatic Sciencs.
- LOPES, F. B., TEIXEIRA, A. S., ANDRADE, E. M., AQUINO, D. N. & ARAÚJO, L. F. P. (2008) - Mapa de qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. Centro de Ciências Agrárias, UFC, Fortaleza-CE. Revista Ciência Agronômica, v.39, n.3, p. 392-402.
- MELO JUNIOR, G., COSTA, C. E. F. S. & CABRAL NETO, I. (2003) - Avaliação hidroquímica e da qualidade das águas de um trecho do rio Açú, Rio Grande do Norte. Revista de Geologia, v. 16, n. 02, p. 27-36.
- PEKEY, H., KARAKAS, D. & BAKOGLU, M. (2004) - Source apportionment of metals trace in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses. Marine Pollution Bulletin, 49,p. 809-818.
- PIASENTIN, A. M., SEMENSATTO JUNIOR, D. L., SAAD, A. R., MONTEIRO JUNIOR, A. J. & RACZKA, M. F. (2009) - Índice de qualidade da água (IQA) do reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP): Análise sazonal e efeitos do uso e ocupação do solo. São Paulo, UNESP, Geociências, v.28, n.3, p. 305-317.
- POMPEU, P. S., ALVES, C. B. M. & CALLISTO, M. (2005) - The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas Basin, Brazil. American Fisheries Society Symposium, 42: 11-22.
- Simões F. S., Yabe M. J. S., Moreira A. B. & Bisinoti M. C. (2007) - Avaliação do efeito da piscicultura em sistemas aquáticos em Assis e Cândido Mota, São Paulo, por indicador de qualidade da água e análise estatística multivariada. Quim. Nova, 30(8): 1835-1841.
- STOLFI, C. M. & FIGUEREIDO, B. R. (2008) - Parâmetros de referência para estudos de qualidade de águas em área de remanescente de Mata Atlântica urbano. Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geociências, UNICAMP. Campinas- SP.
- THORNE, R. S. J. & WILLIAMS, W. P. (1997) - The response of benthic macro invertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. Freshwater Biology, 37: 671-686.

(Página deixada propositadamente em branco)



PALEOSSOLOS SILICIFICADOS DA FORMAÇÃO ITAQUERI  
(BRASIL) – INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

SILICIFIED PALEOSOLS OF ITAQUERI FORMATION  
(BRAZIL) – PALEOENVIRONMENTAL INTERPRETATION

F. S. B. Ladeira<sup>1</sup>, S. S. de Castro<sup>2</sup> & M. dos Santos<sup>3</sup>

**Resumo** – Esta pesquisa foi realizada na Serra de Itaqueri, entre os municípios de São Pedro e Itaqueri, no estado de São Paulo, e esta é caracterizada por sedimentos denominados Formação Itaqueri (Paleógeno). O objetivo consistiu em caracterizar os perfis de paleossolos silicificados desenvolvidos a partir da Formação Itaqueri, bem como a caracterização e o ambiente evolutivo destes solos e suas possíveis inter-relações. Foram utilizados procedimentos e técnicas da pedologia, sedimentologia, estratigrafia e micromorfologia. A análise dos sedimentos e dos paleossolos indicaram tratar-se de deposição em leques aluviais alternados por períodos de clima mais úmido em que se desenvolveram os perfis de paleossolos, que poderiam ser classificados como Argissolos e Gleissolos. Estes solos apresentam processos de silicificação sobrepostos. O clima onde estes solos evoluíram provavelmente corresponde a um clima tropical tendendo para seco, mesmo semi-árido, mas com presença de água suficiente, ao menos sazonalmente, para desenvolver perfis de solos. A paisagem da época da evolução do solo apresentava domínios com boa drenagem e outros com forte impedimento hídrico, indicando uma topografia caracterizada por colinas, com áreas com predomínio de uma drenagem vertical e outras em posições rebaixadas com acúmulo de água na maior parte do ano.

**Palavras-chave** – Formação Itaqueri; paleossolo; paleoambiente

---

<sup>1</sup> Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Unicamp - Caixa Postal 54, Ourinhos, Brasil, 19.900-970, Brasil; fsbladeira@ige.unicamp.br

<sup>2</sup> Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Unicamp - Caixa Postal 54, Ourinhos, Brasil, 19.900-970, Brasil; selma.castro@uol.com.br

<sup>3</sup> Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Unicamp - Caixa Postal 54, Ourinhos, Brasil, 19.900-970, Brasil; marcilene@ourinhos.unesp.br

**Abstract** – *This research was conducted in the Serra de Itaqueri, between the towns of São Pedro and Itaqueri in the state of São Paulo, which is characterized by sediments of the Itaqueri Formation (Paleogene). The goal was to characterize the silicified paleosol profiles developed from the Itaqueri Formation, as well as the characterization and evolutionary environment of these soils and their possible interrelationships. Pedology, sedimentology, stratigraphy and micromorphology procedures and techniques were used. The sediments and paleosols analysis indicate that they were deposited in alluvial fans under alternating periods of wetter climate, in which the paleosols profiles were developed; these, which can be classified as Ultisols and Gleysols, present overlapping processes of silicification. The climate which have conditioned the soils development probably correspond to a tropical climate, with a tendency to dry climate, even semi-arid, but with enough water, at least seasonally, to develop soil profiles. The landscape at the time of the soils evolution presented several domains with good drainage and others displaying strong impediment to water drainage, indicating a hilly topography, with some areas where vertical drainage prevailed and others in lowered positions with water accumulation during most of the year.*

**Keywords** – *Itaqueri Formation; paleosol; paleoenvironment*

## 1 – Introdução

A Paleopedologia é o estudo de solos antigos, tendo por objeto solos soterrados e/ou incorporados a seqüências sedimentares, ou ainda solos desenvolvidos em superfícies de relevo pretéritas (ANDREIS, 1981) e que, embora permanecidos em superfície e influenciados por mudanças ambientais posteriores (RETALLACK, 1990), evidenciam antigos ambientes e contêm registros sobre o clima, cobertura vegetal, formas de relevo, intensidade da pedogênese e taxas de sedimentação vigentes a sua formação (WRIGHT, 1992; KRAUS, 1992).

Embora os avanços nesta área do conhecimento estejam concentrados nos estudos sobre solos soterrados do Quaternário, especialmente em ambientes formadores de *loess*, a partir da década de 60 surgiram também trabalhos sobre paleossolos pré-quaternários, especialmente aqueles cujo enfoque priorizava a reconstrução de antigos ambientes de sedimentação e de processos geológicos (ANDREIS, 1981), contemplados na literatura mais recente, onde as principais seqüências de paleossolos analisadas se desenvolveram sobre sedimentos aluviais e deltaicos (WRIGHT, 1992).

Nos últimos anos, a paleopedologia apresentou grandes avanços, especialmente decorrentes de estudos interdisciplinares e de técnicas analíticas mais finas. Tais avanços são resultado também da constatação de sua relevância como instrumento para análises e reconstituições paleoambientais, principalmente quando o registro fóssilífero é raro ou inexistente (ANDREIS, 1981; RETALLACK, 1990), para correlações estratigráficas (FIRMAN, 1994), e ainda como indicativo de antigas superfícies de relevo (ANDREIS, 1981), de certas concentrações minerais (petróleo, carvão, ferro, urânio, caulim, etc.) (KRAUS, 1992; ANDREIS, 1981) ou de processos pedogenéticos (RETALLACK, 1990; 1997).

Os estudos desta pesquisa foram realizados nos sedimentos do Paleógeno da Formação Itaqueri, na Serra de Itaqueri, municípios de São Pedro, Itirapina e Ipeúna, no Estado de São Paulo, compreendida entre as coordenadas 47°45' e 48° W e 22°22' e 22°30' S.

Desde os trabalhos pioneiros de ALMEIDA & BARBOSA (1953), os sedimentos denominados Formação Itaqueri, presentes em vários pontos do reverso das cuestas no Estado de São Paulo, foram motivo de controvérsia, especialmente decorrente de sua diversidade textural (argilosa a conglomerática com seixos decimétricos), reológica (materiais consolidados e friáveis) e de cimentante (sílica e ferro). Conseqüentemente, as dúvidas que esta formação geológica provoca até os dias de hoje são diversas, dentre elas sua idade, posição e sucessão estratigráfica, sua distribuição geográfica e os ambientes de sedimentação. Até mesmo para alguns autores, a Formação Itaqueri não corresponderia a um único evento deposicional, mas a dois, implicando desmembramento desta formação (SOARES & LANDIM, 1976; BRANDT NETO, 1981; MELO & PONÇANO, 1983).

A integração dos diversos processos atuando sincronicamente ou sucessivamente ao longo da história cenozóica seria a responsável por tal complexidade e justificaria, em parte, a não elucidação completa da evolução paleogeográfica da área até o momento. Assim, a elucidação de algumas características evolutivas da área assume grande importância, contribuindo na interpretação de outras áreas, no Estado de São Paulo, onde também ocorrem sedimentos correlatos à Formação Itaqueri.

## 2 – Procedimentos

Os procedimentos para o desenvolvimento do trabalho envolveram 2 etapas.

*Levantamento de campo e seleção de pontos para estudos de detalhe* – a seleção dos pontos foi baseada num levantamento total de 124 pontos e privilegiaram a presença de perfis os mais completos possíveis, com feições pedológicas nítidas e exposição em seção vertical única. Três perfis foram selecionados, e nestes foram feitas as descrições macromorfológicas e coletas para a realização das descrições micromorfológicas.

*Análises micromorfológicas* - esta etapa de trabalho objetivou a descrição detalhada e caracterização dos materiais estudados, procurando destacar as feições pedológicas presentes nestes, sobretudo as relações entre os diversos horizontes dos perfis. A importância das análises micromorfológicas consiste em determinar, através da interpretação das feições observadas, os processos pedogenéticos atuantes durante o desenvolvimento do perfil. As terminologias empregadas para descrição foram as propostas por BREWER (1976) e também aquelas propostas por STOOPS & JONGERIUS (1975).

## 3 – Resultados

### 3.1 – Formação Itaqueri Silicificada

Este material apresenta-se como um pacote sedimentar com cores amareladas e avermelhadas predominantes, possuindo forte resistência ao golpe do martelo, muitas vezes sendo impossível parti-lo, exceto ao longo de fraturas. Por vezes, este material

apresenta uma feição ruiforme, especialmente na porção superior; outras vezes, apresenta uma estrutura maciça e compacta sem fraturamento aparente e formando escarpas retilíneas.

Os afloramentos deste material raramente apresentam mais de 10 metros de espessura, mas em situações de escarpas mais íngrimes. A silicificação diminui do topo para a base, sendo que no topo são observadas algumas feições indicativas de antigos solos, tais como marcas de raízes (Fig. 1) e estruturas poliédricas preservada. Estas feições coincidem com as feições ruiformes que eventualmente se encontram na área.

Os três perfis descritos estão indicados, nas suas características macro e micromorfológicas, nas figuras 2, 3 e 4.

A macromorfologia dos materiais silicificados evidenciam que a porção superior destes sedimentos silicificados sofreu processos de pedogênese, apresentando, nitidamente, as três feições que RETALLACK (1990) indica como sendo essenciais para definir-se um paleossolo em campo: traços de raízes, horizontes pedológicos e estruturas pedológicas. Estas evidências estão muito claras no Perfil 2, mais espesso e completo, entretanto também estão presentes nos outros perfis.

As marcas de raízes indicaram situações interessantes e diversificadas conforme o perfil analisado. No perfil 2, aparecem a grandes profundidades dentro do antigo solo, com diâmetros consideráveis, indicando uma vegetação de porte considerável, difícil de imaginar na situação semi-árida vigente durante a implantação dos leques aluviais que geraram os depósitos da Formação Itaqueri. Além disso, a profundidade de ocorrência destas raízes e a quase ausência de marcas de redução a elas associadas, indicam um perfil com boa drenagem. Ao contrário, no perfil 3 as raízes apresentam uma distribuição predominantemente horizontal que, associada as grandes marcas de redução, estariam indicando aí a presença do topo de um antigo lençol freático, que dificultaria a penetração destas raízes em profundidade, provavelmente evidenciando um antigo solo com uma drenagem impedida, talvez porções inferiores de uma antiga vertente.

No Perfil 2, onde há maior continuidade lateral das feições paleopedológicas, é possível observar o comportamento lateral e vertical das estruturas do antigo solo, configurando uma "paleocatena", conforme apresentada por ATKINSON (1986) em paleossolos desenvolvidos sobre sedimentos aluviais na Espanha, o que permite reconstituir o comportamento lateral do solo ao longo do antigo perfil topográfico, ao menos ao longo de uma pequena extensão.

Acerca do lençol freático, é interessante destacar que o nível de glébulas e de mosqueamento no Perfil 2 poderia corresponder ao nível de oscilação do lençol freático quando da evolução do solo poucos metros acima, dentro de um antigo horizonte C.



Fig. 1 - Porosidades de raízes apresentando feições de redução (mais esbranquiçadas) no arenito da Formação Itaqueri silicificada.

Nos três perfis aparecem estruturas prismáticas, como bem evidenciado nos perfis 1 e 3, estando nestes dois casos, tais estruturas truncadas por uma superfície erosiva. No caso do perfil 2, a preservação foi maior, evidenciando que, acima deste horizonte prismático, ocorre outro de estrutura em blocos, sobreposto ainda por um de estrutura maciça. Estas transições são feitas de maneira gradual, dificultando, em campo, a identificação de possíveis discordâncias entre elas.

A cor parece ser uma constante entre os perfis 2 e 3, com predomínio de cores muito vermelhas e de outras de marcas de redução, ou associadas à porosidade, com *krotovinas* preenchidas por material de cor diferente daquelas do entorno. No perfil 1, as cores são mais brancas e a porosidade encontra-se preenchida por materiais ferruginosos, de cores marrom a preta, muito semelhante aos silcretos identificados na Austrália por MILNES *et al.* (1991), indicando ter sido afetada pela evolução do horizonte caulínítico do perfil laterítico. De qualquer forma, como destacado por RETALLACK (1990), as relações entre as cores continuam válidas nos paleossolos, e macromorfológicamente só encontram-se, na área, variações de cores associadas a feições tipicamente pedológicas ou a ambientes associados, tais como marcas de raízes e de animais escavadores, marcas de redução associadas às antigas raízes, marcas de redução (associadas ao nível de antigos lençóis freáticos), glébulas e mosqueados, não sendo evidenciada nenhuma alteração de cor associada a níveis sedimentares.

### 3.2 – Micromorfologia dos Paleossolos Silicificados

As informações da descrição micromorfológica estão sintetizadas nas figuras 2, 3 e 4.

O perfil 1 apresenta algumas características micromorfológicas que o enquadram como solo; entretanto estas feições não são desenvolvidas, restringindo-se a pedotúbulos correspondentes a *krotovinas*, e glébulas ferruginosas que poderiam estar associadas a períodos de hidromorfia. Não são observados cutãs, e mesmo as estruturas plásmicas

correspondem principalmente à silassépica. Tais características indicativas de um material pedológico pouco desenvolvido, associadas à presença de minerais facilmente alteráveis (microclínio, biotita e raramente anfibólio) faz supor que se trata da porção basal (horizonte C ou Bi/C) de um antigo solo, o que é corroborado pela macromorfologia, onde marcas de raízes de grande porte estão truncadas no topo, indicando que os outros horizontes acima deste material foram erodidos.

Ao contrário do perfil 1, o perfil 2 apresenta uma maior diversidade de feições pedológicas, e há uma forte correspondência entre as observações em campo e a micromorfologia. Nas porções basais do perfil silicificado, as evidências de feições pedológicas são praticamente inexistentes, e há elevada participação de minerais facilmente alteráveis (microclínio, biotita e secundariamente plagioclásio), indicando que estes materiais não sofreram processos intensos de intemperismo, apesar de alguns deles apresentarem processos iniciais de alteração. Apenas na porção mosqueada, logo abaixo do horizonte com estrutura prismática, são encontrados cutãs de iluviação, ocorrendo uma nítida diminuição daqueles minerais facilmente alteráveis. Nestes níveis inferiores do perfil, são comuns as glébulas ferruginosas, indicando a ocorrência de ambientes hidromórficos nestes materiais.

O horizonte prismático, ao contrário das porções basais do perfil, já apresenta uma maior quantidade de evidências de evolução pedológica. A presença de cutãs (ferri-argilás) de iluviação é comum, ocorrendo também pedotúbulos (Fig. 5), e as estruturas plásmicas são mais diversas (vossépica, bimassépica, silassépica e esquelépica), com destaque para a forte presença da estrutura esquelépica, não observada em outros pontos do perfil.

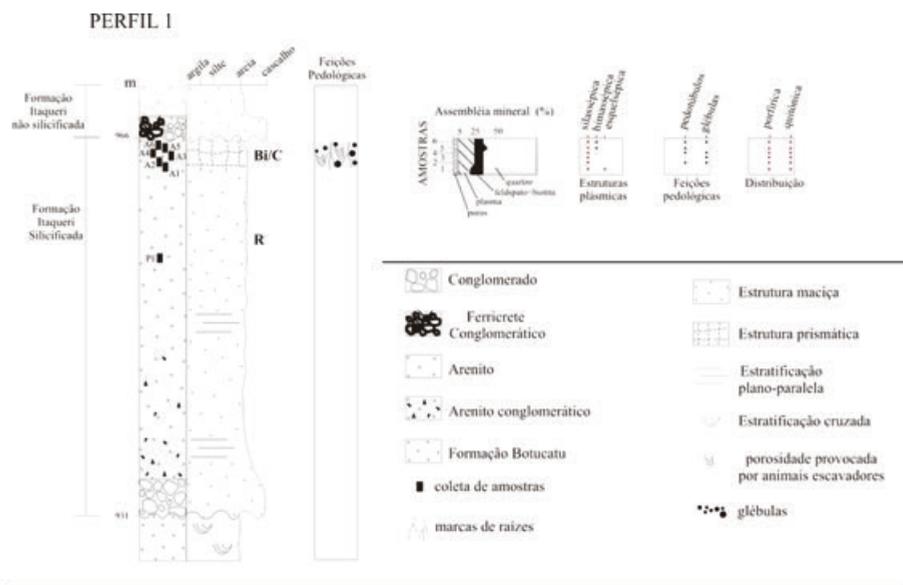


Fig. 2 - Caracterização macro e micromorfológica do perfil 1.

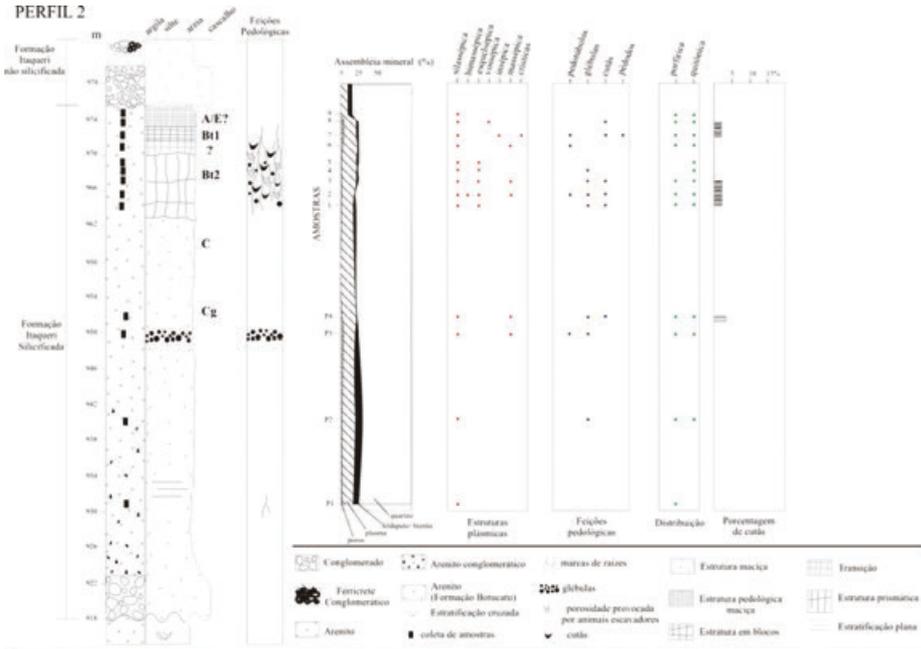


Fig. 3 - Caracterização macro e micromorfológica do perfil 2.

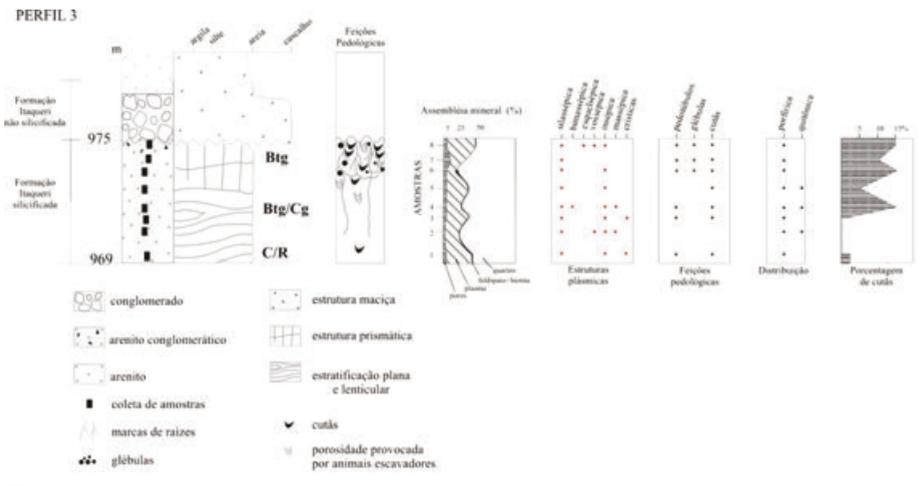


Fig. 4 - Caracterização macro e micromorfológica do perfil 3.

A presença de minerais facilmente alteráveis (feldspatos e biotitas) diminui, embora ainda estejam presentes, podendo indicar uma evolução pedológica em climas mais úmidos que aqueles da evolução do leque aluvial; entretanto tal umidade ainda seria insuficiente para alterar, por completo, aqueles minerais facilmente alteráveis. Apesar de presentes, estes minerais apresentam comumente evidências de alterações, estando

freqüentemente cariados, feição típica de minerais que passam por processos de alteração. A presença de estrutura prismática e esquelética poderiam indicar que, nesta porção do antigo solo, existiriam argilas expansivas em sua composição.

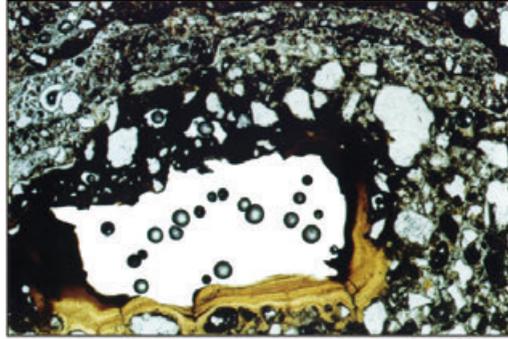


Fig. 5 - Cutã de iluviação associado a pedotúbulo. Nas bordas deste observa-se a orientação do esqueleto (LN; 2,5x).

Já no horizonte com blocos angulosos ( $B_t$ ), os pedotúbulos e cutãs reaparecem e a diversidade de estruturas plásmicas é maior. Neste horizonte são nítidos e exclusivos os pédodos. Conforme descrito, estes se apresentam ocupando porosidades no interior de *krotovinas*, portanto a silicificação não foi contemporânea ao preenchimento da *krotovina*, ocorrendo primeiramente o preenchimento do pedotúbulo, a formação de porosidade de menor porte em seu interior e, posteriormente, a impregnação do material por sílica, formando os pédodos.

Comparando-se o horizonte prismático com o de blocos, percebe-se que estes não guardam qualquer relação entre si e, portanto, conclui-se que se trata de um perfil constituído por paleossolos polifásicos.

O horizonte maciço do topo não apresenta qualquer feição pedológica e também não há poros. Aparentemente trata-se de materiais que recobriram o horizonte em blocos angulosos e não de um horizonte A/E, como interpretado em campo, pois a presença de minerais facilmente alteráveis aumenta em relação ao horizonte inferior, indicando não apresentar qualquer evolução pedogeoquímica.

Em relação aos perfis descritos anteriormente, o perfil 3 apresenta certas características que lhe são exclusivas. A pequena participação de minerais facilmente alteráveis é acompanhada por um aumento significativo nas proporções de plasma em todas as lâminas observadas, especialmente as do horizonte com estruturas pedológicas, indicando um processo mais intenso de intemperismo em relação aos perfis 1 e 2.

Nas lâminas correspondentes à porção inferior, com estruturas sedimentares preservadas, observa-se a presença de menor quantidade de feições pedológicas, ocorrendo eventualmente pedotúbulos de pequenas dimensões (que poderiam estar associados a raízes de algumas plantas com enraizamento mais profundo), estando a porosidade associada aos pedotúbulos totalmente ou parcialmente preenchidas por cutãs de iluviação. Observa-se que nestas posições, os cutãs são exclusivamente associados aos pedotúbulos, que devem ter possibilitado a migração de colóides de horizontes superiores, pois os



mesmos não são observados em ortoporos de empilhamento. Há aumento nítido na ocorrência de feições pedológicas em direção ao topo (glébulas, cutãs e pedotúbulos), evidenciando um nível de transição entre os materiais com estruturas sedimentares e aqueles com estruturas pedológicas. A presença de cutãs aumenta em direção ao topo e a amostra em que são mais representativos corresponde, exatamente, ao topo do perfil silicificado, evidenciando que este paleossolo pode ter tido seu horizonte A truncado por processos erosivos, já que um horizonte prismático caracteriza um horizonte B.

#### 4 – Conclusões

As observações indicam que os materiais analisados apresentaram, em algum momento de sua evolução, uma pedogênese. Estas evidências são bem marcadas através, não só das feições pedológicas presentes, mas também na organização destas, correspondendo ao observado na macromorfologia. A diversidade dos perfis estudados, somando-se às informações macroscópicas e microscópicas, permite deduzir algumas características ambientais da evolução destes solos: 1. A presença de minerais facilmente intemperizáveis em alguns horizontes, e a iluviação de argila permitem indicar que o clima onde estes solos evoluíram provavelmente corresponderia a um tropical seco, mesmo semi-árido, mas com presença de água suficiente (ao menos sazonalmente) para explicar as evidências de pedogênese e hidromorfia nos horizontes pedológicos; 2. A paisagem da época da evolução do solo apresentava domínios com boa drenagem e outros com forte impedimento hídrico, indicando uma topografia colinosa, com áreas com uma drenagem vertical importante e outras em posições rebaixadas com acúmulo de água; 3. A evolução pedológica nos materiais analisados indica tratar-se de perfis truncados, portanto passaram por um processo erosivo anterior à implantação subsequente de um sistema deposicional na forma de leques aluviais que recobriu os paleossolos; 4. Ao menos no perfil 2 há evidências de tratar-se de paleossolos polifásicos, pois apresenta horizontes que não guardam relação entre si, indicando pequenos eventos deposicionais neste local alternados com a evolução dos paleossolos.

**Agradecimentos** – o primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa produtividade em pesquisa e pelo Projeto Universal – processo 483823/2011-2

#### Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M. & BARBOSA, O. (1953) - Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. *Bol. Div. Geol. Min., DNPM*, 143, p. 1-96.
- ANDREIS, R. R. (1981) – Identificación e Importancia Geológica de los Paleosuelos. Editora da UFRGS, Porto Alegre. 67p.
- ATKINSON, C. D. (1986) - Tectonic control on alluvial sedimentation as revealed by an ancient catena in the capella Formation (Eocene) of Northern Spain. In: Wright, V. P. (eds.). *Paleosols: their recognition and interpretation*. Princeton, p. 139-179.
- BRANDT NETO, M., COIMBRA, A. M., BARELLI, N. & SPILLER, L. R. (1981) – Sedimentos da Serra de Itaqueri: Formação Bauru e cobertura cenozóica. *A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes, SBG/São Paulo*, p. 63-86.

- BREWER, R. (1976) - Fabric and Mineral Analysis of Soils. In: Robert E. (eds.). Krieger Publishing Company, 482 p.
- FIRMAN, J. B. (1994) - Paleosoils in laterite and silcrete profiles evidence from the South East Margin of the Australian Precambrian Shield. *Earth Science Reviews*, 36, p. 149-179.
- KRAUS, M. (1992) - Alluvial response to differential subsidence: Sedimentological analysis aided by remote sensing, Wilwood Formation (Eocene), Bighorn Basin, Wyoming, USA. *Sedimentology*, 39, p. 455-470.
- MELO, M. S. & PONÇANO, W. L. (1983) – Gênese, Distribuição e Estratigrafia dos Depósitos Cenozóicos no Estado de São Paulo. *IPT*, São Paulo, 74 p.
- MILNES, A. R., WRIGHT, M.J. & THIRY, M. (1991) - Silica accumulation in saprolites and soils in South Australia. In: Occurrence, Characteristics and the Genesis of Carbonate, Gypsum and Silica Accumulations in Soils. *Soil Sci. Soc. America*. Special Publication, 26.
- RESTALLACK, G. J. (1990) - Soils of the Past – An introduction to paleopedology. Unwin Hyman, London. 520p.
- RESTALLACK, G. J. (1997) – A Colour Guide to Paleosols. Wiley. Chichester, England, 175p.
- SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B. (1976) – Depósitos cenozóicos na região centro sul do Brasil. *Notícia Geomorfológica*, 16, p. 17-39.
- STOOPS, G. & JONGERIUS, A. (1975) - Proposal for a micromorphological classification of soil materials. I. A Classification of related distribution of coarse and fine particles. *Geoderma*, 13, p. 189-200.
- WRIGHT, V. P. (1992) - Paleopedology: strtigraphic relationship and empirical models. In: Martin, I. P. & Chesworth, W. (eds.). *Weathering, Soils and Paleosols*. Elsevier, Amsterdam, Holand, p. 475-499.

## ESPAÇO MINEIRO DEVOLUTO EM CONTEXTO DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO – MODELO CONCEPTUAL PARA AS MINAS DO REBENTÃO - COUTO DE LAGARES - VILA NOVA DE PAIVA

### DERELICT MINES IN THE LAND MANAGEMENT - CONCEPTUAL MODEL FOR THE LAGARES MINES -VILA NOVA DE PAIVA

R. M. C. Alves<sup>1</sup>, C. A. Leal Gomes<sup>2</sup> & T. M. Valente<sup>3</sup>

**Resumo** – Em Portugal, na última década, as ações dirigidas à reabilitação de espaços mineiros abandonados tiveram principalmente incidência ambiental, ou dedicaram-se à anulação do risco geotécnico associado às escavações mineiras. Apresenta-se aqui um modelo conceptual sobre valorização de um local de interesse geológico e mineiro, onde se encara de forma mais abrangente o espaço mineiro devoluto (EMD) como uma unidade territorial com atributos geológicos e industriais relevantes a incluir no ordenamento territorial. A promoção deste EMD representa um extremo de especificidade e diversidade e baseia-se numa caracterização abrangente, geológica, mineralógica, fisiográfica, arqueológica, sócio-económica e ambiental, o que potencia variadas formas de usufruto equacionadas, atualmente, para o Couto Mineiro de Lagares.

**Palavras-chave** – espaço mineiro devoluto, ordenamento do território, modelo de caracterização e valorização, Couto de Lagares

*Abstract* – In Portugal, in the last decade, programs and actions dedicated to the rehabilitation of abandoned mining areas included environmental purposes and obliteration on hazard related to mine diggings. The conceptual model for the Lagares Mines follows a protocol of procedures which considers the mining site (MS) as a territorial unit with geological and industrial attributes, which must be considered in land-use

---

<sup>1</sup> Centro de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos- Escola de Ciências- Departamento de Ciências da Terra - Universidade do Minho; raquelmcepedaalvesa@gmail.com

<sup>2</sup> Escola de Ciências- Departamento de Ciências da Terra - Universidade do Minho; caal.gomes@gmail.com

<sup>3</sup> CIG-R - Escola de Ciências - Departamento de Ciências da Terra - Universidade do Minho; teresav@dct.uminho.pt

*planning. This specific MS represents an extreme of identity and maximal diversity in what concerns the Northern Portugal mining industry. Its holist characterization included geological, mineralogical, physiographic, archaeological, socio-economic and environmental studies, which suggest and enhance some peculiar components of the land and local management.*

*Keywords – Derelict mine land, land use, characterization and valuation model, Lagares Mines*

## 1 – Introdução

A nível internacional, a transição da atividade mineira ativa, para formas de valorização da arqueologia industrial mineira (após termo de lavra) e dos espaços naturais com ela relacionados, tem sido abordada no seguinte conjunto de conferências, organismos, programas, projetos e tarefas, por ordem decrescente de incidência específica:

1. *Global Mining Initiative* (1999);
2. *International Council on Mining and Metals* (2001);
3. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, projeto do *International Institute for Environment and Development* (2000-2002);
4. Conferência de Estocolmo (1972);
5. Comissão de Brundtland (1987);
6. Cimeira da Terra (1992);
7. *World Summit on Sustainable Development* (2002).

Os problemas de gestão ambiental e ordenamento que se colocam aos espaços mineiros abandonados ou devolutos têm alcançado maior visibilidade, no âmbito do planeamento regional e gestão sustentável do território, através de iniciativas como as do grupo de trabalho internacional, Post-Mining Alliance, cujo paradigma de atuação, em defesa do equilíbrio das comunidades e espaços mineiros após o termo da lavra, é representado pelo projeto de regeneração das minas da Cornualha com o Eden Project (IIED, 2000; VAN ZYL, 2002).

A Comunidade Europeia lançou diretivas e criou linhas de financiamento específicas para a reabilitação do espaço mineiro abandonado. Portugal tem usufruído destes apoios na atuação da Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM), empresa pública que exerce a atividade de recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas, estabelecida pelo Decreto-Lei nº 198A/2001. Em fase preliminar, a EDM inventariou 175 áreas mineiras (61 de minerais radioativos, 114 de sulfuretos polimetálicos). Trinta e cinco locais foram objeto de intervenção no que respeita à segurança, ambiente (água, solos e ar), património, aspetos humanos e paisagem (RODRIGUES, 2011). As Minas atendidas em primeiro lugar foram as que evidenciavam maior depreciação da qualidade ambiental. O presente trabalho descreve um projeto de reabilitação mineira que procura a integração das múltiplas valências e utilidades do espaço mineiro, com vista à fundamentação de um programa de intervenção local que inclua espaços e objetos industriais e naturais que persistem.

Ao nível do planeamento regional, um espaço mineiro devoluto (EMD) pode ser definido como uma porção elementar de território em cujo substrato ou superfície, com maior ou menor exuberância natural e industrial, ocorreu o aproveitamento de recursos minerais, persistindo vestígios documentais, sociais e sociológicos, topográficos, arquitectónicos, geoestruturais e paragenéticos relacionáveis com essa atividade. Em contexto de ordenamento, considera-se que o EMD é uma unidade territorial diferenciada, com valor potencial e patrimonial, cuja abordagem requer procedimentos específicos (ALVES et al., 2010).

No que se refere ao património geomineiro de Portugal, do ciclo extrativo sobre Sn-W, um dos fulcros com maior diversidade de vestígios naturais e industriais diz respeito ao Couto Mineiro de Lagares, em Vila Nova de Paiva. Aí existem vários polos de mineração dedicada ao Sn e W na primeira metade do século XX (Tabela1). Concretamente, as minas do Rebentão, sede do Couto Mineiro de Lagares, foram reabilitadas nas últimas décadas do século XX para a produção de rochas e minerais industriais cerâmicos (áreas de concessão a sombreado na Tabela1).

Após o ciclo extrativo dedicado aos cerâmicos, a empresa concessionária estabeleceu um protocolo de cooperação com o Município, equacionando a possibilidade de integrar o local no programa nacional de reabilitação de sítios mineiros abandonados.

A caracterização da componente geológica sustenta uma estratégia de reabilitação e valorização do património geológico e mineiro procurando garantir a conservação da Natureza e a oferta turística em espaço rural.

Estabeleceu-se, então, um protocolo de reabilitação em que, a par de uma primeira intervenção ao nível da caracterização geotécnica e estabilização dos antigos trabalhos, se procedeu à delimitação de uma área a promover em termos de estatuto de conservação e classificação por parte do Instituto de Conservação da Natureza e Biodiversidade.

Nesse mesmo processo iniciou-se o estudo do aproveitamento arquitectónico das infraestruturas e escavações mineiras. A abordagem metodológica à reabilitação e promoção teria que ser multidisciplinar, aceitando-se que o ponto de vista determinante e ponto de partida seriam geológicos. Foi assim criado um modelo de diagnóstico/caracterização e uma estratégia de valorização, em ambos os casos com incidência geológica. Este modelo sustenta a retoma do EMD, proporcionando um fundo de informação sobre potencialidades e óbices.

## 2 – Fulcros de interesse geomineiro

O EMD (Fig. 1) situa-se no termo SE da zona de cisalhamento do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão (IGLÉSIAS & RIBEIRO, 1981). Do ponto de vista tectónico, a estruturação Varisca no sector é polifásica, sendo possível distinguir dois episódios de deformação dúctil e a atuação da deformação frágil tardia (RODRIGUES, 1997). A grande diversidade de elementos geoestruturais peculiares e bem expressos, concentrados num estreito corredor entre *stocks* de granitóides, determina um interesse geológico relevante para a totalidade da área do couto mineiro e domínios adjacentes. Adicionalmente, potencia a sua inclusão nas unidades territoriais sujeitas a ordenamento e gestão do património geológico e mineiro na aceção de Áreas de Interesse Geológico (AIG) e Locais de Interesse Geológico – LIG - (LIMA, 1996).

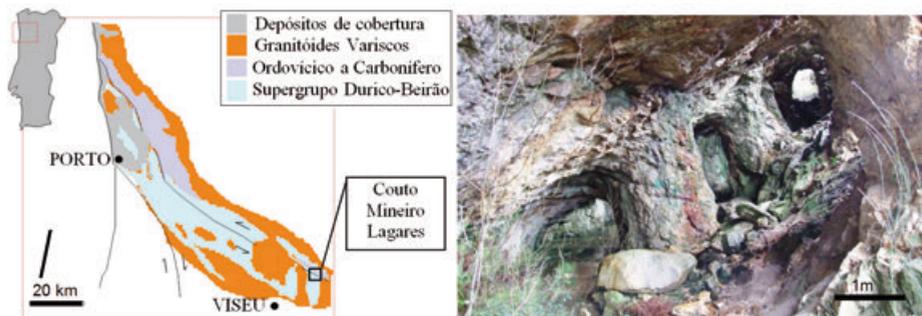


Fig. 1 – Localização do EMD na megaestrutura do Sulco Durico-Beirão. A fotografia mostra uma perspectiva do desmonte em câmaras e pilares das Minas do Rebentão – atributo *ex-libris*.

## 2.1 – Litologia e Estrutura

A diversidade litológica e estrutural, que é própria da megaestrutura Sulco, tem expressão numa componente fisiográfica com potencialidades paisagísticas de grande valor, onde se destacam as geformas de erosão diferencial entre metapelitos, quartzitos, granitóides, dioritos e aplito-pegmatitos. A diversidade geológica, em sentido estrito, abrange esta diversidade litológica e ainda, intercalações protolíticas tufáceas vulcanogénicas, metaruditos poligénicos (metaconglomerados), litologias metassomáticas previamente sedimentares a exalativas, ongonitos, topazitos e pórfiros (DIAS & LEAL GOMES, 2009). Abrange também evidências de inter-relações intrusivas insólitas, com especial relevo para as massas restílicas, remanescentes da mistura de magmas (estruturas e corredores de *mingling* em enxames de encraves, xenocristais e xenólitos).

## 2.2 – Mineralogia

A diversidade mineralógica que se observa nos aplito-pegmatitos do Rebentão abrange um cortejo vasto de espécies, algumas das quais, no contexto português, só são conhecidas neste sítio (e.g. DIAS & LEAL GOMES, 2009). Os minerais mais invulgares dispersam-se pela classe dos óxidos, tungstatos, sulfuretos, sulfossais, metais nativos, silicatos, fosfatos, carbonatos e haletos.

O jazigo, no seu modelo genético principal, é pegmatítico a hidrotermal e essencialmente estano-tungstífero. O cortejo de mineralizações metálicas economicamente relevantes alarga-se aos minerais de Li e Be, de Nb e Ta e de Au (Fig.2). As variedades mineralógicas e as dimensões de cristais também evidenciam grande diversidade, com realce especial para a existência de gigacristais de petalite e topázio, alguns dos quais apresentam qualidade gemológica peculiar – petalite “olho de gato” (PUGA *et al.*, 2003).

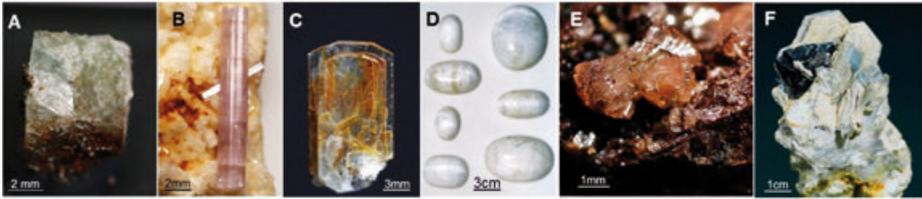


Fig. 2 – Variedades mineralógicas do EMD. A-fosfofilite, B-apatite, C-bertrandite, D-cabochons de petalite, E-hureaulite, F-cassiterite na matriz feldspática.

### 2.3 – Mina

As escavações mineiras em câmaras e pilares (fotografia da Fig. 1 e Fig. 3C) sugerem possibilidades de reabilitação do EMD na perspetiva arquitetónica dedicada ao usufruto cultural e de lazer. Existe, aqui, uma traçagem muito peculiar em que o acesso das câmaras abre à superfície numa corta longitudinal a céu aberto, incidente a muro de filão (Fig. 3B). O desmonte proporciona um espaço vão subterrâneo acessível, volumoso e compartimentado, que pode ter apetências variadas a equacionar no termo do estudo, mas apresenta desde já valor arquitetónico reconhecido.



Fig. 3 – Infraestruturas do EMD. A- área dos “paióis”, próximos de acumulados de rejeitos grosseiros; B- entrada do subterrâneo; C- câmaras subterrâneas com inclinação concordante com o depósito.

Também algumas infraestruturas de apoio à lavra, em maior ou menor estado de conservação, têm uma identidade própria e refletem a singularidade e o cunho local do aproveitamento mineiro (Fig. 3A).

O correspondente acervo documental das concessões mineiras em causa, enumeradas na Tabela 1, está no Arquivo Histórico Geológico-Mineiro do Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia (LNEG) e na Direção Regional de Economia do Centro (DRE-Centro), em Coimbra.

A análise espacial com base na cartografia antiga, permite definir zonas de interesse mineiro, na componente do património cultural, mas também índices com interesse extrativo remanescente.

Tabela 1 – Concessões do Couto Mineiro de Lagares (a sombreado) e minas vizinhas

198

Nº	Substância	Designação	Freguesia	Concelho	Ano de concessão
385		Serra das Pedras ou Vale das Moças			1904
426		Carrascais e Balas			1907
427	Sn-W	Rebentão	Queiriga		1907
428		Fraga das Antas			1907
441		Serra das Pedras nº1			1907
465		Traços de Arreção			1908
466	W	Serra de Arreção	Vila Cova à Coelheira		1908
467		Largo do Pisco		Vila Nova de Paiva	1908
471		Antas			1908
472	Sn-W	Feiteirinha			1908
473		Fragas do Grilo			1908
530		Alto do Pendão	Queiriga		1911
531	Sn-W	Quinta das Regadas			1911
532		Teixelo			1911
1693	Sn-W	Borralhas			1929
1694		Vieiro			1929
1724	Sn-Nb-Ta-W	Fontaínhas	Mioma	Satão	1929
1725	Sn	Vouga			1929
1726		Lagares do Estanho nº1			1929
1733	Sn	Alto do Calvário		Vila Nova de Paiva	1929
1734		Lagares do Estanho nº2	Queiriga		1929
1735	Sn	Ribeiro da Queiriga			1929
1737		Alto da Celada nº2			1929
1740	Sn-W	Outeiro do Porto Largo			1930
1741	Sn-Nb-Ta-W	Facho	Satão	Satão	1930
1742		Alto da Ponte			1930
1743		Buraco Fundo			1930
1744	Sn-W	Porpita	Queiriga	Vila Nova de Paiva	1930
1793		Alto da Celada nº1			1930
2667	W-Sn	Ribeira da Queiriga nº3			1950

### 3 – Modelo de diagnóstico e perspetivas de reabilitação

A elaboração de um estudo de diagnóstico do estado de conservação e das perspetivas de reabilitação incluem etapas e procedimentos calendarizadas e proporcionam a base de dados geológicos que permite definir as formas de usufruto.



A figura 4 apresenta o modelo de ação que deve funcionar, após o início da salvaguarda, numa articulação entre atualização - qualificação - aproveitamento – reabilitação. Atendendo-se ao facto do interesse puramente económico poder persistir, devem ser estudadas formas de não o inviabilizar completamente.



Fig. 4 – Esquema de articulações dos instrumentos de planeamento como suportes de decisão em ordenamento e controlo do usufruto.

#### 4 – Previsão de resultados

As opções de usufruto que podem ser deduzidas para a diversidade geológica e peculiaridade dos LIG's, discriminados no EM, previsivelmente obedecem à seguinte tipologia: inclusão em espaços de utilização comum; constituição de sectores temáticos; estabelecimento de reservas integrais.

Para cada uma destas opções distinguem-se estatutos de preservação e valorização diferenciados. Os documentos de síntese e de divulgação do programa poderão ser convertidos nos seguintes instrumentos de salvaguarda, divulgação e usufruto:

1. Plano estratégico de valorização e aproveitamento do EM;
2. Guia de campo dos LIG's;
3. Um manual descritivo dos objectos de interesse patrimonial;
4. Um manual de procedimentos para a salvaguarda de sítios (diretivas de conservação aplicadas à gestão do território – apoio à intervenção das autoridades locais e agentes económicos).

É possível estabelecer, desde já, perímetros de interesse diferenciados (Fig. 5) que podem vir a ter protocolos de atuação distintos.

#### 5 – Considerações finais

Numa fase inicial, o programa permitiu extrapolar o valor patrimonial das minas do Rebenção à totalidade do Couto Mineiro de Lagares e minas das proximidades

(Fig. 6). Assim, considerando os pequenos índices extrativos dispersos (Tabela 1), torna-se mais ampla a diversidade geológica, mineralógica e estrutural (DIAS & LEAL GOMES, 2009), incluindo jazigos minerais primários mais diferenciados e depósitos aluvionares (rio Rebentão). Da mesma forma, o lapso temporal a que dizem respeito as explorações primitivas sugere que a atividade mineira se estenda, possivelmente, até eventos pré-Romanos.

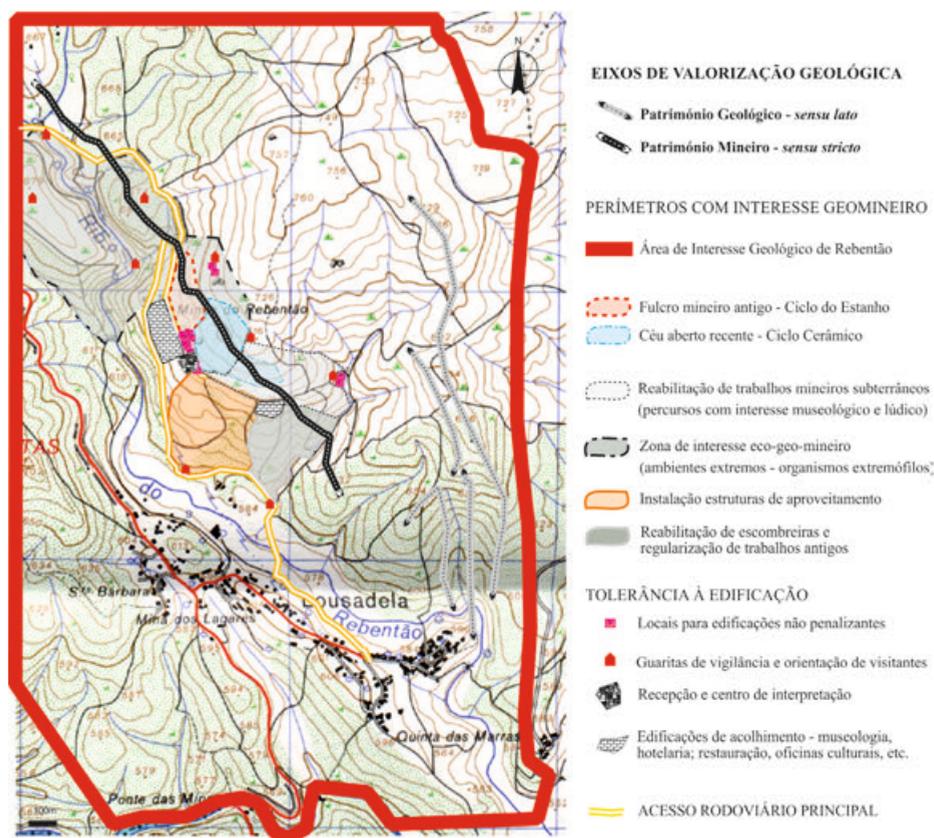


Fig. 5 – Área de intervenção na envolvente ao EMD. Demarcação de eixos de valorização, perímetros de interesse geomineiro e vulnerabilidade de objetos e locais.

Os estudos preparatórios do programa permitiram reconhecer que o traçado viário regional, a dinâmica dos assentamentos populacionais e os próprios mitos e tradições rurais são afetados pela vivência mineira passada, através de uma herança social que, de forma mais ou menos mascarada, ainda persiste como atributo da massa crítica local, representada nos núcleos de Lousadela e Queiriga.

O programa tem, como fulcro essencial, a valorização do EMD em torno de uma reabilitação museológica das frentes acessíveis imediatamente a Sul do desmonte em câmaras e pilares no filão do Rebentão. A elaboração de um projeto arquitetónico adequado está parcialmente concluída, no que atende à primeira salvaguarda. Futuramente,

este permitirá ilustrar e promover a diversidade de texturas, de associações mineralógicas e litológicas que fundamentam o valor do EMD.

A atribuição da valência “uso comum”, que diz respeito à construção de infraestruturas de acolhimento e acesso, deve partir de um conhecimento rigoroso do espólio existente e das evidências naturais antes de ser gizado qualquer plano de intervenção.

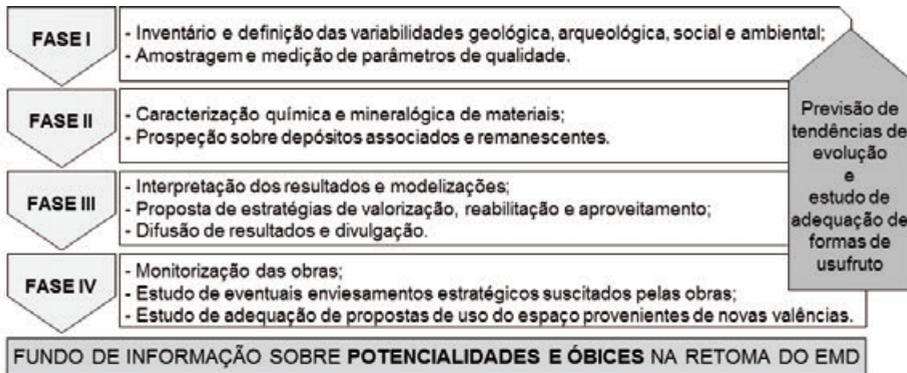


Fig. 6 – Modelo conceptual para a implementação de um programa de intervenção local em contexto de reabilitação de um EMD (adap. ALVES *et al.*, 2010)

**Agradecimentos** – Às entidades envolvidas no Programa de Intervenção Local - Município de Vila Nova de Paiva e Empresa FELMICA Materiais Industriais S.A. - agradecemos as informações disponibilizadas para divulgação, assim como ao Prof. Dr. Carlos Marques, responsável pelo projeto de arquitetura e coordenação formal do Programa.

O CIG-R é suportado pelo programa Plurianual da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e pelo orçamento nacional da República Portuguesa. Este trabalho recebeu apoio da FCT através de uma bolsa de doutoramento (SFRH/BD/42485/2007).

## Referências Bibliográficas

- ALVES, R., VALENTE, T. & LEAL GOMES, C. (2010) – Um modelo de programa para a caracterização e valorização de espaços mineiros devolutos – O caso do Couto Mineiro de Lagares do Estanho, Vila Nova de Paiva. *e-Terra, Geosciences on-line Journal, Geotic*, vol. 18 (19). <http://metododirecto.pt/CNG2010/index.php/vol/article/viewFile/422/373>. (consultado em 2011.12.21).
- DIAS, P. & LEAL GOMES, C. (2009) – Topaz bearing tourmalinites and topazite veins from Queiriga Old Mines – Viséu – Central Portugal. *Estudos Geológicos*. (Special Issue of contributions to the 4th International Symposium on Granitic Pegmatites). 19 (2), pp.111-116.
- IGLÉSIAS, M. & RIBEIRO, A. (1981) - Zones de cisaillement ductile dans l' arc ibéro-armoricain. *Comun. Serv. Geol. Porto*. 67(1), p. 85-87.
- IIED - INTERNATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (2000) - Mining, Minerals and Sustainable Development: Work Plan (Draft). London, <http://www.iied.org/mmsd>. (consultado em 2012.02.21).

- LIMA, F. (1996) - Itinerários Geológicos do Alto-Minho - Estudo de locais de interesse geológico. Tese de mestrado, Univ. Minho, Braga, 215 p.
- PUGA, M., LEAL GOMES, C. & VIDE, R. (2003) - Modo de ocorrência e ensaios de aplicação industrial da petalite do jazigo pegmatítico da Queiriga – Sátão (Viseu). Resumos, IV Congresso Ibérico de Geoquímica, Coimbra, p 196- 198.
- RODRIGUES, J. (1997) - Estudo tectonossedimentar do extremo SE a zona de cisalhamento do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão (região de Queiriga – Sátão, NE de Viseu). Tese de Mestrado, Univ. Lisboa, 109 p.
- RODRIGUES, R. (Coord.) (2011) - A herança das minas abandonadas - O enquadramento e atuação em Portugal. EDM – DGEG. 180p. <http://www.edm.pt/html/livro.html#/14/>. (consultado em 2012.02.20).
- VAN ZYL, D., SASSOON, M., FLEURY, A. & KYEYUNE, S. (2002) - Mining for the Future. Appendix C: Abandoned Mines Working Paper. MMSD. 28. <http://pubs.iied.org/pdfs/G00560.pdf> (consultado em 2012.02.20).

GEOARQUEOLOGIA NA BACIA DO RIO PERUAÇU  
(ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL)

GEOARCHEOLOGY IN THE PERUAÇU RIVER BASIN  
(MINAS GERAIS STATE, BRAZIL)

M. J. Rodet<sup>1</sup>

**Resumo** – A paisagem condiciona a ocupação humana e, em consequência, condiciona a abordagem do arqueólogo. Sendo algo dinâmico, a evolução da paisagem tem consequências sobre os grupos humanos pré-históricos (e atuais). Neste sentido, pode-se pensar em três dimensões básicas para a pré-história: os recursos alimentares, as jazidas de matérias-primas líticas e a dimensão do imaginário, esta última percebida a partir da apropriação do espaço físico. Pode-se afirmar que, na pré-história, os grupos humanos dependem e agem sobre o seu meio natural. Neste sentido, eles se apropriam do espaço físico no qual buscam atender as suas necessidades, e é claro que a qualidade dos recursos guia estas culturas que investem neste espaço em função de suas necessidades e dos recursos que eles oferecem (RODET *et al.* 2008).

**Palavras-chave** – paisagem; jazida lítica; pré-história; Brasil

*Abstract* - The landscape guides the human occupation and therefore, guides the archaeologist's approach. Due to being something dynamic, the landscape evolution has influenced the pre-historic (and the present) human groups. In this way, one can think about three different basic dimensions for the prehistoric period: the food resources, the deposits of raw materials and the imaginary dimension, the last one seen from the appropriation of the physical space. One can assert that at the prehistoric time the human groups depend and act over their natural environment. So, they appropriate the physical space over which they look forward to fill in their needs and, it is clear that the resource's quality guide these cultures, that invest in this space according to their needs and resources they offer (RODET *et al.* 2008).

**Keywords** – landscape; deposits of raw materials; pre-history; Brazil

---

<sup>1</sup> Departamento de Antropologia e Arqueologia, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil; jacqueline.rodet@gmail.com.

## 1 – Introdução

204

As pesquisas geoarqueológicas realizadas na bacia do rio Peruaçu, norte do estado de Minas Gerais, demonstraram a apropriação do espaço pelos grupos humanos pré-históricos (Fig. 1). Dentro de uma perspectiva que engloba pelo menos três escalas espaciais - o sítio arqueológico, o compartimento e a bacia -, a abordagem arqueológica da bacia do rio Peruaçu demonstrou claramente a apropriação e a transformação destes espaços pelos grupos pré-históricos (RODET, 2006). O estudo geomorfológico permitiu a divisão espacial da bacia, onde certos compartimentos ofereceram qualidades específicas, principalmente relacionados ao substrato rochoso, às qualidades das jazidas líticas, as quais estão presentes em certos compartimentos e ausentes em outros. O estudo geoarqueológico revelou a utilização de rochas e minerais como suportes das indústrias líticas pré-históricas, provenientes de alguns dos compartimentos ou, às vezes, de fora da bacia. Por outro lado, a apreensão por parte dos grupos pré-históricos do espaço dos abrigos calcários pôde ser claramente notado ao longo das ocupações. O alto vale foi, muito provavelmente, local de caça organizada. Estas constatações demonstram uma apropriação da paisagem e sua utilização diferenciada, tanto espacial quanto temporal, segundo as necessidades dos grupos (RODET, 2006; RODET *et al.*, 2008).

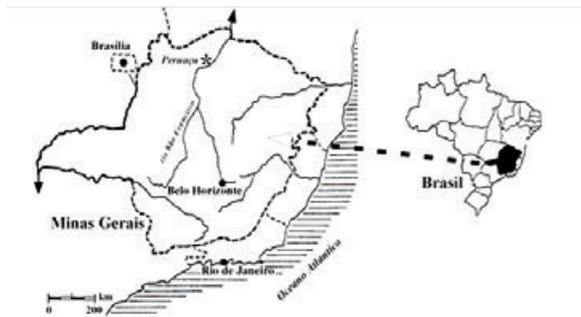


Fig. 1 – Localização da bacia do rio Peruaçu (modificado RODET *et al.*, 2002).

Tributária da margem esquerda do grande rio São Francisco, a bacia do rio Peruaçu de 195 km<sup>2</sup> (PILÓ, 1997) percorre, de oeste a leste, quatro grandes unidades geomorfológicas que se sucedem, de montante à jusante (Fig. 2): o compartimento do alto vale, setor das nascentes, situada dentro da formação dos arenitos Urucuia; a zona de transição (entre o alto vale e compartimento do cânion) onde se sucedem a formação Urucuia, os calcários do Grupo Bambuí e os elementos do embasamento granítico; o compartimento do cânion onde o rio realiza a travessia do platô calcário e, finalmente, a zona da planície aluvial ou depressão sanfranciscana onde se realiza a confluência do rio Peruaçu e o rio São Francisco (RODET *et al.*, 2003; RODET, 2006; entre outros).

## 2 – Procedimentos metodológicos

Serão a geomorfologia e a arqueologia a base desta abordagem metodológica. A primeira oferece uma análise minuciosa do sistema morfodinâmico definido

(RODET & RODET, 1999 ; RODET *et al.*, 2002; RODET, 2006; RODET *et al.*, 2008), qual seja:

- a definição do sistema da bacia do rio Peruaçu: seus limites, dimensões, geometrias, além de sua dinâmica climática, funcionamento hidrológico, evolução geomorfológica, etc.
- ainda, a compartimentação do sistema: realizado a partir da identificação de sub-sistemas (nascentes, confluências importantes, maciços carbonáticos, embasamento).
- e, finalmente, a realização de uma tipologia de jazidas de matérias-primas líticas disponíveis, as quais resultam da evolução geomorfológica do setor, que se tornou “armadilhas” para as matérias-primas líticas (silexitos presos nos maciços calcários, “ilhas” de seixos, velhos terraços). Esses locais foram certamente conhecidos e utilizados pelos grupos pré-históricos (RODET & RODET, 2001; RODET, 2006; M.J. RODET *et al.*, 2008).

Assim, é importante notar que o estudo da evolução geomorfológica permite primeiro definir a repartição espacial das jazidas potencias de matéria-prima lítica e, em seguida, criar um modelo de prospecção que controla em campo não só a presença das jazidas, mas também as diferentes utilizações que os grupos pré-históricos davam aos variados espaços que a paisagem oferecia.

Em seguida, o esforço foi o de compreender a relação entre grupos humanos e meio físico, isto é, como os pré-históricos teriam aproveitado os conteúdos específicos dos diferentes elementos geomorfológicos (resultantes da evolução), particularmente das jazidas líticas, para produzir suas indústrias líticas. Neste sentido, os sítios arqueológicos tornam-se marcadores territoriais.

Teriam eles ocupado de maneira homogênea a bacia do rio Peruaçu ou teriam ocupado os compartimentos de maneira diferenciada ou complementar? Estariam estes grupos ligados principalmente ao rio Peruaçu ou dependeriam de um rio maior, tal qual o São Francisco?

A partir das prospecções, da utilização de GPS (*Global Positioning System*) para situar os sítios no espaço, da compreensão do quadro geomorfológico e seus funcionamentos (os obstáculos naturais e as possibilidades de passagem entre os setores, como os córregos, os vales, etc.), pretendeu-se buscar entender como os grupos se adaptaram às condições destes diferentes meios. Neste sentido, utilizamos a noção de território, que pode ser dividido em vários espaços de vida: atividade doméstica, aquisição de matérias minerais, caça, setor de passagem, etc. O conjunto espacial percorrido toma valor de “sistema antrópico” (RODET *et al.*, 2008).

### 3 – A compartimentação da bacia rio Peruacu

Assim, a partir da análise geomorfológica, num primeiro momento a bacia de estudo foi abordada como um sistema, ou seja, como um conjunto de elementos que constituem uma unidade, a qual chamamos aqui de “a bacia” (RODET & RODET, 2001; RODET, 2006). Em seguida, o sistema foi dividido em subsistemas. Esta divisão foi baseada sobre as qualidades específicas de cada setor (geológicas, geomorfológicas e biológicas) Cada um

destes elementos tem um valor e uma função por ele mesmo, mas também em relação ao conjunto. Para a bacia do rio Peruaçu foram distinguidos 4 sub-sistemas: o alto vale, a zona de transição, o compartimento do carste e o compartimento da planície aluvial (Fig. 2).

206

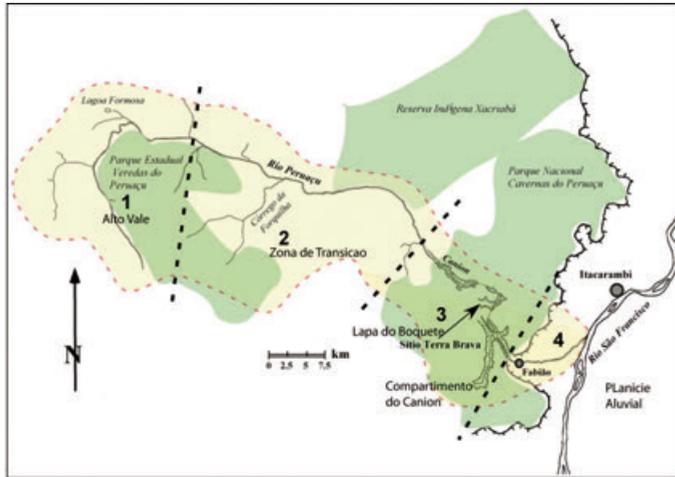


Fig. 2 – Compartimentação da bacia: 1. Alto Vale, 2. Zona de Transição, 3. Compartimento do Cânion, 4. Compartimento da Planície Aluvial (modificado RODET, 2006).

Cada um destes compartimentos contribui com elementos para o funcionamento do conjunto/sistema, mas também cada um deles tendo suas especificidades. O rio, quando passa dentro de cada compartimento deposita e/ou toma elementos para transportá-los ou depositá-los mais longe, sejam líquidos ou sólidos (RODET *et al.*, 2005; RODET, 2006). Exemplo, a matéria-prima lítica, a qual é arrancada dos primeiros compartimentos, é trazida para dentro do leito do rio, onde é transportada e, em seguida, em forma de seixo (grandes, médios ou pequenos), será depositada em certos compartimentos mais abaixo. Assim, o arqueólogo trata cada um desses compartimentos de maneira diferenciada, pois eles têm paisagens e recursos muito distintos:

- O alto vale se desenvolve de 750 a 830 m de altitude, apresenta o bioma do tipo cerrado (*lato sensu*), misturado a zonas úmidas de veredas compostas principalmente pela palmeira Buriti (*Mauritia vinifera*), com grande diversidade de flora e fauna. Certamente o setor serviu de fonte de matéria-prima aos grupos passados, tanto em plantas medicinais e comestíveis, quanto em caça e plumária. No entanto, não existem maciços rochosos expostos, somente o arenito completamente alterado em areias.
- A zona de transição, está situada entre as cotas 657 e 750m, e faz a ligação entre a região das nascentes, o alto vale, e o compartimento do cânion. A vegetação, assim como seu substrato rochoso, oferece um mosaico entre o Cerrado e a Caatinga, e também apresenta florestas-galeria nas margens do rio, em muito composta por palmeiras Buritis. Além destas, nas proximidades do maciço calcário, nota-se a presença de bromélias e de gameleiras (*Ficus insípida*). Os recursos animais não diferem daqueles presentes no alto vale (tamanduás, antas, porcos selvagens, lobos, onças etc.).



O rio é aqui, em função do desnível que começa a aparecer e do carste, mais rápido e mais profundo, e as dinâmicas da água e do relevo permitem que as matérias-primas líticas sejam arrancadas dos maciços e transportadas. A partir deste setor, o rio Peruaçu apresenta várias jazidas de matéria-prima de qualidades diferenciadas, as quais foram efetivamente (ou potencialmente) utilizadas pelos grupos passados.

A riqueza litológica do compartimento certamente influenciou sua ocupação durante a pré-história. Certos tipos de sílexitos e de minerais do tipo quartzo e jaspe só foram observados (até o momento) neste setor. Os blocos de arenito rosado, o aparecimento dos primeiros calcários, além da presença de uma janela geológica (que fez surgir em superfície o substrato granítico), demonstram a complexidade geológica do setor. Todos estes materiais foram utilizados como suportes nas indústrias líticas pré-históricas, presentes nos sítios arqueológicos do compartimento do cânion. A proximidade com o cânion, a riqueza de suas jazidas líticas, (ou ainda sua capacidade de conservar os elementos arqueológicos), revela este compartimento rico em vestígios pré-históricos e foi a partir daqui que os sítios arqueológicos foram observados.

- O compartimento do cânion se caracteriza por seu imponente relevo cárstico (650 - 500m), 17 km de cânion (abrigos sob rocha, grutas, grande cânion, dolinas, ravinhas, etc.) e por sua importante ocupação humana - aproximadamente 100 sítios arqueológicos foram catalogados, em grande parte, uma ocupação constante desde a passagem Pleistoceno/Holoceno até o século XVIII, momento da chegada dos neobrasileiros (bandeirantes paulistas). Neste momento, as populações são dizimadas. A vegetação dos afloramentos calcários é do tipo floresta decídua (Caatinga) e abriga uma fauna específica, mas também recebe os animais de outros biomas, pois serve de caminho entre o alto vale e a planície aluvial. No que se refere à freqüentação humana, a mesma parece estar diretamente relacionada ao carste: abrigos, entradas de gruta, áreas de *poljes* (mais abertas dentro do carste) foram sistematicamente utilizados.

Sobre os maciços calcários nota-se a presença de uma cobertura de siltito (Nhandituba) e de arenito (Urucuia), muitas vezes sob a forma de relíquias (sítio arqueológico do Judas), esta às vezes aprisionada dentro do carste. As matérias-primas líticas disponíveis neste compartimento são muito diversificadas: o calcário, os blocos de sílexito presentes nos velhos terraços do Peruaçu ou dentro dos paleo-preenchimentos litificados ou ainda dentro da antiga cobertura, além de grande variedade de seixos dentro do rio Peruaçu, e de blocos de arenito silicificado e de calcedonia. Outra matéria-prima característica deste setor são os nódulos de sílexitos presentes dentro dos calcários (“bonecas de sílex”, J.R. Chiavegatto, *com. pessoal*).

O essencial das escavações e, em conseqüência, das indústrias líticas estudadas são provenientes deste setor, sendo este o melhor estudado até agora, em razão da facilidade de observação dos sítios de abrigo (pinturas rupestres até mais de 10m de altura do solo atual), mas também pela abundância e do estado de conservação dos vestígios arqueológicos (corpos semi-mumificados, fibras, instrumentos em madeira, etc.). As escavações concentraram-se dentro destes abrigos, onde as acumulações estratigráficas permitiram estabelecer uma cronologia cultural das populações que os freqüentaram (RODET, 2006; RODET *et al.*, 2008).

- A planície aluvial, está situada entre as cotas 500-440 m, quando o rio Peruaçu encontra o grande vale carstificado do São Francisco (Fig. 1), de aproximadamente 30 km de largura. O relevo apresenta uma topografia plana, permeada de dolinas e de muitas lagoas sazonais.

Há uma grande antropização do setor desde o século XVIII, quando os bandeirantes dizimam as populações indígenas, derrubam as matas e instalam nas margens do rio São Francisco as grandes fazendas de gado e algodão. Há muitos relatos do grande número de aldeias que havia ao longo do rio São Francisco. Alguns desses locais foram encontrados e escavados.

Por volta de 1820, SPIX & MARTIUS (1981) relatam que nas margens do rio São Francisco havia grandes zonas de brejo, grande zonas pantaneiras, alagadas, fazendo parte do leito maior de inundação. Neste setor havia misturado a vegetação, barro, madeira flutuante, emaranhado de espinhos, de carcassas de animais transportados pelas inundações, etc., formando um setor quase impenetrável, de odor insuportável. Esta zona estava cercada por uma floresta de grandes árvores e de lagoas ricas em peixes e aves.

Este compartimento se diferencia dos outros principalmente em função da possibilidade de navegação. O rio São Francisco (*Opara* em língua Tupiguarani, que significa a grande água), desemboca no mar e adentra o sertão atravessando 5 estados brasileiros sobre uma extensão de quase 3000 quilômetros. Por suas características ele foi utilizado como caminho de entrada e saída para os europeus e, muito antes, pelos grupos pré-históricos. Outra questão importante é a grande quantidade e variedade de peixes presentes em suas águas. Além dessas características, existe ainda as matérias-primas líticas que apresentam aí outras dimensões e especificidades. Primeiro, as grandes cascalheiras presentes nas margens do rio São Francisco, mas também os grandes seixos de arenito silicificado, quartzito, quartzo, provenientes de outras bacias. E, finalmente, os abrigos nos morros calcários residuais da grande bacia sanfrascana.

#### 4 – A ocupação humana ao longo da bacia

A paisagem condiciona a ocupação humana e, em consequência, condiciona a abordagem do arqueólogo. Sendo algo dinâmico, a evolução da paisagem tem implicações sobre os grupos humanos pré-históricos (e atuais). A percepção dos espaços que compõem a bacia do rio Peruaçu pelos grupos pré-históricos fez com que eles os utilizassem de maneira diferenciada. A intenção do arqueólogo é buscar uma classificação a partir dos elementos existentes em cada um dos compartimentos: como setores de caça ou pesca, navegação, jazidas de matérias-primas líticas, como lugar de acampamento prolongado ou temporário, como locais de passagem ou ainda como sítios à vocação cerimonial. O grupo socializa o espaço dentro do qual ele se estabelece (RODET, 2006) e o pesquisador busca as inter-relações a partir dos vestígios deixados.

Na bacia do rio Peruaçu, no início das ocupações humanas (12.000 BP) o abrigo é um lugar de passagem, que pouco a pouco toma uma outra dimensão, ou seja, sua vocação cerimonial (pinturas, sepulturas, oferendas, etc.). As freqüentações dos sítios abrigados mostram, através dos estudos inter e intra-sítios, uma diferenciação de suas

utilizações ao longo do tempo, evoluindo de simples acampamento de passagem para um espaço à vocação ritual (RODET, 2006):

- Durante a passagem Pleistoceno-Holoceno e logo no início do Holoceno (12000-10000 BP), os abrigos são utilizados de maneira discreta: há algumas fogueiras com poucos restos alimentícios (fragmentos de osso, nozes de palmeiras) e instrumentos líticos fragmentados pelo fogo. Estes últimos demonstram um aprovisionamento em matéria-prima baseado principalmente em um sílexito de granulometria fina e homogênea, muito apto ao lascamento (menos freqüente são os arenitos de coloração rosada e acinzentada, além de uma indústria realizada sobre o calcário). Os suportes utilizados para a produção dos utensílios mais característicos desse período (unifaciais à seção plano-convexa e unifaciais achatados, ponta de projétil bifacial) são as lascas longas e pouco espessas transformadas por percussão macia (algumas vezes nota-se a presença de peças que tiveram um contato térmico antes do lascamento).
- Durante o Holoceno inicial (10000-8000 BP), parece haver uma modificação tecnô-econômica significativa. Contrariamente aos níveis precedentes, a escolha pela matéria-prima não está mais calcada sobre a utilização de uma rocha homogênea e fina, mas oferece uma grande diversidade (menor exigência qualitativa), incluindo sílexitos de grãos médios a grossos, pouco homogêneos (persiste a utilização discreta do calcário, do arenito e da calcedônia). Estas escolhas podem corresponder a uma modificação no comportamento tecnológico. As indústrias líticas mais elaboradas são ainda produzidas sobre suportes alongados, podendo utilizar grandes seixos trazidos do rio Peruçu. No entanto, estes instrumentos, classificados como marcadores culturais, são cada vez mais raros; poucas peças foram encontradas, indicando uma possível perda no *savoir-faire* mais elaborado ao longo do período. Esses dados sugerem uma evolução das primeiras indústrias líticas que se transformam pouco a pouco até desaparecerem entre 9000 e 8000 BP (pelo menos nos setores escavados dos sítios arqueológicos).

No início do período, as fogueiras e os vestígios líticos são ainda representativos de uma passagem rápida. Os vestígios deixados nas fogueiras não variam muito do período anterior (lascas de reavivagem, poucos restos alimentares). As modificações mais importantes na maneira de ocupar o espaço acontecem por volta de 9000 BP, quando são encontrados os primeiros sinais de uma representação gráfica, incisões realizadas sobre um bloco calcário. Em seguida, em torno de 8000 BP, outra modificação acontece: as fogueiras não têm somente restos alimentares, mas têm também manchas de pigmentos.

- As transformações nas ocupações dos abrigos persistem durante o período denominado Holoceno médio (8100 BP a aproximadamente 4000 BP), por volta de 7900 BP e 7154 BP, quando aparecem os primeiros sepultamentos. Estes, aliado à ausência de uma indústria pouco característica, ilustram uma modificação qualitativa da ocupação dos abrigos. Junto às fogueiras, aparecem agora os pigmentos, os quais são também encontrados dentro das fossas sepulcrais.
- No período seguinte, Holoceno recente (entre 4000 BP e 700 BP), a vocação cerimonial ou simbólica destes abrigos parece estar plenamente estabelecida. O local continua sendo utilizado para sepultamentos, mas a partir do aparecimento das

plantas domesticadas, por volta de 2000 BP, passa a ser utilizado como local de “enterramento”, ou depósito de estruturas contendo vegetais. Estas estruturas, durante muito tempo entendidas como silos, apresentam a peculiaridade de ter grande parte dos alimentos parcialmente consumidos (fragmentos de mandioca ralados, milhos sem grãos) ou vazios (frutos, cabaças, etc.), ou ainda a natureza de certos objetos que não remetem à alimentação tais como plumas, pregos de ferro, contas, etc. Tais dados levam a pensar que tais estruturas foram destinadas a outra coisa e não a simples estocagem de alimentos. É possível tratar-se, dentro de um contexto cerimonial, de oferendas, onde o que importa não é o alimento, mas a idéia do mesmo (RODET, 2006; FREITAS & RODET, 2010). No mais, estes abrigos apresentam sempre as paredes pintadas, o que leva a uma associação entre as pinturas rupestres e os pigmentos (a única datação direta das pinturas é por volta de 3000 BP).

- Enfim, a última ocupação do vale (vestígios em subsuperfície e em superfície) ilustra uma modificação radical: se até então os abrigos não apresentaram muitos utensílios líticos, estes se tornam mais numerosos e presentes não só nos abrigos, mas também nos sítios a céu aberto. O número de fogueiras aumenta, e os restos encontrados também se diversificam. Estes vestígios podem refletir o contato com o colonizador que, desestruturando o modo tradicional de vida destas populações, expulsa os índios das margens do rio São Francisco, forçando-os a se esconderem em setores mais distantes, de difícil acesso, como os cânions. Em conseqüência, a função dos abrigos pode ter se modificado e, em conseqüência, sua frequênciação.

## 5 – Considerações finais

A Arqueologia é uma disciplina que depende muito ds geociências. No caso deste estudo, a aplicação de métodos e técnicas da geomorfologia e geografia foi fundamental para a compartimentação da bacia do rio Peruaçu e uma melhor compreensão da apropriação e transformação do espaço pelos grupos pré-históricos.

Ao longo dos estudos realizados na bacia do rio Peruaçu a tentativa foi aplicar uma abordagem sistêmica, baseada nas características geológicas, geomorfológicas e biológicas, o que permitiu a definição de quatro subsistemas específicos.

Conclui-se que, no alto vale, zona de cerrado, a região é arenosa e pantanosa – sendo que o setor pantanoso impede a aproximação das margens do rio. Neste compartimento não foram encontrados sítios arqueológicos. Este setor, em função da grande quantidade de animais aí presente, foi, muito provavelmente, dedicado à caça e à coleta de vegetais. No momento da florada, entre novembro e fevereiro, o setor oferece uma diversidade vegetal importante, que atrai uma grande variedade de herbívoros e seus predadores. O pequiheiro (*Caryocar brasiliense*) atrai os porcos selvagens, que sobem o vale para consumir este fruto. A revoada de cupins atrai os tamanduás, que fazem deles seu principal alimento. As capivaras, que ao longo do ano vivem em pequenos bandos, se encontram neste período em grandes grupos para se acasalarem. Todos estes animais são certamente seguidos por outros predadores, inclusive os grupos humanos.

De acordo com as observações de campo, somente a partir da zona de transição se pôde observar as primeiras jazidas líticas utilizáveis (granito, arenito, quartzo, calcário, etc.). A vegetação aqui é diversificada, cerrado e caatinga se misturam em um mosaico.

O rio pode ser aqui aproximado. O relevo, antes plano, mostra aqui as primeiras torres, se tornando pouco a pouco imponente. Neste setor, são observados os primeiros vestígios de ocupação humana pré-histórica, em sítios a céu aberto (lascas líticas, fragmentos cerâmicos, fogueiras). O compartimento do cânion é representado pelo maciço calcário, onde o rio Peruaçu escavou 17 km de seu percurso dentro de galerias e gargantas. Os desmoronamentos destas cavernas originaram um imponente relevo cárstico, muitas vezes com paredes de até 200m de altura. O local foi intensamente ocupado pelos grupos passados (diferentemente do dias atuais, quando estes locais de difícil acesso são, no geral, preteridos). Os pés das falésias e as entradas das grutas foram amplamente utilizadas pelos grupos pré-históricos, que transformaram estes espaços não só através de pinturas, incisões, picoteados, mas também a partir da utilização dos mesmos para enterrar os seus mortos ou fazer oferendas. No que se refere às manifestações rupestres, ISNARDIS (2004) propõe uma evolução estilística e geográfica para a bacia do rio Peruaçu: inicialmente poucos abrigos são pintados, com poucas cores, principalmente preto e vermelho, a temática preferida são as figuras geométricas. Em seguida, nota-se uma diversificação na qual domina o amarelo e o vermelho. Mais tarde, aparece uma outra temática, pequenas figuras desenhadas em cor preta e/ou picoteadas (principalmente antropomorfos e propulsores, estes últimos mais raros na bacia do Peruaçu, mas muito presentes um pouco mais ao norte, no município de Montalvão). Enfim, um último momento apresenta uma explosão de cores, particularmente o branco, acompanhado de um enriquecimento temático (as figuras geométricas são bi ou tricrômicas (Fig. 3).

Lapa do Caboclo	Lapa dos Desenhos	Lapa dos Bichos	momento estilístico
			SF 4
			SF 3 e/ou SF 4
			SF 3
			Complexo Montalvão
			SF 2
			SF 1

Fig. 3 – Quadro evolutivo de representações rupestres: evolução estilística proposta para abrigos da bacia do rio Peruaçu (de acordo com ISNARDIS, 2004)

No início da ocupação os grupos utilizavam esses locais como ponto de apoio para, talvez, ir de um setor a outro (sítios de passagem, como apontam os vestígios encontrados); em seguida, a partir de uma apreensão dos espaços ocupados, os abrigos se transformam pouco a pouco em locais à vocação cerimonial, onde são realizados enterramentos, pinturas e oferendas. Se, no Brasil, ao contrário da Europa, não foram ainda encontrados muitos sinais de ocupação das cavernas, há, no entanto, uma ocupação quase sistemática dos abrigos. Estes, na maior parte das vezes, encontram-se nas margens de entradas de cavernas (pequenas ou grandes). O abrigo é um “acidente” na paisagem, o limite entre a floresta e a caverna, a luz e a escuridão, uma ruptura entre o conhecido e o desconhecido. Talvez seja justamente este o motivo que tenha levado os pré-históricos a estabelecerem os seus sítios cerimoniais nestes locais que para eles poderiam representar a passagem entre dois mundos.

Enfim, a confluência do pequeno rio Peruaçu com o grande São Francisco se realiza no seio de uma grande planície aluvial cárstica, da qual emergem morros calcários residuais. Estes espaços também foram ocupados por grupos humanos desde o início do Holoceno. O grande rio representa uma importante via de penetração utilizada tanto pelos conquistadores, quanto pelos pré-históricos, além de ser uma fonte de alimentos fundamental (um grupo de caçadores precisa de um território enorme para suprir as suas necessidades, salvo se existe no setor um rio piscoso). Na época da piracema (subida dos peixes para desova) o Surubin (*Pseudoplatystoma corruscans*), por exemplo, pode apresentar medidas de mais de 1m de comprimento e pesar aproximadamente 70kg. Além disso, as florestas-galeria das margens do rio sustentaram uma fauna específica (por exemplo, grandes macacos), também caçada pelos grupos pré-históricos. Esta grande variedade de recursos alimentares permite uma perenização da implantação humana no compartimento sob forma de grandes aldeias ou acampamentos.

## 6 – Referências Bibliográficas

- FREITAS, F. & RODET, M.J. (2010) - *O que ocorreu nos últimos 2000 anos no vale do rio Peruaçu? Uma análise multidisciplinar para abordar os padrões culturais e suas mudanças entre as populações pré históricas daquela região*. *Revistas do Museu de arqueologia e etnologia, USP*. V. 20:109-126.
- ISNARDIS, A. (2004) - Lapa, parede, painel. Distribuição geográfica das unidades estilísticas de grafismos rupestres do vale do rio Peruaçu e suas relações diacrônicas. *Mémoire de Mestrado, USP* : 155 p.
- PILÓ, L.B. – 1997. Caracterização regional do carste do vale do rio Peruaçu. *O Carste, Belo Horizonte*, 9 (2): 22-29.
- RODET, M.J. (2006) - Etude technologique des industries lithiques taillées du nord de Minas Gerais, Brésil, depuis le passage Pléistocène/Holocène jusqu'au contact - XVIIIème siècle. *Thèse de doctorat de l'Université de Paris-X, Nanterre*: 516 p.
- RODET, J. & RODET, M.J. (1999) - *Relatorio de missão no Vale do Rio Peruaçu (Januária – Itacarambi, Minas Gerais, Brasil), 16–22 dezembro 1.998*. Departamento de Arqueologia, Museu de Historia Natural, UFMG, Belo Horizonte, janeiro 1999, 4 p.
- RODET, J. & RODET, M.J. (2001) - Evolution karstique et ressources lithiques archéologiques. L'exemple du Rio Peruaçu (Januária - Itacarambi, Minas Gerais, Brésil). *Actes du XIème Congrès National de Spéléologie, Genève (Suisse)*, 14-16 septembre 2001 : 129-134.

- RODET, J., RODET, M.J., FERREIRA, D., NASCIMENTO, S. & HUGUET, Y. (2003) - Novos elementos da evolução geomorfológica do vale cárstico do Rio Peruaçu (Januária - Itacarambi, Minas Gerais). *Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia*, Januária (MG), 4-14 de julho de 2003, Sociedade Brasileira de Espeleologia, resumo: 2 p.
- RODET, M.J., RODET, J. & HORN, A.H. (2008) - Sistema geomorfológico e sistema antrópico pré-histórico no Brasil. Exemplo do estado de Minas Gerais. *6º Sinageo - Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Belo Horizonte, 03-08.08.2008, publicado CD: 10 p.
- RODET, J., RODET, M.J., MARIANO, D.F., WILLEMS, L. & POUCKET A. (2005) - New approach of the karstic evolution of the canyon of the Peruaçu river (Januária-Itacarambi, Minas Gerais, Brazil). *14<sup>th</sup> UIS Congress*, Athens-Kalamos, 23-28 august 2005, CDRom Full Paper : O-33 (6 p.).
- RODET, M.J., RODET, J., NASCIMENTO, S.A., MARIANO, D.F., HUGUET, Y. & SILVA, J.R. (2002) - Metodologia de prospecções geoarqueológicas dentro de uma bacia (exemplo da bacia do Rio Peruaçu, Minas Gerais, Brasil). *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo*, **12** : 25-41.
- SPIX, J-B. von & MARTIUS, C.F-P. von (1981) - *Viagem pelo Brasil : 1817-1820*. Belo Horizonte, ed. Itatiaia, e São Paulo, Ed. da USP, 2 vol. : 301 p (edição original, 1823-1831).

(Página deixada propositadamente em branco)



SECÇÃO 3  
DETEÇÃO REMOTA: OLHAR DE PERTO, AO LONGE

“A ciência? Ao fim e ao cabo, o que é ela senão uma longa e sistemática curiosidade?”

André Maurois

(Página deixada propositadamente em branco)

UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NO MAPEAMENTO DIGITAL  
DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL PARA O SUBSÍDIO  
DO ZONEAMENTO AMBIENTAL NO PARQUE ESTADUAL DA  
SERRA DA TIRIRICA (PESET, BRASIL)

USE OF GEOTECHNOLOGIES ON DIGITAL MAPPING  
IN LAND AND PLANT COVER AS A CONTRIBUTION  
TO THE ENVIRONMENTAL ZONING IN THE STATE PARK  
OF SERRA OF TIRIRICA (PESET, BRAZIL)

W. M. Santos Junior<sup>1</sup>

**Resumo** – No Brasil, dentre as áreas protegidas e regulamentadas por lei estão as denominadas Unidades de Conservação (UC) e são definidas assim por possuírem características ambientais importantes na manutenção dos ciclos naturais, demandando regimes especiais de preservação, conservação ou exploração racional dos seus recursos. O Parque Estadual da Serra da Tiririca (PESET), criado pela Lei 1.901, de 29 de novembro de 1991, localizado entre os municípios de Niterói e Maricá no Estado do Rio de Janeiro, Brasil, enquadra-se na categoria de UC de Proteção Integral abrigando uma extensa faixa de Mata Atlântica em seus limites. Para a presente pesquisa foi feita uma classificação de Uso da Terra e Cobertura Vegetal, refinada por pesquisas feitas através do trabalho de campo, que subsidiou a elaboração da proposta de Zoneamento Ambiental para o parque. O estudo feito através da modelagem computacional do PESET apresenta o emprego das técnicas amplamente utilizadas no monitoramento ambiental, sendo úteis aos profissionais destinados à gestão e aos tomadores de decisão no âmbito das políticas públicas relacionadas à gestão ambiental de Unidades de Conservação.

**Palavras-chave** – Geotecnologia, Uso da Terra, PESET, Zoneamento Ambiental.

*Abstract* – In Brazil, among the protected areas regulated by law are the so called Conservation Units (UC) which are so defined for having environmental characteristics

---

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Rio de Janeiro; wilson.messias@gmail.com

*important in maintaining natural cycles, requiring special arrangements for preservation, conservation and rational exploration of resources. The State Park of Serra da Tiririca (PESET), created by law 1901 of November 29, 1991, located between the cities of Niterói and Maricá in the State of Rio de Janeiro, Brazil, falls under the category of UC full protection harboring an extensive stretch of Atlantic Forest within its boundaries. In the presented research we made a classification of land use and land cover, refined by search done through field work, which contributed to the drafting of the proposed environmental zoning for the park. The study done by computer modeling of the PESET shows the use of techniques widely applied in environmental monitoring which are useful to management professionals and decision-makers in public policies related to environmental management of protected areas.*

**Keywords** – *Geotechnology, Land Use, PESET, Environmental Zoning*

## 1 – Introdução

O Parque Estadual da Serra da Tiririca (PESET), localizado entre os municípios de Niterói e Maricá, enquadra-se na categoria de unidade de conservação, mais precisamente como Área de Proteção Integral por abrigar uma extensa faixa de Mata Atlântica em bom estado de conservação (RODRIGUES, 2004). As ações para proteção da Serra da Tiririca tiveram início em meados da década de 80, a partir de iniciativas populares.

A Serra da Tiririca está inserida entre os municípios de Niterói e Maricá no Estado do Rio de Janeiro (Fig. 1). Em Niterói insere-se nos bairros do Engenho do Mato, Itaipu, Itacoatiara e Várzea das Moças totalizando uma área de aproximadamente 1.205,48 hectares (59%). No município de Maricá insere-se em Itaipuaçu (Distrito de Inoã) abrangendo uma área de 855,40 hectares (41%). Com uma área total de 2.252,81 hectares, inicia-se entre as praias de Itacoatiara e Itaipuaçu estendendo-se longitudinalmente até a Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106).

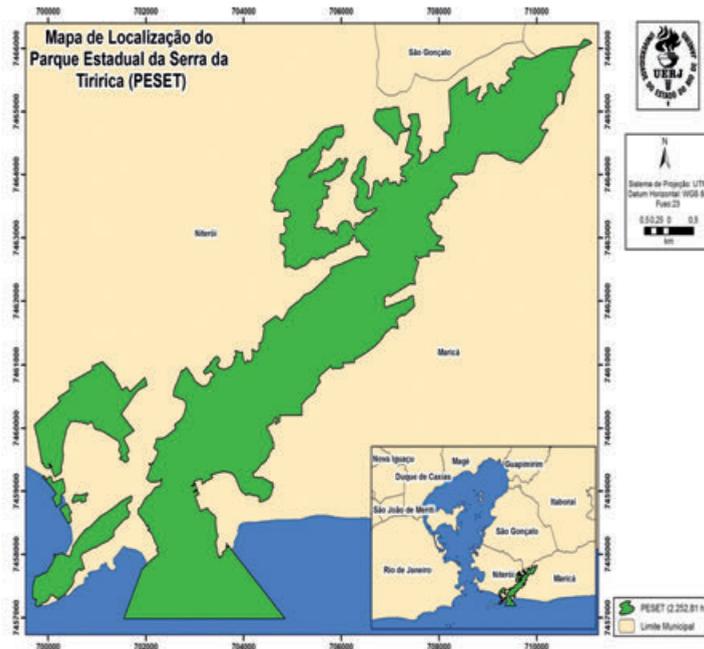


Fig.1 – Localização Geográfica da Área de Pesquisa.

A região da Serra da Tiririca é rica em vestígios e sítios arqueológicos, principalmente em Itaipu onde existem importantes sambaquis, tendo registros da existência de populações pré-históricas de tradições variadas que se sucederam no local (BELTRÃO, 1978).

## 2 – Sistema de informação geográfica e meio ambiente

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) caracterizam-se por um conjunto de ferramentas computacionais utilizados para se obter uma melhor compreensão ou caracterização dos fenômenos que ocorrem no espaço geográfico (BINS *et al.*, 2000).

A sua capacidade de reunir e processar uma grande quantidade de informações acerca daquilo que se objetiva analisar, torna o SIG uma ferramenta importante para o monitoramento ambiental (CÂMARA, 1996), sendo uma componente chave para estudos e trabalhos de pequeno, médio e longo prazo realizado em diferentes campos do conhecimento (PINA *et al.*, 2000), dentre eles em unidades de conservação da natureza.

Para o presente trabalho está sendo desenvolvido um banco de dados geográfico multiescalar composto uso da Terra e cobertura vegetal obtido a partir de imagens Ikonos e Worldview (2007 e 2011 respectivamente) que subsidiaram o mapeamento do zoneamento ambiental da Serra da Tiririca e outros temas oriundos do cruzamento das informações espaciais, onde foram indicados os percentuais de uso para cada tema.

### 3 – Classificação das imagens Ikonos e Worldview

220

Através da classificação das imagens pode-se observar e compreender a importância do Parque Estadual da Serra da Tiririca no contexto de Unidade de conservação da Natureza no Estado do Rio de Janeiro. A análise dos resultados apresentados foi feita de forma quantitativa uma vez que os sensores apresentam características diferentes. O mais importante foi perceber que mesmo se tratando de sensores distintos e imagens adquiridas em anos diferentes, pode-se comprovar o quantitativo de Floresta Ombrófila Densa em estágio avançado de conservação encontrado no PESET (SANTOS *et al.*, 1998). Os mapas a seguir demonstram esse quantitativo que reforça a categoria de proteção integral da unidade (SNUC, 2000), bem como seu papel relevante na conservação da natureza existente na área da pesquisa. Os mapas temáticos (Fig. 2a e 2b) apresentam a classificação supervisionada por crescimento de regiões obtidas pelo software de Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING (produzido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE/ Brasil) posteriormente refinadas no software ArcGIS produzido pela Esri.

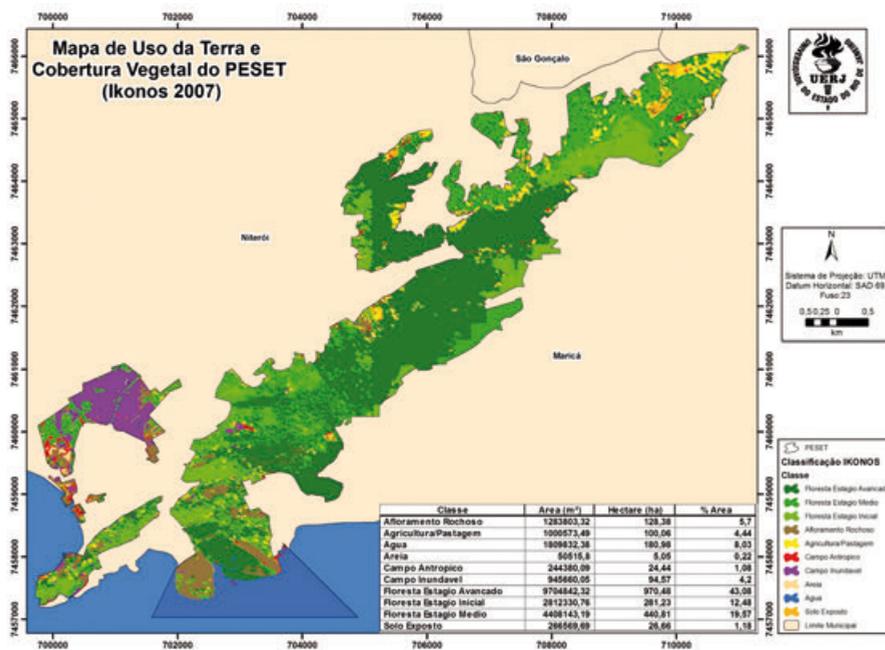


Fig.2a – Classificação supervisionada Ikonos.

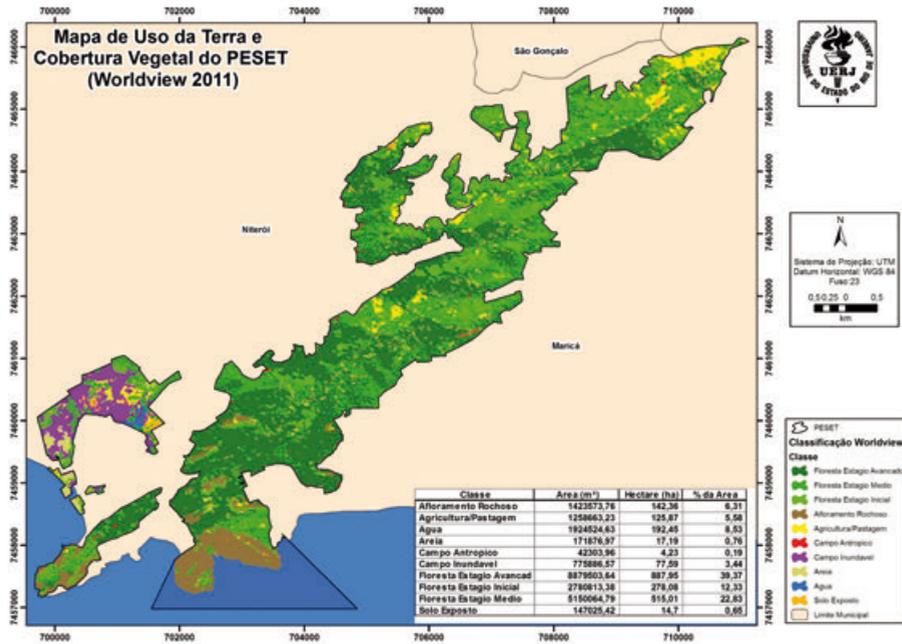


Fig.2b – Classificação supervisionada Worldview.

Fazendo-se uma comparação quantitativa entre as classes mapeadas em cada imagem pode-se avaliar que entre os anos de 2007 e 2011 tivemos algumas alterações conforme indicado (tabela 1 e tabela 2) a seguir:

Tabela 1 – Valores obtidos na classificação da imagem IKONOS de 2007.

CLASSE	HECTARE (ha)	% ÁREA
Afloramento Rochoso	128,38	5,70
Agricultura/Pastagem	100,06	4,44
Água	180,98	8,03
Área	5,05	0,22
Campo Antrópico	24,44	1,08
Campo Inundável	94,57	4,20
FEA	970,48	43,08
FEI	281,23	12,48
FEM	440,81	19,57
Solo Exposto	26,66	1,18
TOTAL	2255,42	100,00

Tabela 2 – Valores obtidos na classificação da Imagem Worldview de 2011.

CLASSE	HECTARE (ha)	% AREA
Afloramento Rochoso	142,36	6,31
Agricultura/Pastagem	125,87	5,58
Água	192,45	8,53
Areia	17,19	0,76
Campo Antrópico	4,23	0,19
Campo Inundável	77,59	3,44
FEA	887,95	39,37
FEI	278,08	12,33
FEM	515,01	22,83
Solo Exposto	14,70	0,65
TOTAL	2.255,42	100,00

A partir da diferença entre as duas tabelas pode-se avaliar em termos quantitativos o quanto cada classe obteve alteração positiva ou negativa (tabela 3) em relação ao uso da terra e cobertura vegetal.

Tabela 3 – Diferença quantitativa das classes de Uso da Terra e cobertura vegetal entre os anos de 2007 e 2011.

CLASSE	HECTARE (ha)	% AREA
Afloramento Rochoso	13,98	0,61
Agricultura/Pastagem	25,81	1,14
Água	11,47	0,50
Areia	12,14	0,54
Campo Antrópico	-20,21	-0,90
Campo Inundável	-16,98	-0,76
FEA	-82,53	-3,71
FEI	-3,15	-0,16
FEM	74,19	3,27
Solo Exposto	-11,95	-0,53

Avaliando-se as tabelas acima, podemos comprovar que tanto nos anos de 2007 quanto em 2011 o quantitativo de Floresta Ombrófila Densa em Estágio Avançado (FEA) de Conservação encontra-se com o valor bem acima de qualquer outra classe de uso da Terra e cobertura vegetal, ressaltando um dos mais importantes objetivos da criação do parque que é o de proteção dos remanescentes de floresta em bom estado



de conservação. Os estágios de Floresta em Estado Inicial (FEI) e intermediário de conservação também superaram as demais classes demonstrando a relevância da preservação da unidade. Dentre as demais classes vale ressaltar o decréscimo do valor da classe “campo antrópico (área urbana)” devido à política de desapropriação de algumas construções que se encontravam nos limites da unidade.

Na tabela da diferença pode comprovar que algumas classes como a (FEA) apresentaram um pequeno decréscimo da sua área em termos absolutos enquanto a Floresta Estágio médio (FEM) obteve um aumento significante entre 2007 a 2011.

#### 4 –Proposta de Zoneamento Ambiental para o Parque Estadual da Serra da Tiririca (PESET)

Seguindo a proposta de plano de manejo (INEA, 2010) os parques podem conter as zonas de preservação e conservação, áreas de visitação, uso especial, uso conflitante, áreas de recuperação e histórico-cultural. A zona de preservação deve, preferencialmente, estar localizada no centro da UC, e estar sempre protegida pela zona de conservação. A área de uso especial conterà as edificações para a administração e poderá incluir uma faixa na periferia de toda a UC, destinada a acessos. A área de visitação deverá também estar localizada na periferia da UC, de maneira a levar o visitante e o pesquisador a desfrutar de seus atributos. Tanto a área de uso especial, quanto a de visitação devem estar localizadas somente na zona de conservação. A área histórico-cultural poderá ou não existir, em razão dos atributos específicos de ordem histórica, religiosa, cultural, arqueológica e paleontológica que ocorram na UC (INEA, 2010). As áreas de recuperação e de uso conflitante também terão localização aleatória em razão da existência de condições que levem à necessidade de sua implantação. Essas três últimas devem estar localizadas somente na zona de preservação. Nessa pesquisa optou-se em contemplar cinco das sete categorias para a proposta de zoneamento ambiental em parques estaduais.

As classes de uso da Terra e cobertura vegetal foram agrupadas de acordo com a sua relevância ambiental e distribuídas entre as zonas (tabela 4), como demonstrado a seguir:

Tabela 4 – Agrupamento das classes para o zoneamento ambiental.

ZONEAMENTO	CLASSE	HECTARE (ha)	% da ÁREA
Área de Recuperação	Agricultura/Pastagem	157,76	7,00
	Areia Solo Exposto		
Área de Uso Conflitante	Campo Antrópico	4,23	0,19
Área de Uso Especial	Afloramento Rochoso	142,36	6,31
Zona de Conservação	Floresta Estágio Inicial	793,09	35,16
	Floresta Estágio Médio		
Zona de Preservação	Água	1.157,99	51,34
	Campo Inundável		
	Floresta Estágio Avançado		

O mapa a seguir ilustra a proposta de Zoneamento ambiental (Fig.3) para o Parque Estadual da Serra da Tiririca elaborado nesta pesquisa:

224

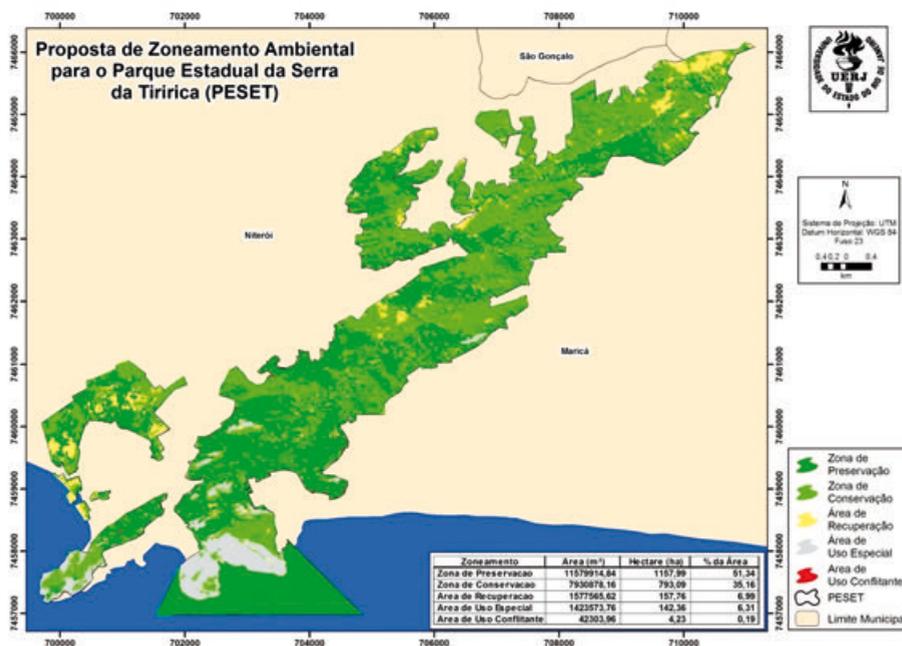


Figura 3 – Mapa de Zoneamento Ambiental.

## 5 – Considerações finais

O presente artigo teve como objetivo demonstrar a importância do Sistema de Informação Geográfica (SIG) no auxílio aos estudos de uso da Terra e cobertura vegetal no Parque Estadual da Serra da Tiririca. A classificação obtida no SRING reforça a importância deste software para o processamento digital de imagens. A utilização do software ArcGIS, correspondeu a pós-classificação, tendo como fundamento a interpretação visual aliada ao reconhecimento das classes em campo, pois o conhecimento da área de estudo pelo intérprete se fez necessário para uma melhor avaliação e apresentação dos resultados.

Em relação às áreas protegidas por lei, os impactos indesejáveis da ação do homem sobre os recursos naturais, associados ao modelo de desenvolvimento incompatível com a ética sustentável, tem se tornado cada vez mais visíveis. Assim, a necessidade de compreender a dinâmica dos recursos naturais, agora dominado pelas ações antropogênicas, tem colocado o ambiente natural como objeto de estudo em diversas áreas do conhecimento humano, dentre as quais a Geomática.

Conhecer a distribuição geográfica dos recursos naturais, das ações antropogênicas e da dinâmica do uso da Terra e cobertura vegetal é elemento imprescindível

para subsidiar o planejamento, o monitoramento e a gestão ambiental. Com a contínua transformação do espaço geográfico, representado pelas mudanças no uso e cobertura da terra, o monitoramento dos recursos naturais tornou-se fundamental, na medida em que a base desses recursos é condição essencial ao desenvolvimento sustentável.

A comparação feita entre as imagens IKONOS e WORLDVIEW só foi possível mediante a uma reamostragem dos pixels da segunda uma vez que o tamanho do pixel poderia influenciar no cálculo comparativo e quantitativo entre as imagens. Através do trabalho de campo na área da pesquisa, pode-se validar e refinar a classificação obtida através do processamento digital. Apesar de serem sensores distintos com características espectrais diferentes, a pesquisa pode ser realizada devido a relação quantitativa que foi o foco comparativo entre as imagens.

No mapeamento de uso da Terra e cobertura vegetal, foi adotada uma classificação que pudesse ser compatível com a realidade do Parque. Convém dizer que a classificação é antes de tudo uma representação da realidade e nunca a mesma, reforçando a necessidade dos trabalhos de campo e do conhecimento da área de estudo no processo de agregação das classes, de modo a diminuir as disparidades entre a realidade e a modelagem obtida.

O mapa de Zoneamento Ambiental procurou demonstrar a importância de um ordenamento territorial compatível com a realidade encontrada no parque. Sabe-se da importância estratégica de um estudo capaz de apontar políticas territoriais compatíveis com a realidade de uma Unidade de Conservação. A partir dessa proposta a os tomadores de decisão, responsáveis pela gestão da Serra da Tiririca, poderão elaborar um plano de manejo que atenderá às necessidades do parque.

Dessa forma, considerando que as geotecnologias formam conjunto de tecnologias para a coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência espacial, sua utilização torna-se imprescindível para a tomada de decisões no âmbito da gestão ambiental estratégica no Parque Estadual da Serra da Tiririca.

Diante disso, vale ressaltar a importância do Parque Estadual da Serra da Tiririca no contexto de Unidade de Conservação da Natureza no Estado do Rio de Janeiro e por ser um parque criado a partir de apelos populares, frente ameaça da crescente especulação imobiliária, necessita de uma gestão participativa entre o poder público e a sociedade.

**Agradecimentos** – À Universidade Estadual do Rio de Janeiro, ao Parque Estadual da Serra da Tiririca e ao Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA).

## 6 – Referências Bibliográficas

- BELTRÃO, M. (1978) – Pré-História do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Ed. Forense- Universitária/SEEC-RJ. 274p.
- BINS, L. S.; FONSECA, L. M. G.; ERTHAL, G. J.; MITSUO, F. (1986) - Satellite Imagery Segmentation: A Region Growing Approach. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, (SBSR), 14-19 abril - Salvador.
- CÂMARA, G. (1996) - Desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica no Brasil: Desafios e Oportunidades

- CARVALHO, M.S., PINA, M.F. SANTOS, S.M. (2000) – Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicada à Saúde.
- RODRIGUES, C. R. (2004) - Uso de Geoprocessamento de Imagens e Sensoriamento Remoto como Subsídios para a Caracterização da Cobertura Vegetal e do Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Sistema Lagunar Piratininga – Itaipu / Niterói – RJ.
- SANTOS, L. A. F. e LIMA, J. P. C. (1998) - Potencial Florístico do Parque Estadual da Serra da Tiririca. In: Floresta e Ambiente, Instituto de Florestas Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Editora EDIL, V. 5, nº 1,
- INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (2010) - Roteiro metodológico para elaboração de planos de manejo: parques estaduais, reservas biológicas, estações ecológicas - Rio de Janeiro / Brasil
- SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA – SNUC (2000) - : lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000; decreto n. 4.340, de 22 de agosto de 2002. 4ª Edição. Brasília: MMA/SBF. 2004. 52 p.

GEOTECNOLOGIA E HISTÓRIA AMBIENTAL:  
O USO DE DETECÇÃO DE MUDANÇA TEMPORAL NA PRODUÇÃO  
SUCROALCOOLEIRA EM GOIÁS, BRASIL

GEOTECHNOLOGY AND ENVIRONMENTAL HISTORY:  
THE USE OF TIME CHANGE DETECTION IN PRODUCTION  
OF SUGARCANE IN GOIÁS, BRAZIL

S. D. e Silva<sup>1</sup>, N. C. da Silva<sup>2</sup>, E. S. Campos<sup>2</sup> & O. A. de Carvalho Junior<sup>3</sup>.

**Resumo:** Esse trabalho apresenta uma metodologia para analisar a expansão agrícola da cana-de-açúcar para produção sucroalcooleira na microrregião de Ceres, Estado de Goiás, região Centro-Oeste brasileira. Essa região, originariamente de vegetação de Cerrado florestal era conhecida, até a primeira metade do século XX como Mato Grosso de Goiás, em função da extensa área de floresta que foi devastada para produção agrícola. O estudo objetiva examinar a mudança temporal do uso da terra a partir de imagens de sensores remoto e construção de mapeamento temático de uso da terra e cobertura vegetal com imagens do satélite Landsat 5, coletados no período de 2005 a 2011 no município de Itapuranga, Estado de Goiás. Consideramos relevante ferramenta para estudos relacionados a História Ambiental na medida em que permite a detecção de mudança em diferentes tempos.

**Palavras-chave:** Expansão sucroalcooleira, História Ambiental do Cerrado, Geotecnologia, Série Temporal.

*Abstract: This paper presents a methodology to analyze the agricultural expansion of sugar cane to the production of sugar and ethanol in the microregion of Ceres, State of Goiás, Midwest of Brazil. This region, originally of Cerrado vegetation forest was known until the first half of the twentieth century as Mato Grosso of Goiás, because of the extensive forest area which was devastated by the agricultural production. The study aims to examine the land use*

---

<sup>1</sup> Universidade Paulista. Email: sandrodutr@hotmail.com.

<sup>2</sup> UniEVANGELICA.

<sup>3</sup> Departamento de Geografia da UnB.

*time changes from remote sensor data and the construction of thematic mapping of land use and land cover with Landsat 5 satellite imagery, collected from 2005 and 2011 in the municipality of Itapuranga, State of Goiás. We consider the remote detection a relevant tool for studies related to Environmental History as it allows the recognition of change in different times.*

**Keywords:** *Expansion of sugarcane, Change Detection, Environmental History of the Cerrado, Geotechnology.*

## 1 – Introdução

Na busca por fontes renováveis de energia, tem-se estimulado cada vez mais a produção de bioenergias, capazes de atender não somente a crescente demanda energética mundial como também a necessidade urgente na redução dos danos ambientais resultantes da poluição causada pela queima de combustíveis derivados do petróleo. O mapeamento do uso da terra e da paisagem vegetal pode ser feito a partir de sensores colocados em satélites por meio da geração de imagens o que permite conhecer a fisionomia da terra, mensurar o tamanho de áreas degradadas, quantificar a área ocupada por safra agrícola ou alagada em função do represamento de algum curso de água, dentre outros. Logo, as técnicas de Sensoriamento Remoto tornam-se cada vez mais eficazes a proteção ambiental do planeta e ao desenvolvimento do homem em diferentes espaços (JENSEN, 2009).

O presente trabalho procura apresentar os efeitos da devastação do Cerrado decorrente da expansão da produção sucroalcooleira a partir do geoprocessamento de imagens (dados) coletadas de satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) tendo como recorte espacial a microrregião de Ceres em Goiás (localizada na mesorregião do Centro Goiano), e mais particularmente o município de Itapuranga, no período entre 2005 a 2011, período em que verificou-se uma grande expansão agrícola para fins sucroalcooleiros.

## 2 – O conceito de devastação e o seu uso nos estudos do cerrado

O cerrado destaca-se como um dos principais domínios macro paisagísticos do Brasil e estende-se por diferentes regiões do território brasileiro, realizando contatos e transições com outros biomas (Fig.1). Mas essa vegetação caracteriza-se pela diversidade fisionômicas que vai desde áreas de campo limpo (herbáceo/subarbustivo) ao cerradão (floresta). Segundo Coutinho (1990) a diversidade na paisagem do Cerrado deve-se, em grande parte, ao reflexo dos diferentes tipos de solo, bem como da incidência de ações antrópicas no cenário natural. As características ecológicas e geográficas apresentadas remetem a expressiva dimensão territorial e riqueza do bioma cerrado, mas também há de se considerar o intenso processo de devastação ambiental que se iniciou ainda nas primeiras décadas do século XX e que vem alterando de forma avassaladora o cerrado.

O uso do termo devastação é apresentado por Martinez (2006) como um termo recorrente na literatura e bibliografia pertinente, e que esteve presente na historiografia brasileira a partir da primeira metade do século XX. A utilização desse conceito em nosso texto justifica-se na vinculação deste com modelos agrônômicos e historiográficos que nos permite identificar a expansão agrícola no Cerrado.



Figura 1 - Mapa 1: Biomas Brasileiros. Fonte: IBGE.

No Brasil a “[...] agricultura de tipo monocultor, como a cana-de-açúcar, é apontada como o principal vetor da ocupação territorial e da suspensão da cobertura vegetal do país” (MARTINEZ, 2006, p. 56) indicando o uso do termo “devastação”. O autor ainda considera a relevância dessa temática na História Ambiental, na medida em que essa abordagem possibilita retomar um conjunto de problemas intrínsecos à formação da sociedade brasileira, como o uso e a ocupação do solo, as práticas agrícolas e a intensidade da apropriação da terra e dos recursos naturais, bem como a degradação ambiental que lhe seguiu, dentre outros. A conceituação que mais aproxima o termo dos estudos historiográficos é apresentada por Martinez (2006) como uma forma de exploração da natureza que é marcada por um conjunto de características, como, por exemplo, o utilitarismo exacerbado e predatório do solo, marcado por drásticas intervenções no ecossistema, de finalidade mercantil e caracterizado pela ausência de racionalidade no manejo dos recursos explorados.

### 3 – A expansão sucroalcooleira em Goiás

A expansão das plantações canavieiras na microrregião de Ceres em Goiás é um fato construído historicamente, que carrega em si todo um contexto jurídico, sociológico e científico. Esta região experimentou um aumento demográfico significativo a partir das décadas de 1940, quando políticas governamentais foram implantadas para garantir a imigração e povoamento dessa nova área agrícola, que forneceria matérias primas e alimento para abastecer os grandes centros urbanos em expansão no país. Porém, a partir da década de 1980, foi verificado o deslocamento da produção de alimentos para a produção dos biocombustíveis. O setor sucroalcooleiro em Goiás, iniciado na década de 1970, quando foram instaladas unidades produtoras nas regiões Centro-Norte e Sudoeste. A expansão do sistema de produção de energia alternativa foi se implantando no restante do estado de Goiás de forma mais lenta, sendo que no final da década de 1990 não havia mais que 15 indústrias instaladas no Estado. A partir dos anos 2000 ocorreu um novo fluxo migratório de empresas e de trabalhadores para Goiás, sendo que a partir

de 2006 o Estado passou a fazer parte do Plano Nacional de Agroenergia, contando em 2009 com 30 unidades industriais de produção de açúcar e álcool (SILVA *et al.*, 2011).

Os estudos de geoprocessamento da Canasat (2010) apontam para uma expansão significativa de áreas cultivadas, verificando um incremento de 184% em áreas cultivadas entre as safras agrícolas 2005/2006 para 2010/2011, na microrregião de Ceres, onde localiza-se Itapuranga. Os dados da Canasat (2010) apontam que o município de Itapuranga apresentava em 2005/06 uma área plantada de 406 hectares, saltando para 6.450 hectares para o período de 2010/11, uma expansão agrícola de 1.588%. Isso se deve ao fato de que a usina localizada no município havia sido fechada em função da crise do Proálcool e reabriu recentemente com a retomada dos investimentos em etanol, sob o controle de outra empresa, a Vale Verde Empreendimentos Agrícolas Ltda (MAPA, 2010).

#### 4 – Metodologia para detecção de mudança de uso de solo

O grupo de pesquisa em análise temporal do Programa de Mestrado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente da UniEVANGÉLICA está desenvolvendo um sistema (Software) para análise de mudanças em imagens de séries temporais que permite a quantificação das transformações espaciais registradas por imagens de sensores remotos em diferentes tempos. O sistema está em operação para dados bitemporais utilizando uma abordagem de classificação não-supervisionada denominado Mapas de Características Auto-Organizáveis (KOHONEN, MÄKISARA, 1989) e está se ampliando o método para séries multitemporais e para utilização de algoritmos supervisionados (CARVALHO *et al.*, 2011). A metodologia para o desenvolvimento deste tipo de análise passa pelas seguintes fases: 1. Levantamento de imagens multitemporais de uma mesma região de interesse; 2. Caracterização e seleção de amostras de alvos a serem analisados; e 3. Utilização do software para aplicação de algoritmos de detecção de mudanças nas imagens.

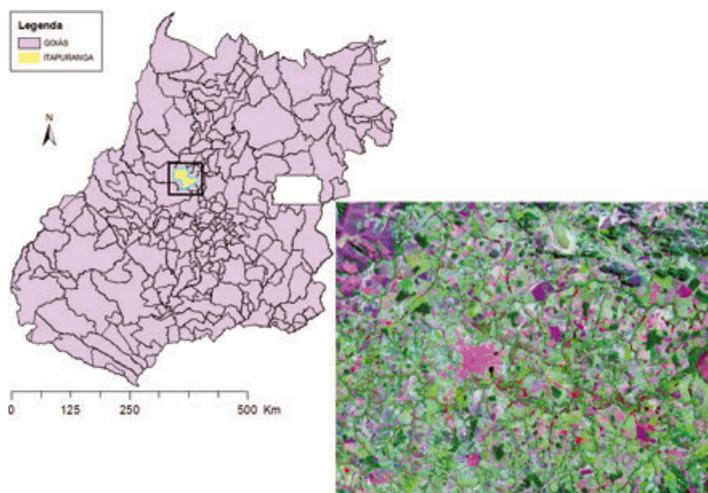


Figura 2. Localização do município de Itapuranga no estado de Goiás, Brasil e imagem de satélite de 09/04/2005.



As figuras 2 e 3 mostram composições RGB com as bandas 3, 4 e 5 do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5, respectivamente dos anos de 2005 e 2011 da região do município de Itapuranga localizado no estado de Goiás, Brasil.

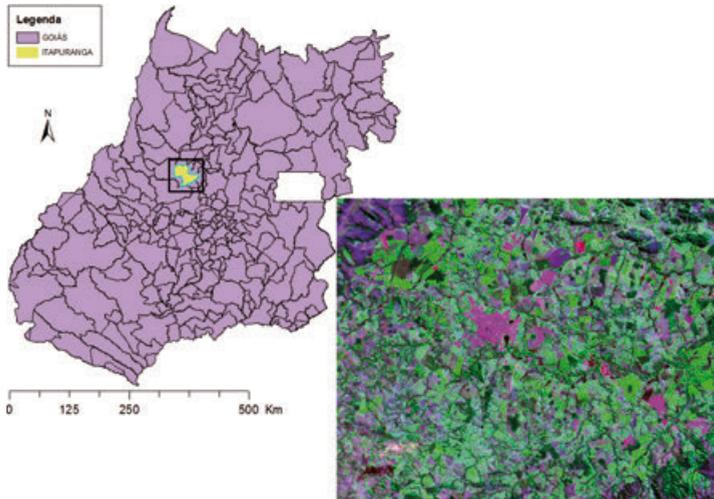


Figura 3. Localização do município de Itapuranga no estado de Goiás, Brasil e imagem de satélite de 26/04/2011.

Com a instrumentação do software de análise de mudanças, as diferenças de distribuições de alvos de interesse entre as imagens de satélites das figuras 1 e 2, podem ser quantificadas. Assim, as evoluções e regressões de monoculturas, tais como cana de açúcar, soja e outras de interesses sociais e econômicos podem ser mapeadas e analisadas do ponto de vista quantitativo e qualitativo.

## 5 – Conclusões

Esse estudo é parte de um projeto de pesquisa aprovado pelo Programa Nacional de Cooperação Acadêmica – Novas Fronteiras (CAPES/PROCAD-NF nº 21/2009) cujo objetivo geral é analisar a evolução dos processos de mudanças na cobertura do solo em áreas de Cerrado no Estado de Goiás e seus impactos socioambientais, tendo como recorte temporal a década de 1970, marco da expansão das fronteiras agrícolas na região Centro-Oeste do Brasil. Nossa intenção, no pouco espaço que o texto permite, é apresentar parte dessa discussão, envolvendo as ferramentas de geotecnologias como apoio na discussão das mudanças temporais, sob a orientação dos pressupostos da História Ambiental. Assim, o exercício da multidisciplinaridade nos estudos ambientais ampliam os olhares e as abordagens dos diferentes objetos que as diferentes disciplinas procuram investigar. Portanto, consideramos relevante socializar experiências, mesmo que pesquisas situem em estágio prévio de observação e uso de diferentes procedimentos e ferramentas científicas.

Desse forma, consideramos que, a partir da expansão desordenada da cultura de cana-de-açúcar, principalmente, na última década, aconteceu e vem acontecendo progressivamente, a degradação do cerrado pelo processo de ocupação humana aliado a falta de políticas públicas de meio ambiente. Diante desse cenário, as áreas nativas vêm diminuindo e várias espécies de fauna e flora são extintas a cada dia.

As imagens de satélite são consideradas fontes seguras por apresentarem informações úteis, que permitem uma visão espacial, espectral e temporal da superfície terrestre. A resolução espacial indica o tamanho do menor objeto que é possível representar em uma imagem; a resolução espectral indica a quantidade de regiões do espectro eletromagnético nas quais o sensor é capaz de gerar uma imagem em níveis de cinza; a resolução temporal refere-se ao intervalo de tempo em dias ou horas, no qual o sistema demora para obter duas imagens consecutivas da mesma região sobre a terra.

A partir daí, é possível coletar dados de grandes áreas, minimizar os custos e obter resultados estatísticos que sirvam de referencial para a tomada de decisões e políticas de meio ambiente que possam garantir o desenvolvimento e a preservação ambiental de uma determinada região (FLORENZANO, 2007).

O conhecimento amplo de uma determinada paisagem é de vital importância para adequar ou propor políticas ambientais de preservação e desenvolvimento sustentável a partir das transformações impostas pelo homem. Nesse sentido, as últimas décadas tem evidenciado grande desenvolvimento econômico e degradação ambiental provocadas por destruição de grandes áreas vegetais rurais justificadas pelo intenso processo de urbanização dos municípios brasileiros.

Em Goiás, esse processo não foi diferente. Nesse viés, a microrregião do Município de Ceres – Goiás ocupa uma área de aproximadamente, 13.163,014 Km<sup>2</sup> e abrange vinte e dois municípios: Barro Alto, Carmo do Rio Verde, Ceres, Goianésia, Guaraíta, Guarinos, Hidrolina, Ipiranga de Goiás, Itapaci, Itapuranga, Morro Agudo de Goiás, Nova América, Nova Glória, Pilar de Goiás, Rialma, Rianópolis, Rubiataba, Santa Isabel, Santa Rita do Novo Destino, São Luís do Norte, São Patrício e Uruana.

A região possui intensa ação antrópica e são preocupantes os problemas já enfrentados pelas comunidades locais tais como: processos erosivos, contaminação dos mananciais hídricos por agrotóxicos, pecuária extensiva desordenada, despejo de esgoto nos mananciais hídricos, remoção de areia e argila para a construção civil, dentre outros.

Nesse sentido, o estudo da paisagem vegetal por técnicas de sensoriamento remoto torna-se eficaz, tanto para permitir um monitoramento que detecte os problemas de devastação e desmatamento de modo a facilitar a obtenção de informações eficazes tanto para a fiscalização ambiental, quanto para a implementação de programas de recuperação do ambiente degradado garantindo um melhor desenvolvimento para as populações envolvidas.

## Referencias Bibliográficas

CANASAT (2010) - Mapeamento de cana via imagens de satélite de observação da terra. Relatório de área de cana, safra e reforma na região Centro-Sul. <http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/index.jsp>. (consultado em 25.07.2010)

CARVALHO Júnior O.A., GUIMARÃES R.F., GILLESPIE A.R., SILVA N.C., GOMES R.A.T (2011). A New Approach to Change Vector Analysis Using Distance and Similarity Measures. Remote Sensing.

- CASTILHO, Denis (2009). A dinâmica socioespacial de Ceres/Rialma no âmbito da modernização em Goiás: território em movimento, paisagens em transição. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, UFG.
- FLORENZANO, Teresa Galloti (2007). Iniciação em Sensoriamento Remoto: Imagens de Satélite para Estudos Ambientais. 2. ed. São Paulo, editora: Oficina de Textos.
- IBGE (2011) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE lança o Mapa de Biomas do Brasil e o Mapa de Vegetação do Brasil, em comemoração ao Dia Mundial da Biodiversidade. <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia>. (consultado em 02.01.2011)
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. (2012). Divisão de Geração de imagens. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: fevereiro de 2012.
- JENSEN, John R (2009). Sensoriamento Remoto do Ambiente. 1. ed. São Paulo: Editora Parêntese, 2009. 672 p.
- KOHONEN T. e; MÄKISARA K. 1989. The self-organizing feature maps. *Physica Scripta*, 39: 168.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2010). Relação das Unidades produtoras Cadastradas no Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia.. <http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/vegetal/culturas/cana-de-acucar>. (consultado em 25.07.2010)
- MARTINEZ, Paulo Henrique (2006). História Ambiental no Brasil: pesquisa e ensino. São Paulo; Cortez.
- SCHOWENGERDT, R. Antony (2007) - Remote Sensing - Models and Methods for Image Processing, Editora Academic Press.
- SILVA, Sandro Dutra e; PIETRAFESA, José Paulo; TAVARES, Giovana Galvão (2011). As fronteiras do progresso e a devastação da natureza: frentes, marchas e expansão desenvolvimentista na exploração agrícola do Cerrado em Goiás. Anais do II Workshop Internacional de História do Ambiente: desastres ambientais e sustentabilidade & GISDAY 2011. Florianópolis, SC.

(Página deixada propositadamente em branco)

CONTRIBUTOS DA DETECÇÃO REMOTA PARA A EVIDÊNCIA  
E LOCALIZAÇÃO DE PEGMATITOS EM CONTEXTO  
INTRA-GRANÍTICO – PONTE DA BARCA (MINHO)

CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING TO THE EVIDENCE  
AND LOCATION OF GRANITE HOSTED PEGMATITES  
– PONTE DA BARCA (MINHO)

B. Pereira<sup>1</sup>, J. Azevedo<sup>1</sup>, J. Oliveira<sup>1</sup>, P. Dias<sup>1</sup>, C. Leal Gomes<sup>2</sup>, J. Carvalho<sup>3</sup> & A. Marques<sup>3</sup>

**Resumo** – Em contexto de prospecção de bolsadas pegmatíticas hospedadas em granitos da região de Ponte da Barca, procurou-se, combinando técnicas de análise distanciada e levantamento de campo, detectar interfaces litológicas com as quais se pudesse relacionar a organização espacial e estrutural dos pegmatitos aí aflorantes. A evidência de alinhamentos curvilíneos em imagens do Landsat, sobretudo bem marcados nas imagens que resultam da aplicação de algoritmos de classificação Maxver, são compatíveis com a existência de fluidalidades planares ou plano-lineares concêntricas, possivelmente herdadas de plumas de “ballooning”, verificando-se uma correlação espacial entre a localização dos pegmatitos e as suas periferias, que separam domínios diferenciados de “clustering” de fenocristais.

**Palavras-chave** – Pegmatitos; Detecção remota; Alinhamentos curvilíneos; Plumais de “ballooning”; Invariância escalar

*Abstract* – Within the context of prospecting operations of pegmatite bodies hosted in granites in the Ponte da Barca region, we sought to detect lithologic interfaces from which the relationship between the spatial and structural organization of the outcropping pegmatite bodies could be established, by combining field work and remotely sensed data analysis. The evidence of curvilinear alignments in LANDSAT imagery, especially well-marked in the images obtained from the application of classification algorithms, are compatible with the

---

<sup>1</sup> Sinergeo, Lda – Edifício IEMinho, Lugar de Casal, 4730-575, Soutelo, VILA VERDE; geral@sinergeo.pt

<sup>2</sup> DCT, Universidade do Minho – Campus de Gualtar, 4710-057, BRAGA; caal.gomes@gmail.com

<sup>3</sup> GGC, Lda - Rua Cunha Jr., 41 - B - s 1.6, 4250-186, PORTO, jhc@ggconsult.com.pt

*existence of concentric planar or plan-linear fluidalities, possibly inherited from ballooning plumes. We thus verified a spatial correlation between the pegmatite outcrops and ballooning plumes peripheries, which separate different domains of phenocrystalline clustering.*

**Keywords** – Pegmatites; Remote sensing; Curvilinear alignments; Ballooning; Scalar invariance

## 1 – Introdução

No âmbito das atividades de I&DT da empresa Sinergeo Lda., encontra-se em curso o projecto PROSPEG dedicado à investigação em prospecção e pesquisa de pegmatitos graníticos, apoiado pela Agência de Inovação ao abrigo do QREN, tendo como co-promotora a Universidade do Minho e consultora a empresa Geologia Geotecnia Consultores Lda.

É objetivo geral do projeto o desenvolvimento de articulações em interface entre a prospecção geológica e a análise distanciada, com vista à detecção remota de pegmatitos com potencial interesse económico, procurando a quantificação da expressão morfológica, cromática, textural e espectral de corpos pegmatíticos e seus indícios aflorantes e guias de prospecção (PEREIRA *et al.*, 2011).

Em estágio estratégico as ações de prospecção incidem sobre um conjunto de áreas-chave que são, reconhecida ou hipoteticamente, férteis no que respeita à ocorrência de pegmatitos com interesse económico comprovado. Essas áreas podem ser encaradas como compartimentos da Província Pegmatítica Varisca do Norte e Centro de Portugal, onde ocorrem classes e tipos de pegmatitos em situações intra a exo-graníticas, com uma grande diversidade estrutural, morfométrica, mineralógica e económica.

Na região do Minho, concentraram-se os trabalhos de prospecção numa área que faz parte dos concelhos de Ponte da Barca e Terras de Bouro, onde se reconhecem numerosas explorações de quartzo abandonadas. Algumas destas explorações foram convertidas mais recentemente para a produção de agregados, a partir dos granitos hospedeiros.

Trabalhos anteriores dedicados ao estudo dos pegmatitos aí aflorantes, descrevem a sua morfologia, estrutura interna e paragénese e sugerem alguns guias úteis para prospecção (SILVA, 2002).

Na expectativa de contribuir para a dedução de um método de evidência de minerais cerâmicos pegmatíticos e admitindo uma relação estreita entre a instalação das bolsas e a sua localização, morfometria e morfoscopia, combinou-se um estudo de análise distanciada, com recurso a imagens multiespectrais do sensor LANDSAT e imagens disponibilizadas pelo Google Earth Pro, combinada com levantamentos cartográficos de pormenor em alvos remotos revelados. A manipulação das imagens de satélite operou-se através do “software” SPRING (CAMARA *et al.*, 1996).

## 2 – Estudo da distribuição regional das ocorrências pegmatíticas

Os pegmatitos que ocorrem na região de Ponte da Barca são, essencialmente, bolsas intra-graníticas, mais ou menos isodiamétricas ou irregulares, de dimensões variáveis

(SILVA, 2002). Trata-se de corpos zonados com quartzo muito abundante ( $Qz > Fk$ ) que na classificação de GINSBURG *et al.*, (1979) correspondem a pegmatitos cerâmicos, predominantemente potássicos sem grandes unidades tardias e com unidades estruturais internas hiperaluminosas (SILVA, 2002).

A cartografia geológica relativa à área em estudo encontra-se na folha 5-B – Ponte da Barca - à escala 1:50000 de TEIXEIRA *et al.* (1974).

Aí encontram-se representadas as principais manchas correspondentes à discriminação regional entre litótipos graníticos. Distinguem-se os granitos de duas micas, predominantemente biotíticos, inferidos como calco-alcalinos, que incluem conjuntos de fácies predominantemente porfiroides, relativamente aos granitos, referidos como alcalinos, não porfiroides.

A distribuição das manchas de fácies contrastantes, tal como se observam na carta 5B, apresenta-se, por decalque e conversão vectorial, na Fig. 1.

A Sul, o granito porfiroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro ( $g\pi g$ ) é predominante. Do ponto de vista petrográfico apresenta fenocristais de feldspato alcalino com cor branca, dimensão grosseira. Os conteúdos de biotite são variáveis. Relacionam-se com estas fácies, alguns enclaves microgranulares de composição intermédia, dioríticos a tonalíticos. Na sua área de afloramento notam-se ainda faixas de grande concentração de corpos básicos filonianos equivalentes a lamprófiros e microdioritos. A dispersão de atitudes dos filões organiza-se em famílias de azimutes ENE-SSW, NE-SW e NW-SE.

Na mesma Fig. 1, a Norte, afloram granitos não porfiroides com variabilidade petrográfica significativa. Além de importantes modificações na granulometria que levam a separar fácies de grão médio a grosseiro ( $g'g$ ) das fácies com grão médio a fino ( $g'm$ ), ainda se observam variações nos conteúdos modais de biotite.

Também se reconhecem ocasionais faixas de enclaves de rochas metassedimentares representadas perto do limite entre granitos “calcoalcalinos” e “alcalinos” junto dos pegmatitos de Pedra da Moura. Como referem LEAL GOMES & LOPES NUNES (2003) e LEAL GOMES *et al.*, (2009, 2010), a proliferação destes corpos pode indiciar que a produtividade pegmatítica neste local se deve a processos de contaminação em consequência de “mixing” e “mingling”, o que também é apoiado pela existência de micro-concentrações de hornblenda observadas no estudo petrográfico de fácies graníticas situadas na proximidade dos corpos pegmatíticos (SILVA, 2002).

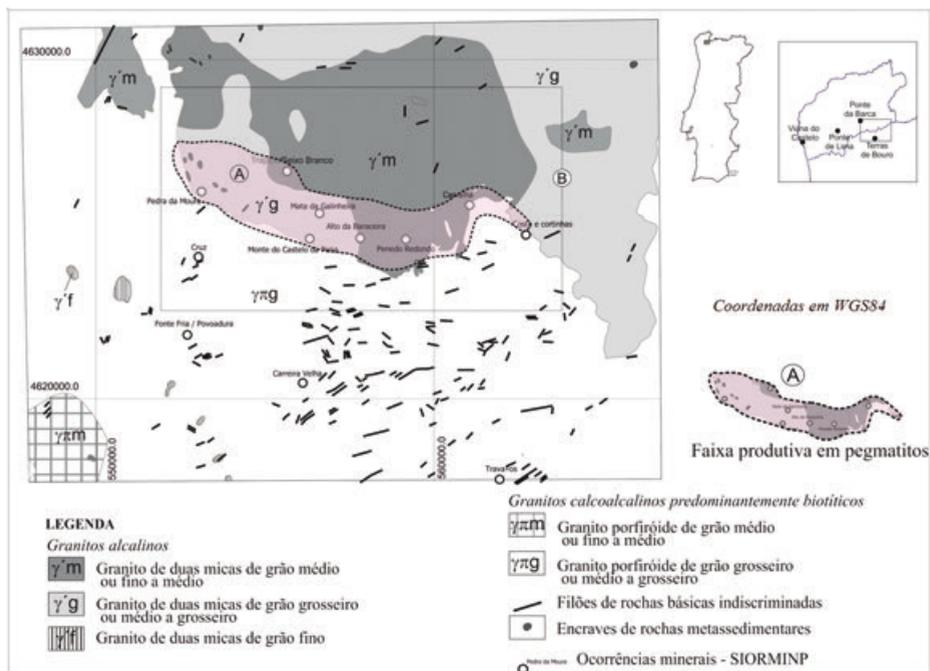


Fig. 1 – Distribuição das concessões mineiras antigas dedicadas ao quartzo e feldspato no sector do campo pegmatítico de Ponte da Barca em relação com a cartografia das fácies graníticas patente na folha 5 B. Delimitação de uma faixa produtiva em pegmatitos ao longo de um contacto múltiplo litológico na área abrangida por este estudo e assinalada com a letra A.

A distribuição de índices pegmatíticos e a sua relação com as manchas graníticas, pode refletir a existência de faixas produtivas graníticas cogenéticas. Conjugando os dados de distribuição das concessões mineiras dedicadas ao quartzo e feldspato, patentes na base de dados SIORMINP (2011), com a cartografia geológica da folha 5 B, percebe-se que a concentração cartográfica de índices pegmatíticos é mais consistente ao longo de um contacto múltiplo descrito como uma faixa, que acompanha os granitos  $\gamma g$  e  $\gamma m$  na interface com a mancha maior de afloramento da fácies  $\gamma g$  (Fig.1).

A faixa produtiva, delimitada na Fig. 1, deduzida a partir daquela conjunção, pode ser equivalente a um corredor de implantação de granitos cogenéticos, na sua porção apical. Tendências de evolução magmática primária, às quais se associa potencialmente, uma fraccionação pegmatítica, podem fornecer uma explicação para aquela organização espacial e estrutural.

### 3 – Detecção remota após classificação de imagens em interfaces produtivas

O estudo remoto das faixas de interface mais férteis por observação de imagens Landsat – bandas individuais e combinações RGB – realçadas por aumento de contraste



linear, permitiu pôr em evidência alguns alinhamentos, cujo traçado poderá depender de factores relacionados com entidades estruturais ou mineralógicas.

São perceptíveis em fotointerpretação, utilizando variações das intensidades de cinzentos e do contraste, alinhamentos com definição megaescalar que seguem direcções NNE-SSW e NW-SE, correspondentes possivelmente a estruturas de cisalhamento frágil atribuíveis à tectónica tardi-Varisca.

Outros alinhamentos perceptíveis em análise distanciada, correspondem a limites ou linhas de variação cromática e textural dos objetos à superfície; têm desenho fundamentalmente curvilíneo, por vezes concêntrico e concentram-se ao longo da principal faixa produtiva (Fig. 2A; cenário 1). Observa-se uma vizinhança entre estas configurações e a distribuição de alguns pegmatitos explorados.

Aplicando algoritmos de classificação de imagem Maxver (máxima verosimilhança) às bandas 2, 3 e 4 do Landsat e utilizando como guias para atribuição de pixéis algumas indicações chave provenientes da análise estrutural, obteve-se a imagem com cores artificiais da Fig. 2B (cenário 2). Estão aí representadas 3 cores contrastantes, que definem manchas as quais do ponto de vista espectral correspondem melhor aos granitos porfiroides (1), aos granitos de grão médio a fino (2) e a fácies porfiroides muito finas e lineamentares (3).

A extração de lineamentos a partir da imagem obtida por classificação realça os alinhamentos curvilíneos notados nas observações anteriores (fig. 2B; cenário 2), permitindo deduzir ainda outras situações com a mesma expressão geométrica que não eram aparentes sem a imagem tratada. Estes alinhamentos curvilíneos parecem pois resultar de contraste composicional e litológico, separando, grosseiramente, domínios diferenciados de “clustering” de fenocristais. Parece existir alguma correlação espacial entre a localização dos pegmatitos e os invólucros mais periféricos dos conjuntos de alinhamentos.

A restituição do cenário 1 à morfologia em Google-Earth (Fig. 2 C; cenário 3) é compatível com a existência de fluidalidades planares ou plano-lineares concêntricas intersectadas pela superfície topográfica em níveis elevados, eventualmente herdadas das protuberâncias de cúpula (plumas de “ballooning”) cortadas pela erosão, parecendo que as bolsadas pegmatíticas se localizam na sua periferia.

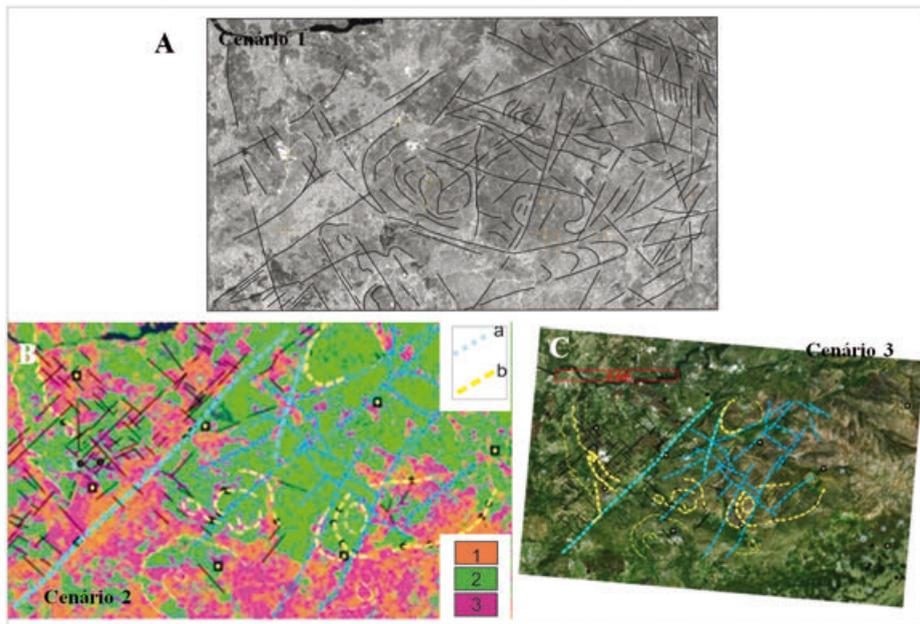


Fig. 2 – A - Extração de limites lineares e curvilíneos por fotointerpretação a partir de imagens remotas do satélite Landsat, lançados sobre uma imagem em tons de cinzento correspondente à sua banda pancromática (cenário 1); B - Imagem obtida por classificação Maxver de pixéis representativos de afloramentos de granitos porfíroides (1), granitos de grão médio a fino indiscriminados (2) e granitos lineamentares (3), com a localização das principais bolsadas pegmatíticas exploradas e extração dos alinhamentos evidentes (a- limites lineares correspondentes a estruturas de cisalhamento frágil e dúctil-frágil, b-alinhamentos curvilíneos relacionados com “ballooning”) (cenário 2). C - Restituição do cenário 2 à imagem do Google-Earth (cenário 3). Os limites da área correspondem ao campo B da Fig.1.

#### 4 – Cartografia detalhada

Elegeram-se áreas mais restritas para cartografia de pormenor com base na proliferação de alinhamentos curvilíneos estabelecidos nas imagens remotas.

Nestes sectores cartografados às escalas 1:5000 e 1:10000, além dos litótipos graníticos regionais descritos na cartografia 1:50000 publicada, identificaram-se novos tipos petrográficos, tendencialmente anómalos, que gradualmente transitam para as fácies regionais, e cuja disposição aproximadamente aureolar se parece relacionar com algumas geometrias estabelecidas à distância.

No sector de Germil (Fig. 3A) a transição entre o granito porfiroide  $gpg$  e a fácies de grão fino a médio, predominantemente leucocrata ( $g'm$ ), expressa-se pelo enriquecimento progressivo em biotite na fácies porfiroide da faixa de contacto. Sobre-concentrações de biotite aqui localizadas podem alcançar valores modais próximos de 70% (Fig.4 A). Uma explicação para a sua origem deve ser encontrada nas dinâmicas de fluxo e deslocação de fundentes.

Por hipótese, equilíbrios geoquímicos entre estes níveis refractários ainda impõem uma especialização hiperalumínica aos corpos pegmatíticos aflorantes no interior da mancha granítica de grão fino, onde é tipomórfica a andaluzite e eventualmente o corindo, em massas volumetricamente consideráveis formuladas perto do núcleo de quartzo das bolsadas.

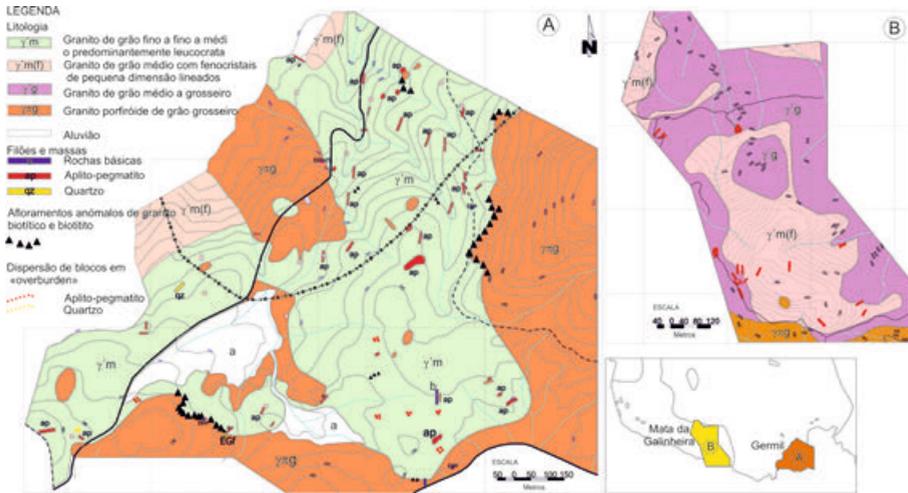


Fig. 3 – Cartas de pormenor obtidas em levantamentos de campo nos sectores de Germil (A) e Mata da Galinheira (B).

Na área da Mata da Galinheira (Fig. 3B) observa-se a transição gradual entre o granito de grão médio a grosseiro  $\gamma g$  e uma fácies porfiroide com fenocristais de feldspato potássico de pequena dimensão que surgem normalmente a definir uma lineação penetrativa (Fig. 4B). Nesta fácies lineamentar, com posicionamento mais ou menos cupular relativamente aos granitos envolventes, o arranjo geométrico dos fenocristais de feldspato potássico poderá ser funcional para o estabelecimento de componentes de fluxo magmático - fluidalidades lineares e planares. Nota-se também que a distribuição dos pegmatitos revela um carácter coincidente com os limites envolventes de proliferação de fluidalidades convolutas.

Na Fig. 4 apresentam-se alguns aspectos estruturais observados em afloramento, que parecem ter carácter chave para a interpretação das superfícies limite curvilíneas aparentes nas imagens do Landsat.

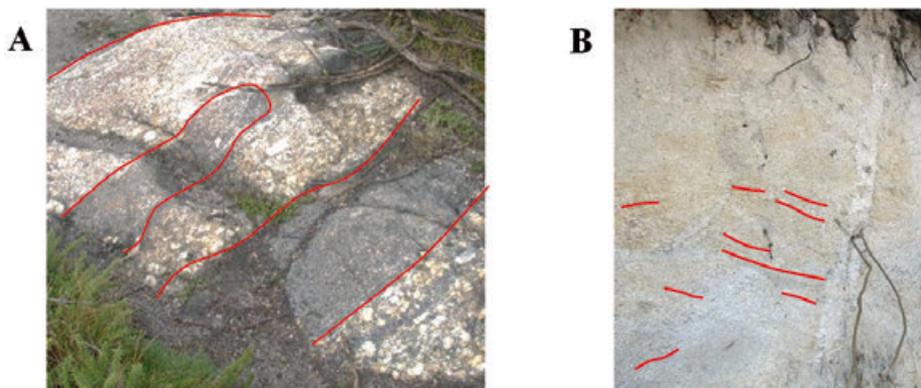


Fig. 4 – Aspectos estruturais observados em afloramentos dos sectores de Germil (A) e Mata da Galinheira (B) – “clustering” de fenocristais. Ver explicação no texto.

### 5 – Reconstituição geométrica

Como hipótese a proliferação de imagens de fluidalidades convolutas pode corresponder à expressão em afloramento de plumas de ascensão magmática diferenciada por “ballooning”, em resposta a eventuais contrastes de viscosidade e densidade dos diferenciados graníticos cogenéticos.

Com o intuito de obter um cenário 3D para a organização de plumas de “ballooning” e sua estruturação face às superfícies erosivas atuais, operou-se, uma manipulação em Google Earth Pro com distorção do cenário 2 (Fig. 2C) para um contexto 3D que é apresentado na Fig. 5.

A reconstituição tridimensional das estruturações primárias em pluma e “ballooning” está patente nas Fig. 5 B e C.

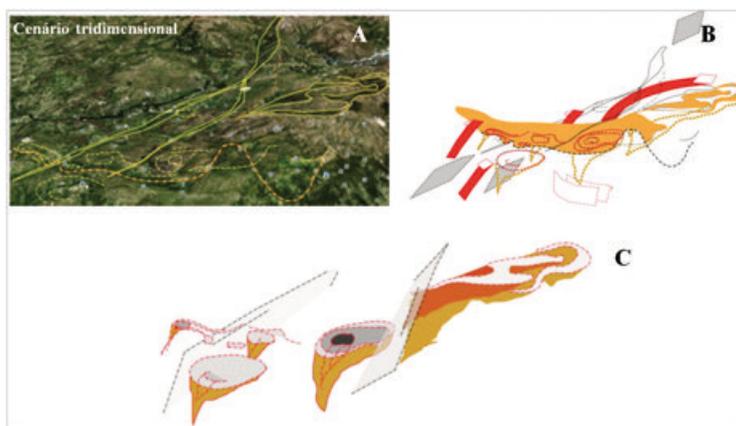


Fig. 5 – Reconstituição geométrica 3D da organização de plumas de “ballooning” intra-granítico na zona de contacto produtivo, deduzidas a partir de alinhamentos curvilíneos perceptíveis em análise distanciada.

A simulação das relações de intrusão também sugere o condicionamento tectónico responsável pela deslocação das trajetórias de fluxo, segundo um alinhamento gerado em regime dúctil, NE-SW. Esta hipótese sugerida anteriormente por SILVA (2002) para explicar o extravasamento lateral para SE das bolsadas pegmatíticas em gota invertida, após modelação tridimensional das morfologias de alguns pegmatitos deste sector, parece agora, também controlar a implantação e conformação de plumas de “ballooning” intra-granítico na zona de contacto.

Verifica-se ainda que as organizações de alinhamentos curvilíneos observados à escala da manipulação das imagens de satélite, não são espúrias podendo eventualmente ser reconhecidas em contexto mesoescalar.

Se vier a verificar-se válida a invariância escalar, GUIMARÃES & LEAL GOMES (2010) documentam um dispositivo em afloramento, em Castelo de Aboim perto da Mata da Galinheira, em que as geometrias limite, curvilíneas, que separam domínios diferenciados de “clustering” de fenocristais, poderiam ser do mesmo tipo genético das que se observam em análise distanciada (Fig. 6).



Fig. 6 – Dispositivo mesoescalar com evidência de domínios diferenciados de “clustering” de fenocristais, observado em Castelo de Aboim (GUIMARÃES & LEAL GOMES, 2010)

Assim, a existência de trajetórias de fluxo, mais ou menos convolutas, e a possibilidade da sua detecção em análise distanciada pode ser uma via para a detecção remota de bolsadas pegmatíticas. Esta hipótese, é, petrogeneticamente, coerente, pois pressupõe a possibilidade de fraccionação mais eficaz, onde sob condicionamento tectónico, é mais intensa a deslocação dos fundentes e diferenciados deles resultantes, por fraccionação, nas câmaras magmáticas.

### Referências Bibliográficas

CAMARA, G; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U. M. & GARRIDO, J (1996) - Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics*, 20, 3, p. 395-403.

- GINSBURG, A. I.; TIMOFEYEV, I. N. & FELDMAN, L. G. (1979) – Principles of Geology of the granitic pegmatites. Nedra, Moscovo.
- GUIMARÃES, D. & LEAL GOMES, C. (2010) - Evolução de forma e implantação de pegmatitos intra-graníticos Variscos – N de Portugal. I - dispositivos ascensionais. *e-Terra, Geosciences on-line Journal*, Geotic, vol 11.
- LEAL GOMES, C. (2010) – Distribuição espacial dos recursos de materiais cerâmicos pegmatíticos no Noroeste de Portugal – Matriz orogénica e metalogénese relacionada. *Ciências Geológicas – Ensino, Investigação e sua História*, vol II, p.25-36.
- LEAL GOMES, C., AZEVEDO, A., LOPES NUNES, J. & DIAS, P.A. (2009) – Phosphate fractionation in pegmatites of Pedra da Moura II claim – Ponte da Barca – Portugal. *Estudos Geológicos (Special Issue of contributions to the 4th International Symposium on Granitic Pegmatites)*, vol. 19 (2):172-176.
- LEAL GOMES, C. & LOPES NUNES, J. E. (2003) – Análise paragenética e classificação dos pegmatitos graníticos da Cintura Hercínica Centro-Ibérica. *A geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos*, Coimbra – Imprensa da Universidade, vol. II, p. 85-109.
- PEREIRA, B; AZEVEDO, J.; OLIVEIRA, J.; DIAS, P.; LEAL GOMES, C.; CARVALHO, J. & MARQUES (2011) - PROSPEG – Prospecção, Análise Distanciada e Detecção Remota de Pegmatitos. In: Martins, L.M.P., Oliveira, D.P.S., Silva, R., Viegas, H.M.C., Villas Bôas, R. C. (eds). *Valorização de pegmatitos litiníferos*. Lisboa, Portugal, p. 78-79.
- SILVA, V. (2002) – Qualificação dos recursos de minerais cerâmicos pegmatíticos. *Tese de Mestrado, Universidade do Minho*, 151p.
- SIORMINP (2011) – Base de dados de ocorrências minerais em Portugal. LNEG. <http://geoportal.lneg.pt/arcgis/services/OcorrenciasMinerais/MapServer/WMServer?request=GetCapabilities&service=WMS>. (consultado em 2011.05.10).
- TEIXEIRA, C.; MEDEIROS, A. & TEIXEIRA LOPES, J. (1974) – Folha 5-B da carta geológica de Portugal na escala 1:50000 . Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 61 p.

SECCÃO 4  
PROSPEÇÃO: ENTENDER O QUE NÃO SE VÊ

“A ambição da ciência não é abrir a porta do saber infinito, mas pôr um limite ao erro infinito”.

Bertolt Brecht

(Página deixada propositadamente em branco)



UTILIZAÇÃO DO GPR PARA AUXILIAR NA COMPREENSÃO DA  
EVOLUÇÃO DA PAISAGEM: ESTUDO DE CASO DO PARQUE  
ESTADUAL VEREDAS DO PERUAÇU-MG, BRASIL

THE USE OF THE GPR TO INTERPRETE THE LANDSCAPE  
EVOLUTION: A CASE STUDY FROM PARQUE ESTADUAL  
VEREDAS DO PERUAÇU – MG.

P. R. A. Aranha<sup>1</sup> & C. H. R. R. Augustin<sup>2</sup>

**Resumo** – Sistema de lagoas localizadas em terrenos arenosos do Supergrupo Urucuia, no Parque Estadual Veredas do Peruaçu, norte do Estado de Minas Gerais, Brasil, são feições comuns nos ecossistemas das veredas, do bioma do Cerrado. A linearidade dessas lagoas sugere que as mesmas possam ter, no passado pertencido a um mesmo sistema, que teria sido desconectado ao longo da evolução da mesma. O objetivo desta pesquisa foi, com o auxílio do GPR e utilizando antenas de 100 MHz gerar imagens de radargrama que pudessem auxiliar na interpretação das estruturas do fundo de uma das lagoas que formam esse complexo. Resultados desses radargramas indicam uma conformidade muito grande entre a forma abaulada (côncava) do fundo e os sedimentos que ali estão depositados, permitindo assumir que se houve conexão entre a lagoa estudada e as demais localizadas em sua proximidade, isto ocorreu há muito tempo, bem antes da deposição da sequência sedimentar. A espessura 2m do pacote sedimentar indica, que ou houve uma sedimentação muito rápida e intensa que pudesse gerar essa espessura, ou ela vem ocorrendo há um tempo geológico considerável.

**Palavras-chave** – sistema laguna, veredas, desconexão, GPR.

*Abstract* – System of lagoons located in arenaceous lands of Supergrupo Urucuia, in the State Park Veredas do Peruaçu, north of the State of Minas Gerais, Brazil, are common features in ecosystems of veredas, a bioma of the Cerrado (Savannah-Open pasture).

---

<sup>1</sup> Departamento de Geologia, Instituto de Geociências – UFMG; krant\_spy@yahoo.com.br

<sup>2</sup> CPMTc - Instituto de Geociências – UFMG; chaugustin@ymail.com

The linearity of these lagoons suggests that the same ones can have, in the past, belonged to the same system, that would have been disconnected throughout the evolution of the lagoon system. The objective of this research is with the help of the GPR and using 100 MHz antennae to obtain radargram images that could assist in the interpretation of the structures occurring at the bottom of one of these lakes (a dry lake). The results of these radargrams indicate a great conformity between the concave form of the sediments and that of the bottom of the lake, allowing assuming has been occurring since a long time ago. Therefore, if there was a connection between the study lake and those located in its proximity it has occurred a long time, before the deposition of the sequences had been deposited. The thickness of the sediments, 2m, indicates, that or this deposition was either a very rapid one so that could generate a fast deposition, or it has been taking place during a considerable long geologic time.

**Keywords** – lagoon system, veredas, disconnection, GPR.

## 1 – Introdução

O Parque Estadual Veredas do Peruaçu, apresenta uma área total de 31.226 ha (IEF 2009) e compreende territorialmente os municípios de Bonito de Minas, Cônego Marino e Januária, no norte do estado de Minas Gerais (Fig. 1). Entre as suas características mais marcantes, destacam-se as veredas, ecossistemas naturais do bioma do Cerrado, identificados pela presença dos Buritis (*Mauritia vinera*). Em função do seu papel na manutenção dos sistemas hídricos locais e regional, as veredas constituem feições fundamentais que devem ser mantidas e preservadas.

As vertentes do parque, desenvolvidas sobre rochas areníticas dos Grupos Urucuia e Mata da Corda, e extensas áreas no norte de Minas vêem passando por mudanças relativamente rápidas em grande parte decorrentes do aumento da erosão, principalmente as bordas com formas tabulares. Também os seus sistemas hídricos, representados pelas veredas, por áreas úmidas de baixio, por lagoas e rios, apresentam indícios de alteração com processos de diminuição no volume das lagoas e do aumento de sedimentos arenosos nos vales (IEF, 2009).

Isto é especialmente visível no sistema de lagoas próximo à sede do parque, onde foi iniciada a pesquisa sob a coordenação da Dra. Cristina Augustin (2009), com vistas à comprovação da hipótese de que este sistema já tenha integrado parte de uma vereda que, ao longo do tempo, se desconnectou.

Para comprovar esta possibilidade foram levantados vários perfis de GPR, de maneira a permitir o acesso ao comportamento e sequenciamento das camadas lenticulares em três lagoas, das quais, uma encontra-se totalmente seca. Devido à sua versatilidade e operacionalidades o GPR vem sendo aplicado a diversas áreas de estudos como a geotecnia, hidrogeologia, contaminação, estruturação do solo e outros (BENSON, 1995; DAVIS e ANNAN, 1989; HARA *et al.*, 1985; HUGGENBERGER *et al.*, 1994).

Em Minas Gerais, o GPR tem sido utilizado no estudo geomorfológico com sucesso (NEVES *et al.*, 1997; HORN *et al.*, 1998; ARANHA *et al.*, 2002; ARANHA, 2003; AUGUSTIN *et al.*, 2009, Aranha *et al.*, 2009).

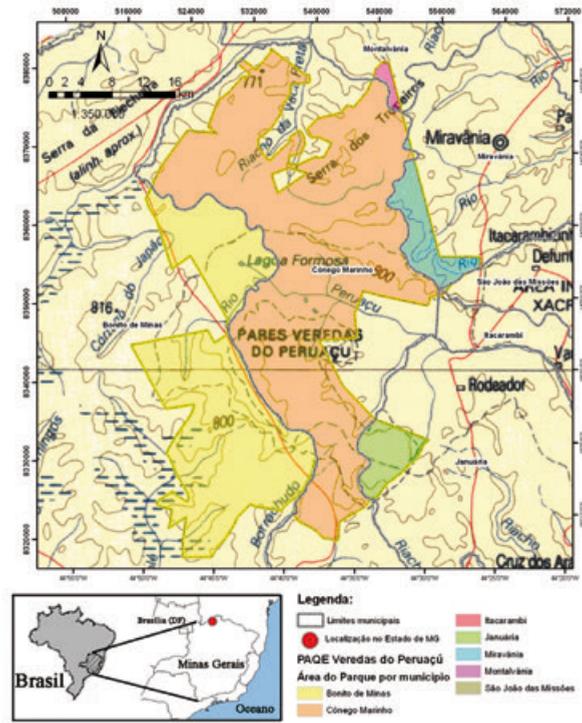


Fig. 1 – Mapa de localização do Parque Veredas do Peruaçu. Fonte: (IEF, 2009).

## 2 – Características gerais da área

A área do Parque, localizada entre  $15^{\circ}$  -  $16^{\circ}$  de latitude sul e  $45^{\circ}$  -  $46^{\circ}$  de longitude oeste apresenta relevo de tabular a ondulado, nas altitudes compreendidas entre 650 e 850m.

Duas coberturas vegetais nativas, são bastante distintas na área: cerrado e florestas. A cobertura vegetal predominante no parque é o Cerrado, do qual faz parte o ecossistema das veredas. Essas ocorrem em pequenas depressões lineares que formam um sistema complexo de drenagem, no qual se destacam os Rios Peruaçu, Pandeiros e o Cochá, afluentes do Rio São Francisco. Nos afloramentos de calcário observa-se a vegetação que faz lembrar a caatinga, sobretudo pela maior expressão de Cactáceas e Bromeliáceas. Nesses afloramentos ocorre ainda a mata seca, caracterizada pela predominância de espécies totalmente caducifólias nos meses secos.

A classificação climática da área do parque é predominantemente Aw, clima tropical úmido das savanas, que se caracteriza pela existência de estação seca acentuada no período do inverno. A temperatura média anual está em torno de  $26^{\circ}\text{C}$ , sendo outubro o mês mais quente da região, com  $28^{\circ}\text{C}$ , e julho o mais frio, com  $24^{\circ}\text{C}$ . As chuvas distribuem-se de forma irregular e concentrada nos meses de outubro a março (aproximadamente 81%), sendo a precipitação média anual de 846mm. O balanço hídrico apresenta déficit

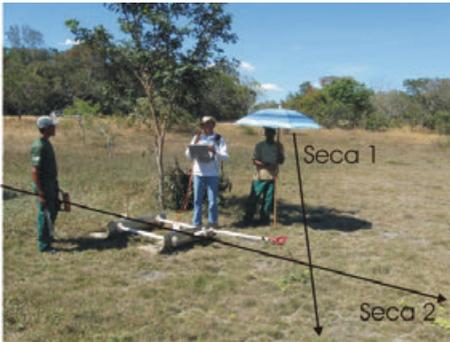
entre os meses de abril a setembro, sendo que a umidade relativa apresenta média anual de 72% (FERREIRA, 1993).

### 3 – Metodologia

A área amostrada está localizada próxima à sede do parque e faz parte de um sistema de lagoas. Os dados apresentados correspondem aos levantados na Lagoa “Seca” (Fig. 2), localizada a cerca de 200m da lagoa da sede do parque, (com água durante todo o ano) e de um perfil obtido após a lagoa cheia, com direção perpendicular ao perfil SECA1.



a)



b)



c)

Fig. 2 – Foto da área de aquisição dos dados, a) Imagem com os perfis de GPR obtidos, Seca1, Seca2 e Estrada; b) aquisição dos dados no perfil Seca1 e Seca2; c) aquisição dos dados no perfil Estrada.

A técnica de uso do GPR é similar, em princípio, à sísmica de reflexão. O GPR produz pulsos eletromagnéticos de altíssima frequência (10 - 3.500 MHz) que são transmitidos para o terreno, através de uma antena emissora. A propagação do sinal depende das propriedades dielétricas do solo onde o sinal (onda eletromagnética) se propagará. As propriedades dielétricas das rochas são primariamente controladas pelo seu conteúdo de água. O GPR é sensível às variações de composição (pH, viscosidade, temperatura, etc.) dos fluidos intersticiais das rochas e às mudanças estruturais destas, preenchidas ou não

com água. As mudanças nas propriedades dielétricas da rocha causam a reflexão do sinal, que é captado pela antena receptora, e depois na unidade de controle ele é amplificado, digitalizado e gravado.

A campanha geofísica consistiu no levantamento de três perfis de GPR no qual foi utilizado o equipamento RAMAC (*Mala GeoScience*). A aquisição dos dados foi realizada com antenas de 100 MHz.

Os perfis foram obtidos com as antenas em movimento mantendo-se constante a distância entre elas (*common offset*), no qual o sistema é transportado ao longo de uma direção obtendo-se um perfil das reflexões *versus* posição. Foi utilizado o modo de 16 *stacks* (empilhamento) com o objetivo de aumentar a relação sinal/ruído da onda emitida, melhorando a qualidade dos dados adquiridos no campo.

Os demais parâmetros utilizados na aquisição dos perfis foram: frequência de amostragem de aproximadamente 10 vezes a frequência central da antena utilizada; janela de tempo aproximado de 400ns e espaçamento entre os pontos de aquisição de dados de 0,10 m.

O processamento dos dados objetivou melhorar a qualidade dos resultados obtidos no campo, visando aumentar precisão e obter maior correspondência com a realidade. A edição compreendeu a organização, correção dos dados, o posicionamento das linhas, etc. Manipulações fundamentais foram aplicadas aos dados como *declipping*, *dewow*, marcação do “tempo zero”, aplicação de ganho AGC, filtragem (filtro *gaussiano*), correção topográfica e conversão em profundidade, a partir da definição do perfil de velocidade obtido com a interpretação do perfil CMP, registrado no ponto onde os perfis Seca1 e Seca2 se cruzaram. A velocidade encontrada foi de 95 m/μs.

#### 4 – Resultados

No radargrama do perfil SECA1 (Fig.3) é possível observam-se na parte superior, mais rasa, refletores não contínuos e intercalados, talvez, devido à presença de materiais mais argilosos intercalados com areias, denotando o sistema de deposição mais recente no fundo da lagoa, agora seca. Logo abaixo, são observados refletores bem delineados, nominados por “A”, “B” e “C”. Estes apresentam um padrão bem marcado de paralelismo com a topografia na área da Lagoa Seca, entre as distâncias de 0 e 100 m. Logo após, aparece o interflúvio entre as lagoas, seca e cheia.. Após os 160 m, aproxima-se da lagoa cheia. No radargrama esta aproximação é marcada por ondulação dos refletores, e também pela presença de um refletor mais superficial bem marcado. Conforme o observado, nota-se que a estrutura da subsuperfície parece condicionar a presença das lagoas.

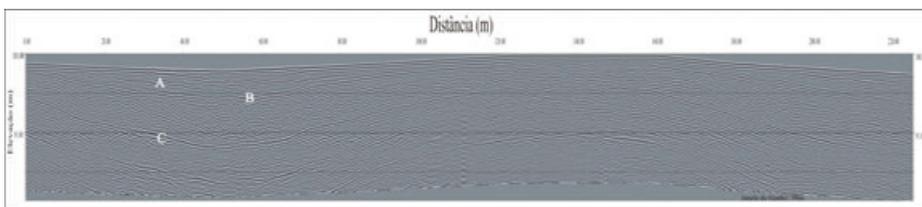


Fig. 3 – Radargrama obtido ao longo do perfil SECA 1 com antenas de 100MHz (exagero vertical 2:1).

No radargrama do perfil SECA2 (Fig. 4), perpendicular ao perfil SECA 1, os mesmos refletores “A”, “B” e “C” são observados e eles também mantêm o paralelismo com a topografia da superfície. O perfil SECA 1 corta este perfil na distância de 43m. O perfil SECA 2 corta o perfil SECA 1 na distância de 50m. Interpretando as duas imagens observa-se que a estrutura da subsuperfície neste ponto forma um disco abaulado.

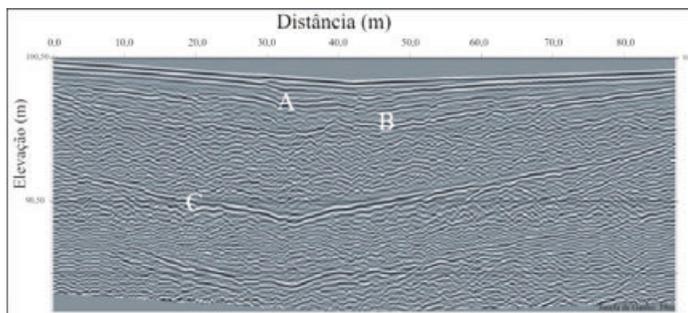


Fig. 4 – Radargrama obtido ao longo do perfil SECA 2 com antenas de 100MHz (exagero vertical 2:1).

O terceiro perfil, chamado de Estrada (Fig. 5), foi obtido logo após a lagoa cheia, no sentido perpendicular ao perfil SECA 1. Neste terceiro perfil aparecem nos primeiros metros, dois refletores bem delineados, que foram nominados “1” e “2”. Não foram imediatamente correlacionados com os refletores “A”, “B” ou “C” devido à distância, e também por não apresentarem o mesmo padrão de paralelismo com a superfície, embora o refletor “1” pareça apresentar uma ligeira correlação com o formato da topografia. No geral, estes refletores mostram um caimento para a direita no radargrama após a distância de 90m, e entre os dois refletores aparece nitidamente um outro refletor intercalado.

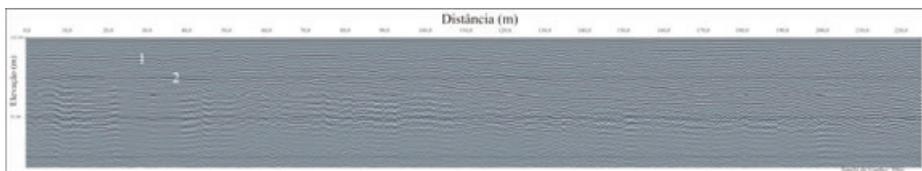


Fig. 5 – Radargrama obtido ao longo do perfil SECA 2 com antenas de 100MHz (exagero vertical 2:1).

## 5 – Conclusões

O sistema lagunar próximo à Sede do Parque Estadual Veredas do Peruaçu, norte do estado de Minas Gerais, é formado por lagoas que contêm água durante todo o ano, e por outras que se encontram secas, mesmo durante os meses chuvosos, de outubro a março. A distribuição espacial das lagoas, tanto as com água, quanto as secas, apresenta simetria que sugere a possibilidade de que as mesmas já tenham estado conectadas. Com a utilização de Ground Penetrating Radar (GPR) foi possível identificar a estrutura deposicional dos materiais do fundo de uma dessas lagoas (lagoa seca) até 15 m de profundidade, com

espessuras variando de 2 até 5m. Análises dos radargramas mostram que as deformações dos sedimentos acompanham de maneira excepcional, a forma côncava, natural, do fundo da lagoa seca, sugerindo que a deposição tenha ocorrido a relativamente muito tempo. No caso dessas lagoas terem pertencido, no passado, a um mesmo sistema, a desconexão entre dessa lagoa com as demais ocorreu aparentemente antes que esses sedimentos tenham sido completamente depositados. Os dados não são, por si só, suficientes para rejeitar a possibilidade de que essas lagoas já tenham estado conectadas, indicando a necessidade da realização de pesquisa geofísica, de tradagem e datação do material orgânico com  $^{14}\text{C}$ , entre outros, para melhor verificação dessa conexão. Contudo, os radargramas foram essenciais para identificar a espessura e a deformação dos materiais sedimentares do fundo desses corpos hídricos, apontando condições de deposição lântica bem mais antiga do que inicialmente pensado.

**Agradecimentos:** À Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPEMIG) pelo apoio financeiro (CRA- APQ 0165-09) e ao Instituto Estadual de Florestas-MG (IEF), pelo apoio logístico para a realização desta pesquisa.

### Referências Bibliográficas

- ARANHA, P.R.A, AUGUSTIN, C.H.R.R. & SOBREIRA, F. G. (2002) – The use of GPR for characterizing underground weathered profiles in the sub-humid tropics. *Journal of Applied Geophysics*, 49(4), 195-210.
- ARANHA, P.R.A. (2003). Estudo das coberturas superficiais e sua dinâmica na região de Gouveia, Serra do Espinhaço, MG: utilizando o Radar de Penetração no Solo (GPR). Tese de Doutorado, UFOP, Ouro Preto, 305p.
- AUGUSTIN, C.H.R.R. (2009). Análise do escoamento superficial e subsuperficial: entendendo a dinâmica de corpos hídricos em rochas siliciclásticas. Projeto de pesquisa aprovado pela FAPEMIG em 2009 (CRA-APQ 01652-09). 40p.
- BENSON, A. K. (1995) – Applications of GPR in assessing some geological hazards: examples of ground water contamination, faults, cavities. *Journal of Applied Geophysics*, 33, p. 177-193.
- DAVIS, J.L. & ANNAN, A.P. (1989). Applications of ground penetrating radar to mining, groundwater and geotechnical projects: Selected case histories. In: Workshop on Ground Probing Radar, 1988, Ontario: Geological Survey of Canada, paper 90-4, p.49-55.
- FERREIRA, E.J. (1993). Análise técnica e econômica do projeto de irrigação do Jaíba, MG. Tese de Doutorado, Viçosa, UFV, 1993. 159p.
- HARA, T. e SAKAYMA, T. (1985). The applicability of ground probing radar to site investigations. OYO, RP- 4159. 32 p.
- HORN, A.H; ARANHA, P.R.A., NEVES, S.C., VIANA Fº, L. & ÁDAMO, R.G. (1998). Novos dados sobre a ocorrência de fosfatos e silicatos de Al-Fe na Serra do Espinhaço Meridional – Perfis nas regiões da Serra da Miúda e Fazenda Formação – Diamantina, Minas Gerais. In: XL Congresso Brasileiro de Geologia, Seção Poster. CD, Belo Horizonte.
- HUGGENBERGER, P.; MEIER, E. & PUGIN, A. (1994). Ground probing radar as a tool for heterogeneity estimation in gravel deposits: advances in data - processing and facies analysis. *Journal of Applied Geophysics*, V.31, p.171-184.
- INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF (2009). Nota Técnica para a Ampliação do Parque Estadual Veredas do Peruaçu. 35p. Acesso em 18.02.2012.

(Página deixada propositadamente em branco)



DETERMINAÇÃO DA TAXA DE HUMIDADE SUPERFICIAL  
DE UM SOLO GRANÍTICO USANDO O VALOR  
DA AMPLITUDE DO SINAL DO GPR

SURFACE MOISTURE ESTIMATION OF A GRANITIC SOIL  
FROM AMPLITUDE ATTRIBUTE OF GPR

J. P. Azevedo<sup>1</sup>, J. D. Oliveira<sup>1</sup>, B. S. Pereira<sup>1</sup>, F. Fernandes<sup>2</sup> & T. Mota<sup>3</sup>

**Resumo** – Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos em experiências controladas numa parcela de terreno granítico, realizadas com o GPR (*Ground Penetrating Radar*) e com o intuito de verificar a capacidade desta técnica em detectar variações superficiais de humidade. Este trabalho focou-se essencialmente na avaliação da capacidade do GPR em obter dados oriundos da reflexão da onda eletromagnética na superfície do solo para determinar possíveis correlações entre as variações da amplitude do sinal e a taxa de humidade presente na camada mais superficial. Ao equipamento de GPR usado foi acoplado uma antena com uma frequência central de 800 MHz. Foram efetuados perfis de GPR em vários períodos climáticos distintos e, simultaneamente, foram realizadas medições do teor de humidade usando o sensor de humidade *TethaProbe* ML2x, com o objetivo de comparar os valores de amplitude do sinal refletido pela superfície com os teores de humidade medidos com o sensor. Os resultados apontam para a existência de uma correlação entre os valores da amplitude e a humidade no solo.

**Palavras-chave** – GPR, amplitude, teor de humidade, solo

**Abstract** – *This paper presents the results obtained in controlled experiments conducted on a parcel of granitic soil with GPR (Ground Penetrating Radar) equipment in order to verify the capability of this technique to detect variations in surface moisture. This work focused*

---

<sup>1</sup> Edifício IEMinho - Lugar de Casal 4730-575 Soutelo - Vila Verde; geral@sinergeo.pt

<sup>2</sup> Universidade Lusíada - Largo Tinoco de Sousa 4760-108 VNF; francisco.fernandes@fam.ulusiada.pt

<sup>3</sup> Departamento de Experimentação da EVAG - CVRVV Campos Lima 4970-249 Paçô AVV; tmota@vinhoverde.pt

primarily on assessing the ability to obtain data from the reflection of the electromagnetic wave on the soil surface to verify possible correlations between variations in the signal's amplitude and the moisture content in the outermost layer. The GPR equipment used was coupled with an antenna of 800 MHz of central frequency. Profiles were made with the GPR equipment in different time periods and, simultaneously, the moisture content was measured using the humidity sensor TethaProbe ML2x, in order to compare the values of amplitude of the signal reflected by the surface with the values measured with the moisture sensor. The results indicate the existence of a correlation between the signal's amplitude and the moisture content within the soil.

*Keywords* – GPR, amplitude, surface moisture, soil

## 1 – Introdução

A capacidade de obter valores de taxas de humidade sobre grandes áreas é fundamental em diversas aplicações agrícolas, hidrogeológicas e ambientais. Por outro lado e tomando a cultura da vinha como uma aplicação agrícola importante, a gestão racional da rega em terrenos vitícolas e o conhecimento do volume de água no solo (VAS) disponível durante todo o processo de crescimento da videira e maturação da uva é fundamental para a qualidade do fruto produzido.

Nesse sentido, o projeto AGROCONTROL, cofinanciado pelo “ON.2 – O Novo Norte” e QREN através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), tem por objetivo estudar metodologias alternativas, para a determinação do conteúdo de água no solo, nomeadamente, o rastreio de vastas áreas de cultivo de vinha utilizando o radar de penetração geotécnica (ou *ground penetrating radar*, vulgo GPR).

Para calcular o teor de humidade presente no solo são comumente utilizados métodos baseados na leitura da resistividade eléctrica em sensores enterrados em diferentes pontos e a diferentes profundidades; métodos gravimétricos, entre outros, ou métodos indiretos através do estado hídrico da planta (potencial hídrico foliar ou do ramo; temperatura das folhas ou do coberto; variação do diâmetro do tronco, fluxo de seiva). Apesar da elevada precisão desses métodos, acabam por ser muito morosos, e devido ao seu carácter pontual, são geralmente limitados a pequenas áreas e avaliados por amostragem. Realça-se também que estes métodos são invasivos, pontuais e, por isso, só aplicáveis com limite espacial. Ora, para monitorizar grandes áreas ocupadas por vinhas (e outras culturas), são necessárias técnicas e métodos que permitam mapear rapidamente essas áreas, com precisão compatível com o tipo de dados necessários e de maneira totalmente não destrutiva, possibilitando a repetibilidade destes ensaios sem perda de precisão.

O GPR é uma técnica geofísica que usa energia electromagnética (ondas rádio) para mapear o subsolo. A energia electromagnética emitida é transmitida para o solo, sendo modificada, e parcialmente reflectida, pelos contrastes na interface entre os diferentes materiais presentes no subsolo. Estes contrastes dependem das propriedades desses materiais, nomeadamente, a permissividade eléctrica ( $\epsilon$ ), ou constante dieléctrica ( $\epsilon_r$ ), e permeabilidade magnética ( $\mu$ ), cujos valores modificam a amplitude e a velocidade de propagação

das ondas emitidas. O VAS está relacionado com esses parâmetros, que são obtidos através de diferentes metodologias de ensaios.

Na banda de frequências usadas pelo GPR, a velocidade de propagação da onda electromagnética (EM) é principalmente determinada/afectada pela constante dielétrica,  $\epsilon_r$ , a qual possui valores próximos de 80 para a água, entre 3 e 10 para os principais minerais constituintes do solo, e 1 para o ar (ANNAN, 1998 *in* PAIXÃO, 2006).

## 2 – Materiais e métodos

A determinação da variação do VAS através do GPR pode ser realizada recorrendo a diferentes métodos, sendo cada um caracterizado por diferentes equipamentos, processos e dados obtidos (CHARLTON, 2000; HUISSMAN *et al.*, 2003; LUNT *et al.*, 2005). No âmbito deste projeto, o objetivo é obter informação qualitativa sobre o teor de humidade de modo fiável e expedito, dada a elevada área da parcela. Nesse sentido, a técnica selecionada para ser estudada foi a da “reflexão à superfície”, que se baseia na obtenção de perfis onde é registada a amplitude de reflexão do sinal na camada mais superficial do solo. Este método consiste em colocar uma antena a uma altura suficientemente elevada de modo que o sinal de onda direta seja distinto do sinal da reflexão da superfície do solo (DANIELS, 2004). A Fig. 1 ilustra o protótipo destinado a manter a antena a uma determinada distância acima do solo e a permitir percorrer rapidamente longas extensões bem como a localização geográfica da parcela.



Fig. 1 – Protótipo usado no trabalho de campo com a antena acoplada a 40 cm do solo e localização geográfica da parcela.

Os radar-gramas obtidos correspondem à “força da reflexão” do solo que depende do contraste entre as constantes dielétricas dos materiais geológicos investigados, bem como do ar e água. Enquanto a  $\epsilon_r$  do ar é 1, a do solo varia em função da sua mineralogia e em função do teor em água. Tendo em conta que a  $\epsilon_r$  da água é de 81, torna-se evidente que um solo seco terá uma constante dielé-

trica muito menor que um solo saturado. Consequentemente, um solo molhado irá refletir mais energia que um solo seco resultando, respectivamente, numa amplitude maior e menor.

Os resultados preliminares apresentados neste trabalho foram obtidos numa parcela de vinha - vinhão, na Quinta Campos Lima, localizada no concelho dos Arcos de Valdevez. Do ponto de vista litológico, o terreno corresponde a um solo residual granítico, com densidade média de  $1.14 \text{ g/cm}^3$  e porosidade média  $0.56 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , típica de solos ricos em matéria orgânica. Apresenta um elevado grau de meteorização (alteração física e química) com espessura variável. A parcela apresenta uma topografia ligeiramente inclinada para Sul, correspondendo o ponto mais elevado a uma altitude de 81 m e o ponto mais baixo a uma altitude de 69 m. As videiras estão plantadas com um espaçamento médio de 2 m e estão conduzidas em bardos com 3 m de separação.

As medições foram realizadas numa extensão de 24 metros, no centro da parcela entre 2 bardos evitando graus de compactação elevados devido à passagem dos veículos agrícolas. Foi utilizada uma antena de 800 MHz, operada a uma distância acima do solo de 40 cm, cujo espaçamento entre o transmissor e o receptor é fixo (14 cm). O intervalo entre os pontos de aquisição é de 0,2 m, o que representa cerca de cinco traços de radar-grama por metro e uma janela temporal de 10 ns (tempo de leitura).

Foram realizadas quatro campanhas de campo para obter informações sobre as condições de humidade do solo, em períodos climáticos distintos. As primeiras 3 campanhas decorreram no dia 8, 16 e 23 de setembro de 2011, e procurou-se detectar variações temporais e espaciais de humidade sobre condições naturais de solo, particularmente durante o período estival. A última campanha de campo realizou-se no dia 28 de outubro correspondendo a um período climático mais húmido e após os primeiros dias de precipitação do outono. Foram medidos os valores do teor de humidade do solo, com o sensor *ThetaProbe (Soil Moisture sensor Type ML2x)* ao longo do mesmo perfil para comparação com os valores da amplitude do sinal da onda refletida pela superfície do solo.

Os radar-gramas adquiridos foram posteriormente processados com *software* especializado. Este processamento teve como finalidade a aquisição dos valores das amplitudes do sinal para comparação com os valores obtidos com o sensor de humidade.

### 3 – Resultados e discussão

Para obter valores de teor de humidade natural do solo, para comparação com os dados de GPR, foram efetuadas medições com recurso ao sensor *TethaProbe* ao longo da mesma perfilagem e com um espaçamento constante de 2 metros (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de humidade no solo em percentagem obtidos com o *ThetaProbe*.

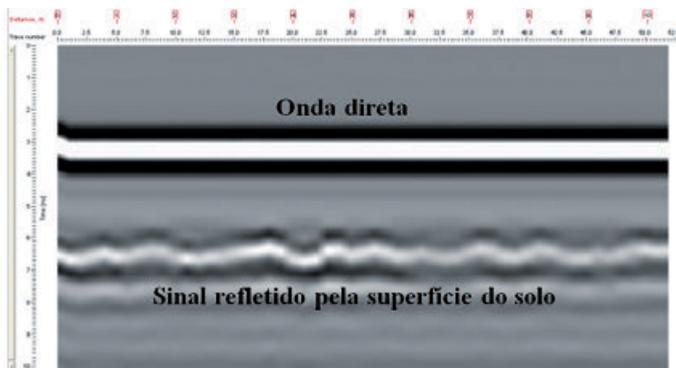
Posição (m)	Data			
	08-09-2011	19-09-2011	23-09-2011	28-10-2011
0	8.2	3.7	3	21.4
2	7.1	5.8	3	20.9
4	10.3	6.7	3	26.5
6	6.1	7.3	3.7	21.9
8	11.3	7.7	5.8	26.0
10	14.4	9.6	5.8	20.4
12	12.8	8.5	5.7	21.6
14	9	8.2	4.4	26.5
16	13.5	7.6	3.6	27.5
18	11.9	9.7	5.7	27.1
20	14.7	9.4	5.2	29.9
22	8.4	7.8	4.4	27.6
24	12.6	7.5	3.9	25.2

Relativamente aos resultados de amplitude do sinal registados com o GPR, surgiram inicialmente vários problemas, tais como: a) o impacto da rugosidade do terreno, (b) a definição da altura da antena acima da superfície do solo, (c) o efeito causado pelo coberto vegetal e (d) a definição da configuração dos parâmetros do sinal da antena. Medições iniciais demonstraram que o coberto vegetal tinha um efeito negligenciável nos dados, enquanto a rugosidade do terreno tinha um impacto menor sobre a “quantidade” de reflexões recebidas durante as medições.

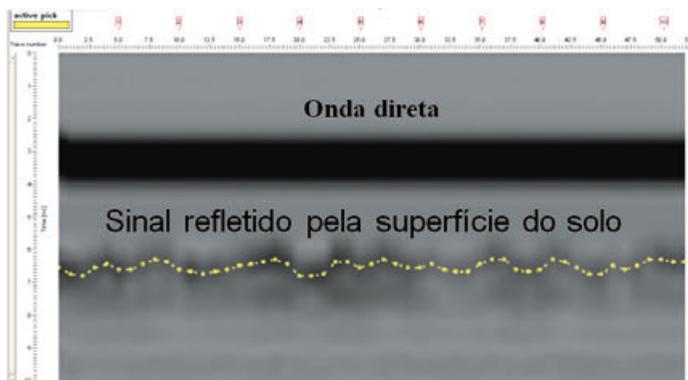
Depois de efetuada a calibração do equipamento, foi possível iniciar a aquisição de radar-gramas de forma sistemática, bem como a medição dos teores de humidade natural com o sensor *ThetaProbe*. A Fig. 2, ilustra um exemplo do tipo de dados de reflexão da superfície adquiridos com a antena de 800 MHz instalada no protótipo ilustrado na Fig. 1.



a)



b)



c)

Fig. 2 – Exemplos de radar-gramas registados com a antena de 800 MHz - a); após processamento através da filtragem de baixas frequências e determinação da “força de reflexão” - b); a linha amarela indica os picos de amplitude máxima do sinal - c).

O afastamento da antena relativamente ao solo permite diferenciar claramente o sinal da onda directa da onda reflectida (Fig. 2.a). Os dados do GPR foram processados utilizando dois filtros: *DC removal*, e *reflection strength* que traça, com precisão, as variações de amplitude ao longo das fronteiras de reflexão. A partir dos radar-gramas, e recorrendo a uma folha de cálculo, foi possível discriminar os valores de amplitude da onda reflectida pela superfície do solo.

Os resultados da amplitude da onda reflectida obtidos com a antena de 800 MHz demonstraram ser coerentes com os resultados medidos com o sensor de humidade apresentados na Tabela 1, ou seja, observa-se que em condições de solo mais húmido o valor da amplitude é maior do que em condições de solo mais seco (Fig 3). Verifica-se claramente uma diminuição do valor da amplitude do sinal sempre que há uma diminuição do teor de humidade medido com o sensor, sobretudo ao longo das três primeiras campanhas. Da mesma forma se verifica um incremento da amplitude do sinal obtido na última campanha em outubro. Nesse sentido, parece existir claramente uma relação entre o coeficiente de reflexão associado à interface ar-solo e humidade do solo. A relação aponta igualmente, que os coeficientes de reflexão expressos pela amplitude do sinal, são mais sensíveis às variações de humidade em intervalos menores (Fig. 4).

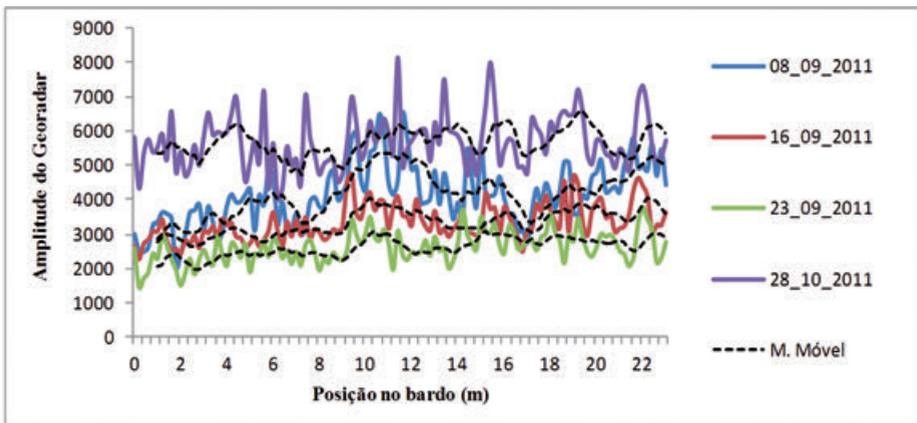


Fig. 3 – Variação espacial da amplitude do sinal da onda directa ao solo nas quatro campanhas efectuadas.

Adicionalmente, traçando o gráfico que relaciona todos os valores da taxa de humidade no solo obtidos com o sensor de humidade com o valor da amplitude do sinal registado por GPR, verifica-se que existe uma relação exponencial entre eles, o que sugere, como referido anteriormente, uma maior sensibilidade do equipamento GPR em relação a pequenas variações do conteúdo em humidade (Fig. 5). Esta conclusão é relevante pois estas pequenas variações de humidade são importantes para a evolução do fruto/da vinha, para além do facto que é precisamente na época estival que estas pequenas variações são importantes de identificar. Torna-se portante promissora a aplicação desta metodologia (medições da humidade do solo a partir de reflexões da superfície).

Nesse sentido, parece possível atribuir a determinados valores de amplitude de sinal uma determinada percentagem de humidade. No entanto, verifica-se alguma dispersão nos dados, facto que resulta diretamente da sua escassez e do método de correlação ainda precisar de ser ajustado.

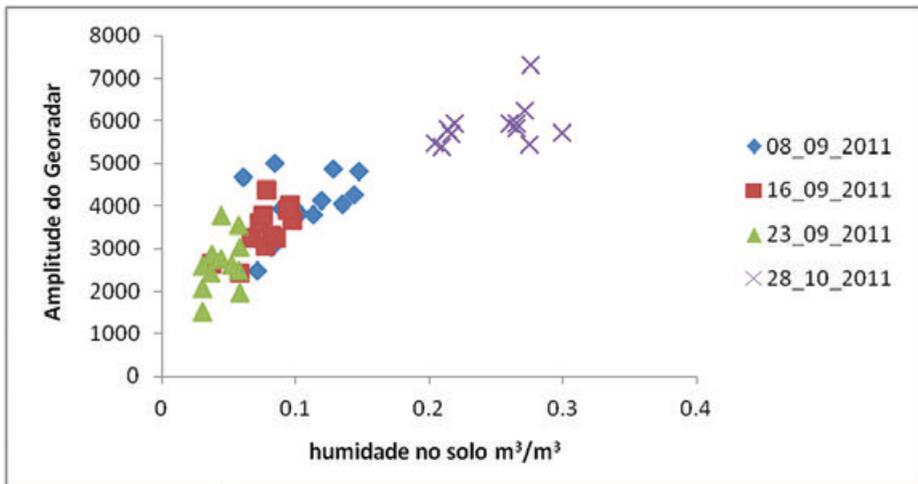


Fig. 4 – Relação entre a amplitude do Georadar e a humidade no solo.

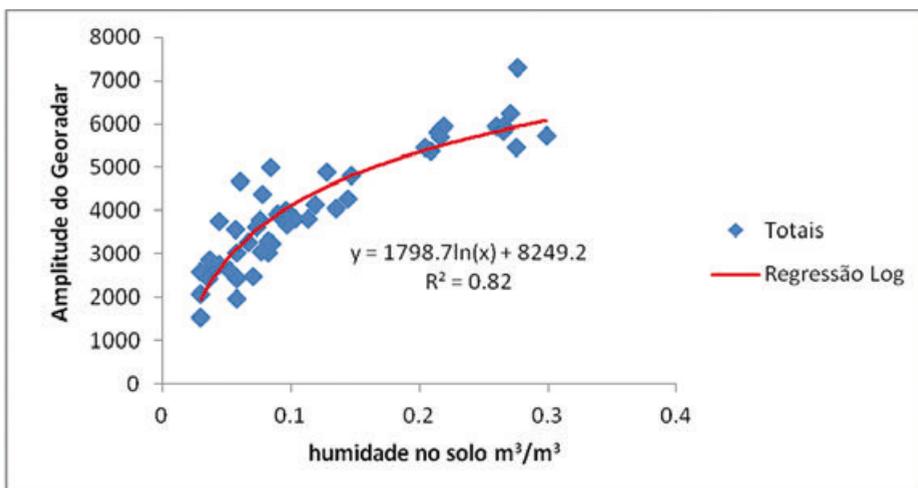


Fig. 5 – Relação exponencial entre a amplitude do Georadar e a humidade no solo.

#### 4 – Conclusões

Este estudo centrou-se na avaliação da utilidade e precisão do equipamento GPR na avaliação de variações superficiais de humidade a partir dos dados de amplitude das ondas reflectidas. Apesar de promissora, esta metodologia ainda não proporciona a precisão e robustez dos métodos tradicionais, que são muito morosos e posicionais em trabalho de campo. Os resultados mostram que foram obtidas importantes relações entre os valores registados pelo GPR através do método por reflexão à superfície e os valores obtidos pelo sensor de humidade *TethaProbe*. Verificou-se ainda existir uma diferença da



amplitude do sinal refletido, pela superfície do solo seco e solo molhado, mais acentuada quando o valor de humidade é baixo. Para estabelecer valores estatísticos mais fiáveis será necessário a realização de mais ensaios para obtenção de mais dados.

No entanto, ainda estão por aferir completamente alguns parâmetros, nomeadamente, qual a melhor altura para a realização deste ensaio tendo em conta o tipo de solo e a rapidez com que a água se evapora ou é absorvida, assim como a eficácia do equipamento em manter a reprodutibilidade de resultados em diferentes épocas do ano e para o mesmo tipo de solo. Mais estudos de campo serão necessários para determinar relações, sobretudo petrofísicas relacionadas com condições heterogêneas de campo, que atualmente limitam a adopção do GPR como ferramenta para determinação da taxa de humidade do solo.

### Referências Bibliográficas

- CHARLTON M. (2000) - Small Scale Soil-Moisture Variability Estimated Using Ground Penetrating Radar. *Proceedings of the Eighth International Conference on Ground Penetrating Radar, SPIE Vol. 4084*, p. 798-804.
- DANIELS, D.J. (2004) - "Ground Penetrating Radar – 2nd Edition." Radar, sonar, navigation and avionics series 15, IEE, London, UK, ISBN 0-86341-360-9, p. 726.
- HUISSMAN J., HUBBARD S., REDMAN J. & ANNAN A. (2003) - Measuring soil water content with ground penetrating radar: A review. *Vadose Zone Journal* Vol. 2, p. 476-491.
- LUNT I., HUBBARD S. & RUBIN Y. (2005) - Soil moisture content estimation using ground penetrating radar reflection data. *Journal of Hydrology* 307, p. 254-269.
- PAIXÃO M., PRADO M. & DIOGO L., (2006) - Análise do emprego do GPR para estimar o teor de humidade do solo a partir de um estudo na cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Geofísica*, p. 189-198.

(Página deixada propositadamente em branco)

THE USE OF GEOPHYSICAL ELECTRICAL METHODS  
IN THE CHARACTERIZATION OF AN ALLUVIAL AQUIFER  
IN A CRYSTALLINE ROCK ENVIRONMENT

O USO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS ELÉCTRICOS  
NA CARACTERIZAÇÃO DE UM AQUÍFERO ALUVIAL  
EM AMBIENTE DE ROCHAS CRISTALINAS

N. M. S. Alte da Veiga<sup>1</sup>

**Abstract** – In crystalline rock environments local alluvial deposits may be valuable as water reservoirs. Within the deposits the most favourable porosity - permeability relationships are generally associated with coarse-grained sediments. Unconsolidated sediments usually show a correlation between grain size and the electrical resistivity of the materials. Apparent resistivity mapping with an AB=20m array together with local Schlumberger electrical soundings put in evidence lateral variations in alluvium composition. However, it was also observed that variations in depth to water level may have a significant influence on apparent resistivity values. This influence must therefore be taken into account when making a regional scale analysis. Local scale apparent resistivity variations are viewed as particularly significant.

**Keywords** – Geophysics, electrical profiling, Schlumberger electrical soundings, alluvium, aquifer

*Resumo* – Em ambientes de rochas cristalinas, depósitos de materiais aluvionares podem constituir reservatórios localmente relevantes no plano hidrogeológico. Nestes depósitos as relações porosidade - permeabilidade mais favoráveis encontram-se geralmente associadas com sedimentos grosseiros. Os sedimentos não consolidados apresentam geralmente uma correlação positiva entre o tamanho dos grãos e a resistividade eléctrica dos materiais. Foram feitos levantamentos com um dispositivo AB=20m, que conduziram à elaboração de uma carta de resistividades aparentes; realizaram-se também, localmente, algumas sondagens eléctricas Schlumberger. Estes levantamentos puseram em evidência a existência de variações laterais

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geofísica, Universidade de Coimbra; ndaveiga@ci.uc.pt

na composição das aluviões. Contudo, observou-se também que variações na profundidade ao nível freático podem ter uma influência significativa nos valores de resistividade aparente obtidos. Esta influência deve, por conseguinte, ser tida em consideração ao fazer-se uma análise à escala regional. São particularmente significativas variações de resistividade aparente de âmbito local.

**Palavras-chave** – Geofísica, perfis de resistividade eléctrica, sondagens eléctricas Schlumberger, aluvião, aquífero

## 1 – Introduction

Water resources in crystalline rock environments are usually associated with fractures and fractured zones, and sometimes with a superficial thick weathered zone. In these areas local alluvial deposits may constitute valuable water reservoirs. The quality of such deposits as reservoirs is naturally related to their extent and thickness. It is also dependent on the nature of their constituting materials, particularly on grain size, and on their spatial distribution.

Alluvial deposits usually show an electrical resistivity contrast in relation to crystalline rocks. Moreover, within the deposits, there is generally a positive correlation between grain size and the electrical resistivity of the materials. These facts make it possible to use geophysical electrical methods to determine the lateral and vertical extent of alluvial deposits and to assess compositional variations within the deposits. This was a main objective of the surveys performed.

## 2 – Geological setting

The survey area is located in the centre-north of Portugal mainland, in the foot zone of the *Serra da Estrela*, near the village of Arcozelo (Gouveia) – see Fig.1. Regional lithology is mainly granitic. Late Pre-Cambrian to Cambrian phyllites and metagreywackes from the *Complexo Xisto-Grauwáquico* outcrop in the sierra flank. The materials that make up the alluvial deposits under concern have their origin in these rock types. The deposits overlay a medium-grained, biotitic, porphyritic, monzonitic granite with feldspar phenocrysts and minor muscovite. The granites are late to post-Hercynian. They were subjected to late Hercynian brittle deformation and younger tectonic reactivation episodes. The main fault directions in the area are NE-SW and NNE-SSW.

Some patches of arkosic argillaceous deposits are locally present in the foot zone of the sierra. These deposits, that once formed a more continuous body, are associated with the Miocene uplift of the *Serra da Estrela* and the erosion of the granites. Taking into account the works of CARVALHO *et al.* (1983) and CUNHA (1992) their age is attributed to the Upper Miocene-Quaternary but it is admitted that older deposits from the Eocene-Lower Oligocene and Middle Miocene may be present. In the NW of the small basin of Arcozelo there are still some remains of an arkosic argillaceous deposit. These deposits are frequently very heterogeneous, particularly in grain size, showing a significant clay fraction.

The alluvial deposits of Arcozelo have a mean thickness around 6-8m. They show an upper fine-grained soil level. Sand levels and gravel levels are present in laterally varying proportions.

### 3 – Essential theory

The geophysical methods used include electrical profiling and electrical sounding techniques, both making use of a Schlumberger array. From a theoretical viewpoint, the measurement of the electrical resistivity with such a four electrode array is based on the expression for the potential created by a surface point current source. We shall review briefly the case of a continuous current flowing in a homogeneous isotropic medium, also applicable to low frequency alternating current. From Ohm's law we have that

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad 1)$$

where  $\mathbf{J}$  is the current density (in A/m<sup>2</sup>),  $\mathbf{E}$  the electric field (in V/m) and  $\sigma$  is the electrical conductivity of the medium (in S/m). For a point electrode delivering  $I$  amperes located at the surface of the homogeneous isotropic half-space (the return current electrode is considered to be placed at the infinite) current flow lines spread radially from the point current source. Considering a hemispherical surface of radius  $r$  centred on the point electrode, we have that

$$J = \frac{I}{s} = \frac{I}{2\pi r^2} \quad \text{and} \quad E = -\frac{dV}{dr} \quad (2), (3)$$

where  $I$  is the total current passing through the hemispherical surface of area  $s$ , and  $dV/dr$  is the potential gradient across the hemispherical surface. From the previous relations we can write (taking  $\rho = 1/\sigma$ , the electrical resistivity of the medium)

$$dV = -\frac{I\rho dr}{2\pi r^2} \quad (4)$$

Integrating, and taking  $V = 0$  at  $r = \infty$ , we get for the potential at a distance  $r$  from a surface point current source

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{r} \quad (5)$$

Considering now two current electrodes  $A^+$  and  $B^-$  at a finite distance from one another, the first sending a current of intensity  $I$  into the ground and the second the return current electrode, we will have for the potential at a point  $P$  at distances  $r_1$  and  $r_2$  from  $A^+$  and  $B^-$

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (6)$$

For an in-line four electrode Schlumberger array A, M, N, B, with M, N the potential electrodes across which is measured a potential difference  $DV$ , we finally get the expression

$$\rho = K \frac{V}{I} \quad (7)$$

where  $K = \pi \overline{(\overline{AMAN})\overline{MN}}$  is the array constant. This is the expression for the electrical resistivity of a homogeneous isotropic terrain for measurements performed with a Schlumberger array. For inhomogeneous terrains the same expression is used, but instead of obtaining the resistivity  $r$  of the ground we now obtain a new parameter  $r_a$ , called the apparent resistivity. The apparent resistivity of an inhomogeneous ground may reflect the influence of several ground sectors with different resistivities but it is not an average value. It will depend, namely, on the electrode spacings and the depth of investigation of the array used. For a given terrain and a Schlumberger array, depth of investigation will increase with increasing current electrodes spacings. For a fixed array spacing, depth of investigation will generally be higher for a ground with high resistivity upper layers, when compared to a low resistivity upper layers situation.

#### 4 – Profiling results

Apparent resistivity mapping over the alluvial deposits covered a surface of approximately 1000m per 500m average width. Profiling was performed with a fixed spacing  $AB=20m$  array; the  $MN$  spacing was 4m. With this array spacing depth of investigation is shallow enough for the terrain underneath the alluvium to have a low influence on the measurements. On the other hand, when using a fixed array spacing depth of investigation is kept overall constant (in reality there may be some small variations). As so, we may associate lateral changes in apparent resistivity with variations in alluvium composition.

The  $AB=20m$  apparent resistivity map is shown in Fig.1. In this map, the low apparent resistivity values observed to the north ( $< 70-100\Omega m$ ) are associated with the arkosic argillaceous deposits. These deposits are also present, although not continuously, along a narrow strip on the western part of the map. To the east of the stream (excepting the extreme south), apparent resistivity values over  $800\Omega m$ , and partially those over  $400\Omega m$ , are associated with the granites that laterally delimit the deposits. High apparent resistivity values in the extreme NW are also related to granites. Apparent resistivity values of the alluvial deposits show a gradation from the SW to the NE: at the extreme south, alluvium apparent resistivities are in the order of those shown by the granites, reaching values over  $800\Omega m$ ; in the centre-north of the map values come under  $140\Omega m$ .

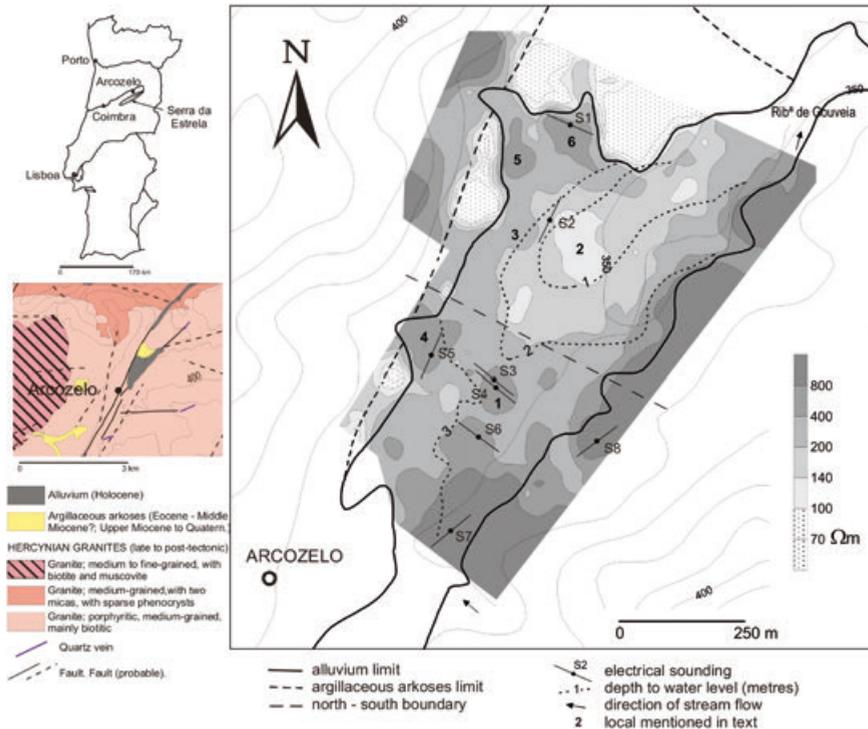


Fig. 1 – Schlumberger AB=20m apparent resistivity map of the study area.

There is a general relationship between sediment grain size and the resistivity of unconsolidated formations (table 1). A partial saturation, the presence of clay minerals in varying proportions and the higher/lower salinity of infilling water may cause considerable variations in the resistivity of sand and gravel deposits. Taking into account the composition of the alluvial deposits previously mentioned, sand and gravel levels could be expected to have resistivities in the range of 200 to 300Wm. This is confirmed by electrical soundings. Locally, those values may even reach 400Wm.

In this context, it could be admitted that in the areas with apparent resistivities over 200Wm sediment grain size would be for the most in the range of sand+gravel. Areas with apparent resistivities lower than 200Wm, and particularly for values lower than 140Wm,

Table 1 – Electrical resistivities of unconsolidated sediments, in Wm. (1) - after MEYER DE STADELHOFEN (1991); (2) - after ASTIER (1982); (3) - after ORELLANA (1982)

	(1)	(2)	(2)	(3)
	saturated formations	* with fresh water	dry	
Clay	5 - 10	2 - 20		1 - 50
Sand	50 - 400	50 - 500*	1000 - 10000	100 - 1000
Gravel	150 - 500	50 - 500*	1000 - 10000	100 - 10000

would correspond to finer-grained deposits. However, the situation turns out to be not so simple, as can be seen from an analysis of the relation between apparent resistivity values and the depth to water level in wells.

In the site of S3 (zone 1; see Fig.1), an apparent resistivity of 525Wm was measured with AB=20m profiling, for a water level depth of 2.3m. In the same site, at a different moment, the value measured was 195Wm, for a water level depth of 1.1m. Similar measurements in the sites of electrical soundings S5 and S6 are represented in table 2. In this context, a correlation was sought between apparent resistivity values and water level depth (Fig.2). For 36 measurement points in the northern region of the alluvial deposits (region to the NE of the broken line in Fig.1, except for zones 5 and 6) the correlation coefficient obtained was  $r = 0.86$ . In this region, the lower water depth values, less than 1m, were measured in the central zone 2 with apparent resistivities below 140Wm. The highest depth values, between 2 and 3m, were measured in the lateral zone 3 with apparent resistivities in the range 200-400Wm.

Table 2 - Relation between apparent resistivity and depth to water level.

	AB=20m profiling		Electrical soundings	
	App. Res. (Wm)	Depth to water level (m)	App. Res. for AB/2 = 10 (Wm)	Depth to water level (m)
Site of S3 (1)	525	2,3	195	1,1
Site of S5 (4)	650	?	300	?
Site of S6	500	2,5	210	1,4

These results point out that for depths of investigation in the range of those of an AB=20m array, variations in water level depth of 1 to 2 metres may have a significant influence on apparent resistivity values. As so, the differences in alluvium composition between zones 2 and 3 may be much more subdued than apparent resistivity values suggest.

Taking into account the whole area of the alluvial deposits the correlation coefficient is  $r = 0.29$ . This indicates that in the southern region, in addition to the influence of water level

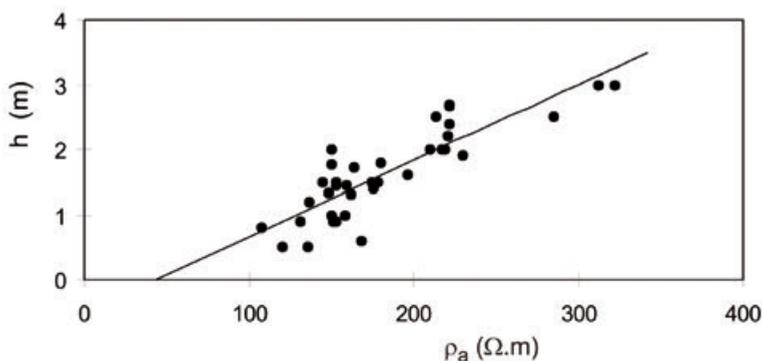


Fig. 2 – Apparent resistivity ( $\rho_a$ ) versus depth to water level (h).  $\rho_a$  values measured with an array spacing AB=20m. Correlation coefficient  $r = 0.86$ .



variations on apparent resistivity values, there is a superimposing effect on the measured values, most probably related to a lateral variation in alluvium composition.

Besides these overall relationships, there are some significant local variations, as in the areas marked as 4, 5 and 6, which show apparent resistivity values higher than 400Ωm. They are situated on the edge of the alluvial deposits, in the zone of slope break of three lateral thalwegs. They correspond to small alluvial fans. Nevertheless, the main point of sediment supply of the small basin is in the south, where the alluvial deposits show the highest apparent resistivity values (over 800Ωm) and the larger thicknesses. Taking into account the position of the points of sediment supply, it is noticeable that the apparent resistivity variations of the alluvial deposits in the southern part of the map are mainly related to the main point of supply of the basin. The lower apparent resistivity values are associated with those areas further apart from both the main point of sediment supply and the secondary ones. It is therefore plausible that in these areas there is a joint effect of a shallower water level and a higher proportion of fine-grained sediments.

### 5 – Electrical sounding results

Electrical soundings at specific sites allowed to cross depth targeted information with lateral variations in the AB=20m apparent resistivity map (see Fig.1 for location).

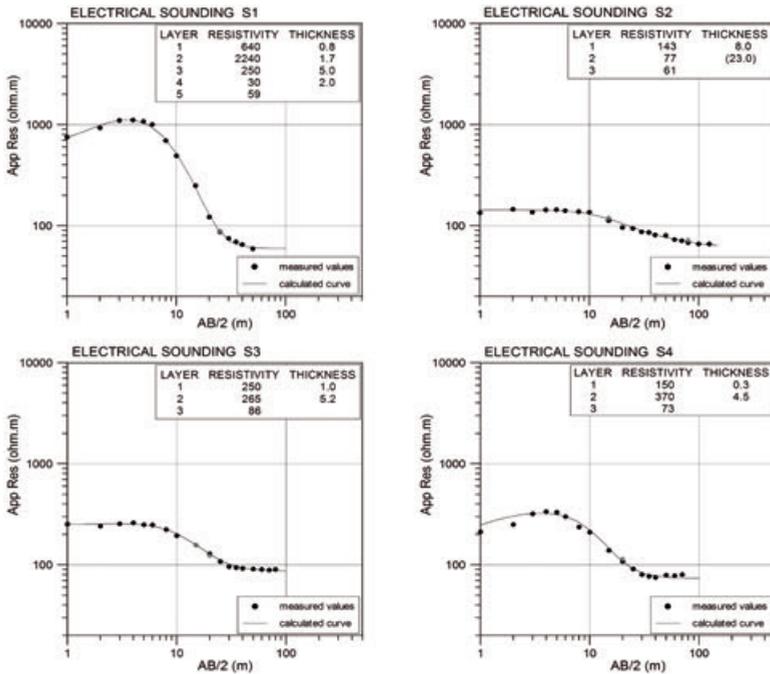


Fig. 3 – Electrical soundings S1 to S4 (see Fig.1 for location). Electrical resistivity in ohm.m; thickness in metres. Values in brackets: lateral effects.

It is a conspicuous feature of the electrical soundings in Figs.3 and 4 the presence of a low resistivity terrain under the upper higher resistivity alluvial layers. This terrain is related to a NNE major fault and it corresponds to a wide fault zone low resistivity material (ALTE DA VEIGA, 1999).

Arkosic argillaceous deposits are also present in the small basin of Arcozelo, at higher levels than the alluvial deposits. They correspond to the remains of a once more important deposit that was eroded by the deepening of the stream system. The argillaceous arkoses characteristically show very low electrical resistivities, under 40Wm. They are absent from the curves of the electrical soundings performed over the alluvial deposits. The exception could be sounding S1. At most, they could be present under the alluvium as a thin layer that would be suppressed in electrical soundings.

A comparative analysis of electrical soundings S3 (zone 1, in Fig.1) and S2 (near zone 2) shows clearly that a variation in alluvium composition between the two places must exist. For a similar water level depth at the two sites, an alluvium resistivity of 260Wm was obtained in sounding S3 against 140Wm in sounding S2. This indicates the presence of a higher proportion of coarse-grained sediments in the area of S3.

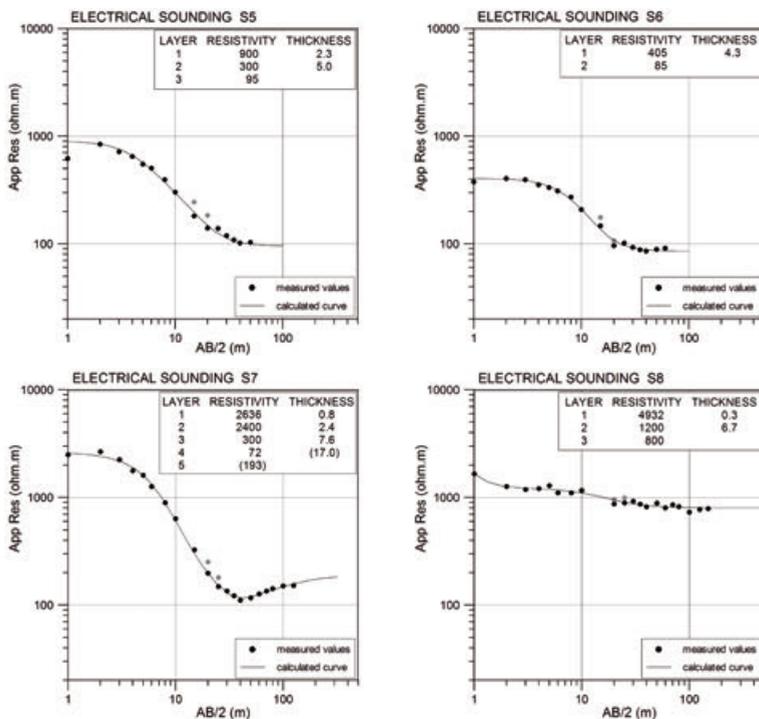


Fig. 4 – Electrical soundings S5 to S8 (see Fig.1 for location). Electrical resistivity in ohm.m; thickness in metres. Values in brackets: lateral effects.

Comparing soundings S3 and S4, the alluvium thickness in the first case has a value of 6.2m for a resistivity of 265Wm (layer 2) against 4.8m and 370Wm (layer 2) in the second case. The two soundings are close to one another and water level depth is similar

for both places. This implies the existence of some variation in alluvium characteristics between the two places. A variation in alluvium thickness would also be possible, but from a global comparative analysis of the electrical soundings performed at Arcozelo the existence of an effect related to sounding curve shape can be inferred. In similar conditions, soundings presenting an initial flat curve and a relatively weak resistivity contrast between that first layer and the second layer will show higher alluvium thicknesses. In soundings of type K, as sounding S4, and/or showing a higher resistivity contrast between the alluvium and underlying terrains, layer suppression will be facilitated.

Schlumberger soundings performed over the alluvial fans and the zone marked as 1 are in agreement with a coarse-grained nature of the sediments in these areas. Resistivities for the alluvium show values between 250 and 405 Wm for soundings S5 (over zone 4), soundings S3 and S4 (zone 1), S6 (to the SSW of zone 1); sounding S7 (at the extreme south of the map) and S1 (over zone 6). Characteristically, upper non-saturated layers reach high resistivity values, in the range 900-2600 Wm for soundings S5, S7 and S1. In what concerns thicknesses over alluvial fans, sounding S5 (zone 4) puts in evidence 7.3m thick deposits, the S1 (zone 6) 7.5m, and sounding S7, at the extreme south, the major thickness – 10.8m. The last value and the layer resistivities in sounding S7 are in agreement with the description of the log of a well located close to the sounding. It mentions the existence, over a depth of 8m, essentially of pebble-cobble layers.

It has been pointed out that at the extreme south of the map in Fig.1 apparent resistivities of the alluvial deposits are in the same range of those of granites. Distinction between the two situations may be readily done from the electrical sounding curves. Sounding S7 (over alluvium) shows a clearly different pattern from sounding S8 (over granite).

## 6 – Conclusion

The spatial variation in the composition of alluvial sediments may be quite pronounced. From the general relationship between the resistivity of unconsolidated formations and sediment grain-size it is possible to make use of geophysical electrical methods in their differentiation, which was here clearly achieved. This possibility is of major interest as, in general, the most favourable porosity - permeability relationships are associated with coarse-grained sediments.

Besides the electrical resistivity variation with the type and thickness of sediments, it has been shown that, for relatively shallow depths of investigation, water level depth has a definite influence on apparent resistivity values. Thus, it is considered that, in general, apparent resistivity variations on a regional scale should be looked at with some reserve. Local variations, such as those mentioned in zones 1, 4, 5 and 6 are viewed as being particularly meaningful.

## References

- ALTE DA VEIGA, N.M.S. (1999) - Recherche Hydrogéologique par Méthodes Géophysiques en Terrains Granitiques (Région de Gouveia – Seia, Portugal). Thèse de doctorat, Université de Lausanne.
- ASTIER, J.L. (1982) - Geofísica Aplicada a la Hidrogeología. Paraninfo, Madrid.

- CUNHA, P.M.R.R.P. (1992) - Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico Superior e Terciários de Portugal central a leste de Coimbra. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra.
- CARVALHO, A.M.G., RIBEIRO, A. & CABRAL, J. (1983) - Evolução paleogeográfica da bacia Cenozóica do Tejo-Sado. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, XXIV, p. 209-212.
- MEYER DE STADELHOFEN, C. (1991) - Applications de la géophysique aux recherches d'eau. Lavoisier, Paris.
- ORELLANA, E. (1982) - Prospeccion Geoelectrica en corriente continua. Paraninfo, Madrid.

## CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DAS ALUVIÕES DE VILA NOVA, PENACOVA - AVALIAÇÃO DE CONDICIONANTES ESTRUTURAIS E DA HETEROGENEIDADE HIDROGEOLÓGICA

### GEOPHYSICAL CHARACTERIZATION OF THE ALLUVIAL DEPOSITS OF VILA NOVA, PENACOVA – EVALUATION OF STRUCTURAL CONSTRAINTS AND THE HYDROGEOLOGICAL HETEROGENEITY

N. M. S. Alte da Veiga<sup>1</sup> & J. M. Azevedo<sup>2</sup>

**Resumo** – O depósito aluvionar de Vila Nova, Penacova, forma uma mancha alongada com uma extensão ligeiramente superior a 1 km, situada na margem esquerda do rio Mondego, na região de Penacova. Esta região é atravessada pelo sinclinal do Buçaco-Penedo de Góis, com orientação NW-SE, constituído por séries do Ordovícico-Silúrico. O depósito assenta sobre as séries paleozoicas do núcleo do sinclinal. Nas formações aluvionares evoluiu um aquífero não-confinado, limitado a W pelo Rio Mondego, e inferiormente e a E pelas formações paleozoicas com reduzida condutividade hidráulica. Sobre este depósito foram efetuados levantamentos com métodos geofísicos que conduziram à obtenção de secções bidimensionais de resistividade eléctrica, as quais permitiram pôr em evidência: importantes variações espaciais (verticais e laterais) na estrutura interna das aluviões, com claras consequências na heterogeneidade hidrogeológica do meio aquífero; a ocorrência de uma família de fracturação N8°E que retalha o soco paleozoico em blocos com movimentação vertical. Admite-se que a complexidade estrutural e morfológica das formações do soco tenha condicionado a deposição sedimentar e promovido a heterogeneidade estrutural e hidrogeológica das aluviões.

**Palavras-chave** – Geofísica; métodos eléctricos; aluvião; aquífero; hidrogeologia; heterogeneidade

*Abstract* – *The alluvial deposit of Vila Nova, Penacova (Central Portugal) is located on the left bank of the Mondego River and has a major length slightly greater than 1 km*

---

<sup>1</sup> FCTUC - Universidade de Coimbra, Centro de Geofísica e Depto. de Ciências da Terra; ndaveiga@ci.uc.pt

<sup>2</sup> FCTUC - Universidade de Coimbra, Centro de Geofísica e Depto. de Ciências da Terra; jazevedo@dct.uc.pt

*in the NS direction. This region is crossed by the Buçaco-Penedo de Góis syncline, which is oriented NW-SE and composed of Ordovician-Silurian series. The alluvial deposit is bedded on the core rocks of the Paleozoic syncline. Within the deposit formation occurs an unconfined aquifer, which is westward limited by the Mondego River and inferiorly and eastward by the low hydraulic conductivity Paleozoic rocks. Geophysical surveys were conducted over this alluvial deposit. They led to the acquisition of electrical resistivity two-dimensional sections, which put in evidence: (1) an important spatial (vertical and lateral) variation in the internal structure of the alluvial deposit, with clear consequences in the hydrogeological heterogeneity of the aquifer medium; (2) the occurrence of a N8°E fracture family, delimiting blocks of Paleozoic formations with vertical displacement. The structural and morphological complexity of the bedrock formations is viewed as having conditioned the sedimentary deposition and promoted the structural and hydrogeological heterogeneity of the alluvial deposits.*

***Keywords** – Geophysics; electrical methods; alluvium; aquifer; hydrogeology; heterogeneity*

## 1 – Introdução

Ao longo das margens do Mondego, mesmo nas regiões onde o seu curso é acentuadamente encaixado, como sucede a montante de Coimbra, estão presentes algumas manchas de depósitos aluvionares, em regra de pequenas dimensões. Ocorrendo estas manchas num contexto geológico de soco cristalino hercínico, elas assumem uma importância acrescida, entre outros factores devido às características de porosidade e permeabilidade elevadas que poderão apresentar, e que se traduzem numa elevada capacidade de circulação e armazenamento hídricos, podendo constituir reservatórios localmente importantes. Importante ainda é a relação hidrodinâmica permanente com a linha de água adjacente.

Ocasionalmente, alguma destas manchas apresenta uma extensão bastante acima da média, sendo este o caso das aluviões de Vila Nova, na região de Penacova (Fig. 1). Nestes casos há em regra um enquadramento geológico/estrutural que possibilitou tal ocorrência.

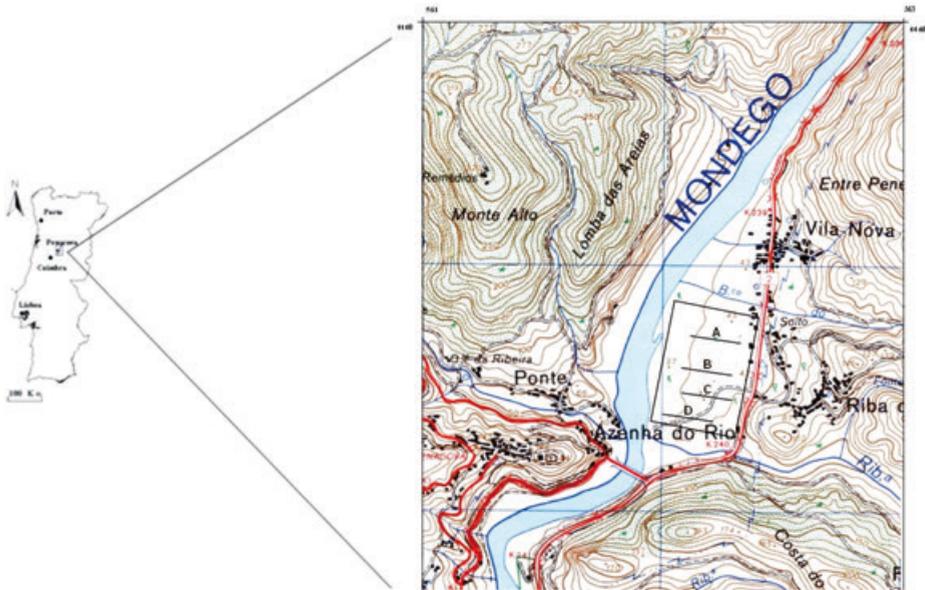


Fig. 1 - Enquadramento da área estudada (excerto da Carta Militar de Portugal, 1:25.000, Folha nº 231).  
Com indicação da sequência dos perfis e da sua orientação (A, B, C e D).

Do ponto de vista da abordagem hidrogeológica de um meio poroso deste tipo torna-se, obviamente, da maior relevância o conhecimento da variabilidade espacial das aluviões, quer em termos da sua possança, quer da variabilidade interna em termos litológicos. Assumem maior relevo as variações granulométricas dos sedimentos, bem como a presença e a geometria de níveis argilosos.

Neste contexto, os levantamentos efetuados na região de Penacova com métodos geofísicos eléctricos permitiram, de facto, pôr em evidência variações laterais e verticais nos depósitos aluvionares. E permitiram ainda estabelecer ligações entre a sua estruturação e o soco subjacente.

## 2 – Enquadramento geológico e hidrogeológico

A região de Penacova situa-se nas proximidades de Coimbra, a cerca de 20 km para montante, ao longo do Mondego. Os depósitos aluvionares de Vila Nova formam uma mancha na margem esquerda do rio (Fig. 1), praticamente em frente de Penacova.

Na zona de Penacova conjugam-se factores de ordem geológica que conferem à região características peculiares. A região é atravessada pelo sinclinal Ordovícico-Silúrico do Buçaco-Penedo de Góis, com orientação NW-SE, cujas formações assentam em discordância sobre os xistos argilosos e metagrauvaques do “Complexo Xisto-Grauváquico” (Pré-Câmbrico terminal a Câmbrico inferior). Neste sinclinal estão presentes: grauvaques vermelhos de base (Ordovícico inferior), quartzitos com raras intercalações pelíticas (Ordovícico inferior-médio), uma série xistenta e psamítica com intercalações quartzíticas

(Ordovício médio-superior) e xistos nodulares do Silúrico (COSTA, 1950; RIBEIRO et al., 1980; TEIXEIRA, 1981). Por outro lado, este mesmo sinclinal é cortado pela falha Verin-Penacova, com orientação NNE-SSW. A região foi sujeita a intensa deformação desde o Devónico médio, apresentando uma rede de fracturação densa e muito penetrativa (SEQUEIRA et al., 1997). Ainda de acordo com estes autores, terá havido reativação desta fracturação, em particular nos últimos 10 Ma.

Verifica-se que a passagem do rio Mondego, junto à vila de Penacova, é fortemente condicionada pela fracturação, que é aproveitada pelo rio para definir o seu traçado. Em relação com este contexto surgem localmente manchas aluvionares, presentes apenas nalguns troços das margens do Mondego, situando-se a alguns metros acima do nível de deposição atual. Os materiais constituintes são essencialmente terrígenos, de granulometria grosseira, por vezes mista (fina-grosseira) ou com intercalações de material fino, sobretudo de natureza limosa.

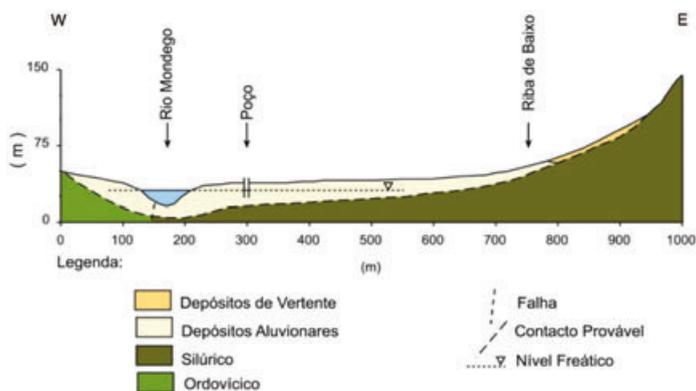


Figura 2 – Perfil geológico esquemático da região em estudo (AZEVEDO & SILVA, 2004).

O depósito aluvionar estudado corresponde à mancha de maiores dimensões na região. Este depósito assentará sobre as séries do núcleo do sinclinal Ordovício-Silúrico. Forma uma mancha com uma extensão superior a 1 km segundo uma direção NNE-SSW e largura inferior a 0,4 km, que evolui na margem esquerda do rio Mondego, junto à povoação de Vila Nova; estende-se desde o leito do rio até cotas próximas dos 50 m (Fig. 2).

Nas formações aluvionares desenvolve-se um aquífero não-confinado. Encontra-se limitado a W pelo Rio Mondego; inferiormente e a E contacta com as formações pró-impermeáveis do sinclinal Ordovício-Silúrico.

Os domínios grosseiros do meio aquífero poroso apresentam porosidade elevada ( $n = 20$  a 30%) e uma considerável condutividade hidráulica média ( $K = 10^{-4}$  a  $10^{-2}$  m.s<sup>-1</sup>) (AZEVEDO & SILVA, 2004).

A hidrodinâmica intra-aquífera é claramente condicionada pela relação com o rio Mondego e apresenta variações sazonais (AZEVEDO & SILVA, 2004). A carta piezométrica efetuada em período invernal (Fig. 3) aponta para uma circulação subterrânea complexa, possivelmente associada à presença de várias unidades aquíferas de reduzida dimensão com interligações hidráulicas.



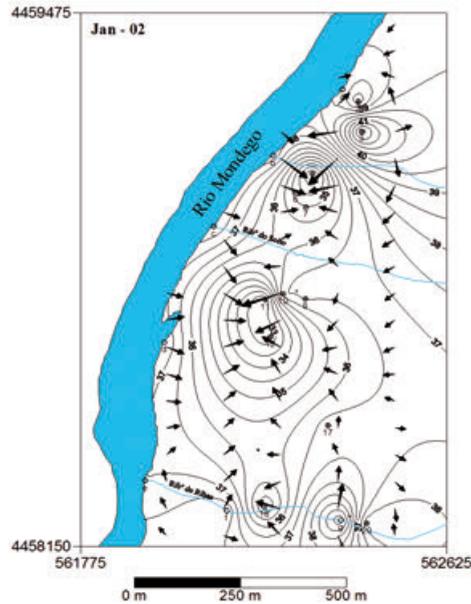


Figura 3 – Carta piezométrica do aquífero aluvionar não-confinado de Vila Nova, Penacova (AZEVEDO & SILVA, 2004).

A recarga aquífera decorre da precipitação atmosférica e da infiltração associada. A ligação hidrodinâmica com o rio Mondego contribui igualmente para este processo, assim como a descarga invernal a partir da ribeira de Ribas.

A descarga aquífera efetua-se por processos naturais, nomeadamente através de exurgências e da ligação hidrodinâmica com o rio Mondego e ribeiras afluentes. A captação hídrica nos poços locais constitui um processo de descarga induzida.

### 3 – Levantamentos com métodos geofísicos

#### 3.1 – Metodologia

Os trabalhos de campo compreenderam a realização de levantamentos com métodos eléctricos. Foi utilizado um resistímetro IRIS Syscal Jr., tendo sido efetuadas medições com eléctrodos múltiplos. As medições foram realizadas com um dispositivo base Wenner-Schlumberger; em cada perfil foram repetidas usando um dispositivo dipolo-dipolo. Tal permite fazer uma comparação de resultados. O espaçamento entre eléctrodos foi de 5 m. Como tal atingiram-se profundidades de investigação que foram para além da base das aluviões, tendo sido possível pôr em evidência variações ao nível do soco. Os perfis foram executados perpendicularmente ao alongamento da mancha aluvionar, com uma orientação próximo de E-W. As secções 2D obtidas foram processadas com o programa Res2Dinv.

### 3.2 – Resultados obtidos

280

Os resultados obtidos estão condensados nas secções de resistividade eléctrica mostradas nas figuras 4 e 5. Nestas secções, as profundidades representadas são da ordem dos 30-35 m no caso dos perfis Wenner-Schlumberger da Fig. 4; e de 25 m no caso dos perfis dipolo-dipolo representados na Fig. 5. É patente, nestas secções, a existência de uma variabilidade acentuada na distribuição espacial dos valores de resistividade eléctrica do terreno, o que traduz a existência de um meio acentuadamente heterogéneo, com variações laterais e verticais nos corpos geológicos na zona em causa.

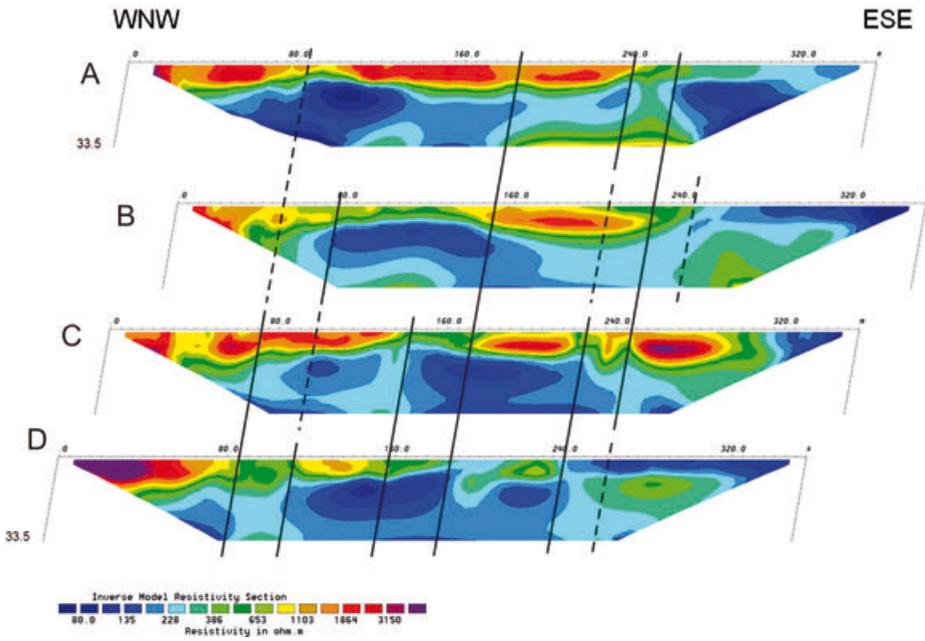


Fig. 4 – Secções de resistividade obtidas com um dispositivo Wenner-Schlumberger. Distâncias e profundidades em metros.

As rochas de tipo detrítico, com porosidade intergranular e fraca cimentação, apresentam no geral uma boa correlação (positiva) entre os valores de resistividade da rocha e a granulometria da mesma (tal como se pode encontrar, por exemplo, em MEYER DE STADELHOFEN, 1991). Assim é que depósitos grosseiros, conglomeráticos ou de cascalho e areão, tendem a apresentar valores de resistividade mais elevados que depósitos constituídos por areias mais finas. A presença de argila também tende a baixar a resistividade dos corpos litológicos onde ela ocorre. Deste modo, torna-se possível fazer uma interpretação das secções de resistividade em termos de variações da litologia/granulometria dos depósitos. Sendo as diferenças de cota reduzidas, ao longo de cada perfil, não é de esperar que variações laterais de resistividade eléctrica relativamente acentuadas estejam relacionadas com variações pronunciadas no grau de saturação das unidades presentes.

Os terrenos de origem aluvionar terão espessuras médias da ordem dos 7 a 10 m. Esta espessura tende a ser superior a oeste, junto ao rio. Na Fig. 4, na secção inferior (D), os depósitos mais finos encontram-se na zona oriental do perfil, com resistividades inferiores a 150 W.m (240-350 m). Entre os 215-240 m há um corpo com granulometria mais grosseira. O mesmo se verifica, com maior continuidade, entre os 0 m e os 180 m, sendo que se observa uma tendência para um aumento da espessura dos depósitos dos 180 m para os 0 m. Na zona mais próxima do rio, a oeste, conjuntamente com um aumento da espessura, os depósitos têm resistividades elevadas, superiores a 1500-2000 W.m. Nesta zona, mais próxima do rio, as cotas são mais baixas do que para Este, pelo que este facto não pode explicar o aumento da resistividade dos materiais aluvionares. Tal tem a ver com a presença de depósitos muito grosseiros, conglomeráticos, o que de resto é observável localmente no terreno.

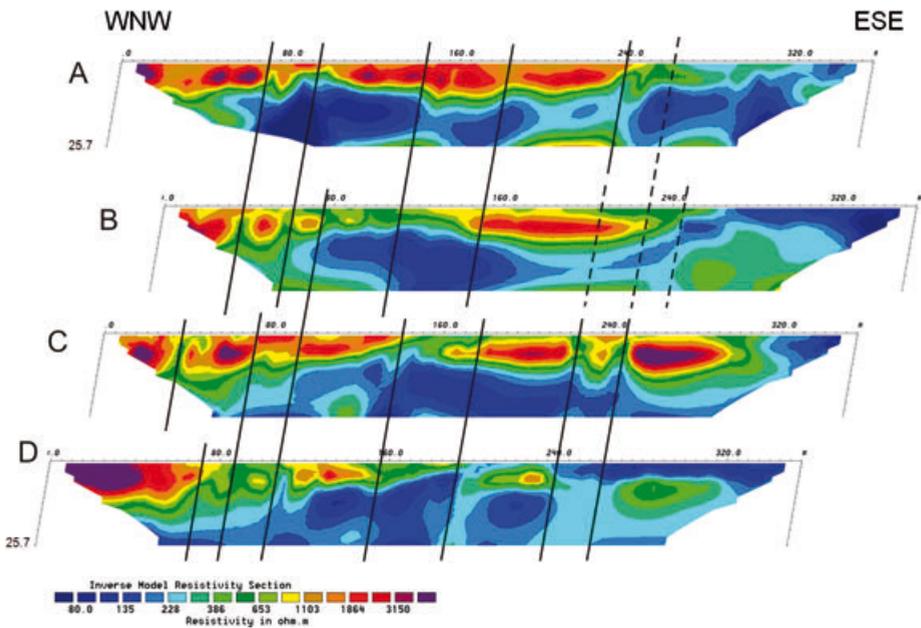


Fig. 5 – Secções de resistividade obtidas com um dispositivo dipolo-dipolo. Distâncias e profundidades em metros.

Além de variações laterais nos depósitos, são observáveis variações verticais. Estas são mais evidentes nas secções correspondentes às medições feitas com um dispositivo dipolo-dipolo, representadas na Fig. 5. Nestas secções, nota-se com frequência a presença de um nível superior com espessura relativamente reduzida e resistividade mais baixa, que se sobrepõe a depósitos mais grosseiros evidenciando uma resistividade mais elevada. Tal é visível no perfil C da Fig. 5 aos 180-215 m e aos 250-280 m, por exemplo; mas o mesmo se repete noutros perfis. Neste perfil C também é observável o oposto, aos 80 m, havendo aqui depósitos mais grosseiros que se sobreporão a depósitos mais finos.

Para além da variabilidade lateral e vertical nas aluviões, as secções de resistividade eléctrica das Figs. 4 e 5 põem em evidência a existência de variações laterais ao nível do próprio soco. Observando novamente a secção inferior (secção D) da Fig. 4, aos 240 m,

a uma descontinuidade lateral na resistividade das aluviões (superior a Oeste; inferior a Este) corresponde uma outra descontinuidade ao nível do substrato paleozoico, mas desta vez de sentido inverso (inferior a Oeste; superior a Este). Esta variação no soco, a existir sozinha, poderia ser associada a uma variação litológica de séries verticalizadas. A variação simultânea ao nível do soco e da cobertura aponta claramente para um controlo por falha.

A análise conjunta dos diferentes perfis das Figs. 4 e 5 mostra a existência de padrões que se podem seguir de perfil para perfil e que permitem traçar as falhas entre as secções. Desta forma, as falhas marcadas aos 240 m e 260 m na secção D podem-se seguir na secção C e até à A, havendo contudo, entre perfis, algumas variações no padrão base. Nos perfis D, C e A as aluviões apresentam resistividades mais baixas a Este e mais elevadas a Oeste. É notório, nestes perfis, que as falhas aos 240 m/260 m criam as condições para a implantação de depósitos mais grosseiros do que os existentes na zona mais oriental, depósitos estes que vão encostar neste alinhamento de falha com orientação N8°E. Estas falhas e estes depósitos marcam-se igualmente no perfil C, mas a existência de uma lentícula com resistividade elevada para Este do alinhamento das falhas introduz uma diferença no padrão de variação ao nível dos depósitos aluvionares.

Ao nível do substrato Paleozoico, a resistividade é mais elevada a Este das falhas sitas aos 240 m/260 m do que a Oeste (perfis D, C e B), com valores da ordem dos 500 W.m no primeiro caso e inferiores a 200 W.m no segundo. Este contraste de valores poderá estar relacionado com uma variação litológica associada a um rejecto na dependência das falhas mencionadas, ou à fracturação e esmagamento de uma rocha original xistenta; ou, eventualmente, a ambos os mecanismos. No perfil B, contudo, tanto este padrão, observável ao nível do soco, como o limite dos depósitos aluvionares com resistividade elevada mostram um desvio de cerca de 20 m para Este, parecendo indicar algumas variações no controlo por cada uma das falhas paralelas aos 240 m/260 m. No perfil A a situação é distinta: neste caso, ao invés dos outros perfis, ao nível do soco, é o bloco a Este das falhas que apresenta resistividades tendencialmente mais baixas que a Oeste. Tal aponta para a existência de outro factor de estruturação ao nível do soco, litológico ou estrutural, com uma orientação diferente das já apontadas.

Outras falhas há cuja influência se faz sentir simultaneamente ao nível do soco e da cobertura aluvionar, mais evidentes nomeadamente aos 110 m e aos 190 m na secção D das Figs. 4 e 5; e aos 95 m e 145 m na secção C, podendo apontar-se outros casos. Na zona mais perto do rio, a Oeste, é notório, em todos os perfis, a existência de um condicionamento por uma família de falhas que se traduz num progressivo aumento da espessura das aluviões para Oeste.

A heterogeneidade na composição e estruturação das aluviões traduz-se, naturalmente, numa heterogeneidade das características hidrogeológicas das mesmas. Tal parece ser acentuado pelo controlo exercido pela fracturação na implantação dos depósitos aluvionares.

#### 4 – Conclusão

Os levantamentos com métodos geofísicos eléctricos permitiram pôr em evidência: (1) a existência de acentuadas variações laterais e verticais nas aluviões de Vila Nova; (2) a ocorrência de uma família de fracturas com orientação N8°E ao nível do soco paleozoico; (3) a relação entre a fracturação do soco e as variações na estrutura interna dos depósitos aluvionares.

Assim, admite-se que a complexidade estrutural e morfológica das formações do soco tenha condicionado a deposição sedimentar e promovido a heterogeneidade estrutural e hidrogeológica das aluviões.

### Referências Bibliográficas

- AZEVEDO, J.M.M. & SILVA, S.M.R. (2004) - Hidrogeologia e importância ambiental de pequenos aquíferos associados a depósitos aluvionares: o exemplo do aquífero de Vila Nova, Penacova. – *Anais da 8ª Conferência Nacional de Ambiente*. Univ. Nova Lisboa, 7p.
- COSTA, J. C. (1950) – Notícia sobre uma Carta Geológica do Buçaco de Nery Delgado. – Publicações dos Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 27p.
- MEYER DE STADELHOFEN, C. (1991) - Applications de la géophysique aux recherches d'eau. Lavoisier, Paris.
- RIBEIRO, A.; ANTUNES, M. T.; FERREIRA, P.; ROCHA, R. B.; FERREIRA SOARES, A.; ZBYSZEWSKY, G.; ALMEIDA, F. M.; CARVALHO, D. & MONTEIRO, J. (1980) - Introduction à la géologie générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114 pp.
- SEQUEIRA, A. J. D., CUNHA, P. P. & SOUSA, M. B. (1997) - A reactivação de falhas, no intenso contexto compressivo desde meados do Tortoniano, na região de Espinhal–Coja–Caramulo (Portugal Central). - *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, Tomo 83, p. 95-126.
- TEIXEIRA, C. (1981) - Geologia de Portugal, Vol. I, Pré-Câmbrico e Paleozóico. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, p. 69-72.

(Página deixada propositadamente em branco)

## PROSPEÇÃO MINERALOMÉTRICA COM RECURSO A TERMITEIRAS – CONTRIBUTOS PARA UM MÉTODO

### HEAVY MINERALS EXPLORATION USING TERMITE-MOUNDS – CONTRIBUTIONS FOR A METHOD

C. S. Dias Pereira<sup>1</sup> & C. A. Leal Gomes<sup>2</sup>

**Resumo** – A mineralometria aplicada a termiteiras pode permitir a identificação de mineralizações com interesse económico presentes em litologias sub-aflorantes com afinidade pegmatítica. O método é simples, expedito e de aplicação pouco onerosa. Estas características são adequadas ao contexto africano, onde as coberturas de solo e rególito podem ser muito espessas e também pelos constrangimentos logísticos que a prospeção implica nessas regiões. Em conformidade, pretende-se, com este trabalho, contribuir para a definição de um método eficaz que possa ser utilizado nas regiões intertropicais, onde as termiteiras são frequentes e ubíquas, podendo na mineralogia específica proporcionar indícios mineralógicos relativos a compartimentos volumetricamente significativos das litologias vizinhas.

**Palavras-chave** – Prospeção; mineralometria; termiteiras.

*Abstract* – *The application of heavy minerals discrimination and quantification in termite-mounds allows the identification of economic mineralizations existing in sub-outcropping pegmatites, through a simple, quick and inexpensive method. These features are crucial in the African context, where the overburden and the coverage may be significantly profound and where the exploration has many logistical, economical and technological constraints. Accordingly, this work intends to contribute to the definition of an effective method that can be used in tropical areas, where the termite-mounds are abundant with mineral contents that may represent extensive compartments of surrounding rock types.*

**Keywords** – *Exploration; heavy-minerals; termite-mounds.*

---

<sup>1</sup> CIG-R- Departamento de Ciências da Terra - Escola de Ciências - Universidade do Minho; celiadidas@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Ciências da Terra - Escola de Ciências - Universidade do Minho; caal.gomes@gmail.com

## 1 – Introdução

286

A mineralometria é aqui entendida como um método de identificação e quantificação de partículas de minerais com densidade elevada ( $d > 2,90$ ) compatível com uma separação e concentração hidrogravíticas. Procura-se identificar anomalias mineralógicas que indiquem a presença de pegmatitos graníticos em profundidade, em especial, em situação de subfloramento, abaixo de terrenos de cobertura – solos, rególitos, alterites variadas e terrenos coluviais a eluviais.

Em jazigos pegmatíticos, os minerais de interesse económico são, na generalidade, densos e suscetíveis de colheita direta, no caso dos minérios. As mineralizações de gemas podem ser identificadas através de paragénese-guia, formadas por associações de minerais densos, que também são retidas no processo de separação hidrogravítica. Estes factos autorizam a aplicação do método mineralométrico sobre a fração detrítica das termiteiras, no sentido de procurar indícios e minerais guias de pegmatitos e suas mineralizações.

As termiteiras, frequentes em regiões tropicais, são estruturas habitacionais edificadas pelas térmitas. As térmitas geófagas mobilizam materiais litológicos não consolidados de cobertura, eventualmente até ao “*bedrock*”, promovendo o transporte vertical de partículas que incluem minerais pesados. Algumas destas térmitas selecionam os minerais do meio que colonizam promovendo o aparecimento de conjuntos detríticos que têm capacidade para evidenciar mineralizações de interesse económico, pois incluem minérios ou minerais-guia (DIAS PEREIRA, 2009).

No conjunto das térmitas geófagas, as pertencentes ao género *Macrotermes* apresentam duas características que potenciam a aplicação prospetiva - a grande dimensão dos edifícios construídos e a simbiose que estes insetos estabelecem com o fungo *Termitomyces*. Relativamente à primeira, o tamanho dos edifícios é proporcional à quantidade de material transportado, que provém de profundidades elevadas, possibilitando um conhecimento mais abrangente das litologias sub-aflorantes. Por outro lado, a atividade construtiva das térmitas em sentido lato (seleção, transporte e taxa construtiva) é fortemente condicionada por fatores ambientais. As térmitas têm de manter a humidade relativa perto da saturação, a temperatura a aproximadamente 30°C e a concentração de CO<sub>2</sub> relativamente baixa no interior da termiteira, para que o fungo sobreviva, obrigando-as à recolha de grande quantidade de argila (essencialmente, caulinite) e à reestruturação constante da arquitetura do edifício. Em consequência, o transporte de material litológico ocorre a partir de profundidades cada vez mais elevadas à medida que decorre o tempo de atividade de uma termiteira.

Nas situações em que é necessário aumentar a humidade relativa no edifício, a seleção dos locais de recolha exige a disponibilidade de água e de caulinite. Em conformidade, as cavidades miarolíticas em pegmatitos são locais propícios à circulação e concentração de água e, como referem BRAGA & LEAL GOMES (2007), apresentam altos conteúdos de caulinite e outros minerais de argila em preenchimento.

O presente estudo discute a utilização das edificações de *Macrotermes* na prospeção de jazigos de afinidade pegmatítica e mineralizações associadas e pretende contribuir para a definição de um método de rotina de prospeção mineralométrica que se afigure eficaz e eficiente em contexto intertropical.

A Província Pegmatítica Zambeziana, em Moçambique, com um vasto conjunto de recursos base relacionados com a evolução de pegmatitos graníticos e com características tropicais propícias à instalação de colónias de térmitas geófagas, justifica a sua seleção como área de estudo.



## 2 – Edificações de *MACROTERMES* com interesse prospetivo

A anatomia dos edifícios da *Macrotermes* pode variar ligeiramente em consonância com determinados fatores específicos e ambientais (clima, composição do solo e vegetação), sendo, no entanto, possível definir uma estrutura geral para as edificações amostradas com base nos dados de campo e por comparação com a literatura (Fig. 1; DIAS PEREIRA, 2009).

287

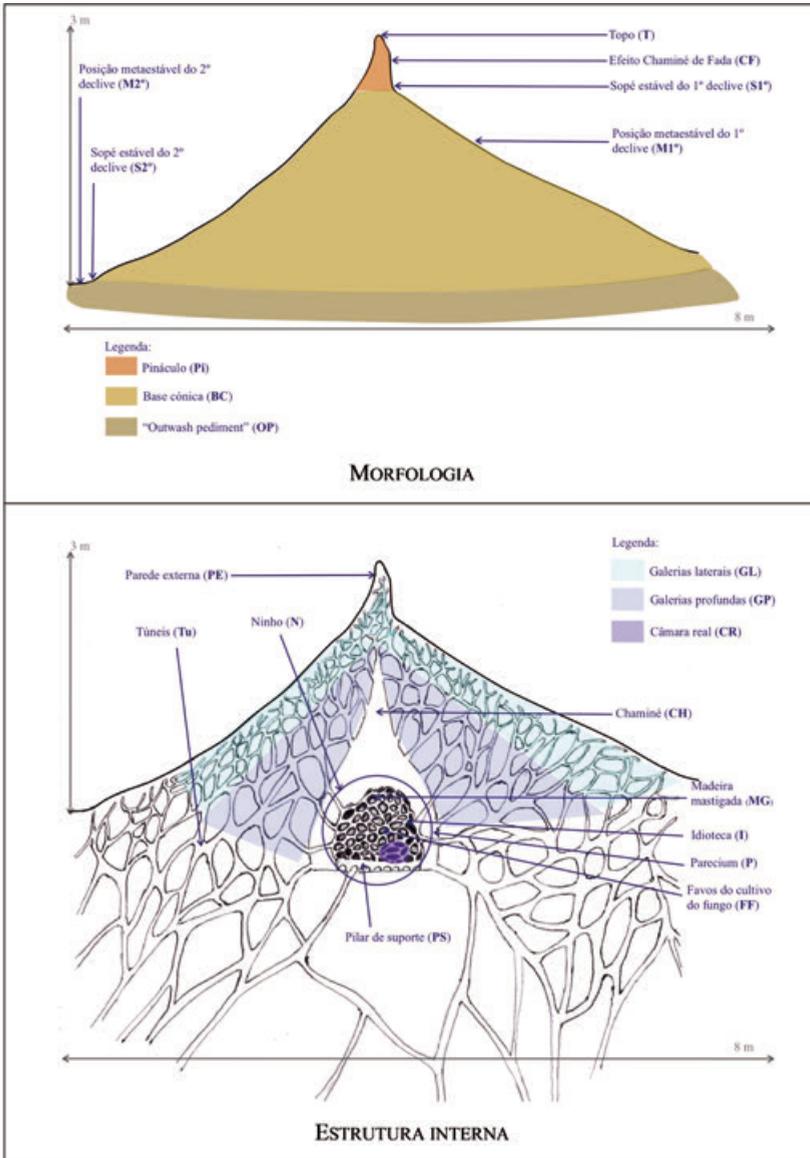


Fig. 1 – Modelo da anatomia (morfologia e estrutura interna) das termiteiras do género *Macrotermes* estudado no presente trabalho - baseado em GRASSÉ & NOIROT (1958).

Na atividade construtiva, as térmitas do género *Macrotermes* transportam partículas litológicas nas mandíbulas ou no interior do seu organismo, as quais são ingeridas, semi-digeridas e depois defecadas. Estas partículas unem-se através de um material aglutinante (cimento), frequentemente, caulinite ou hematite e/ou goethite (ESCHENBRENNER, 1986), produzindo grânulos ovoides de dimensões muito reduzidas, designados por micro-agregados. Estes constituem a unidade elementar de todo o edifício, não possuindo, contudo, uma constituição mineralógica homogénea na termiteira.

Estudos anteriormente realizados permitiram identificar a presença de um oxalato de cálcio monohidratado,  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , a whewellite, em unidades de tipo FF representadas na Fig. 1 (DIAS PEREIRA, 2009). Esta biomineralização é produzida, provavelmente, pelo fungo *Termitomyces*. Não foi detetada em nenhum micro-agregado exterior ao ninho.

Por seu lado, a extensa rede de canais internos e o material construtivo do revestimento externo da termiteira apresentam uma predominância de minerais alogénicos detríticos envolvidos e aglutinados por uma fração argilosa ( $< 2 \mu\text{m}$ ), caracterizada pela presença de caulinite (80-90%), goethite (5-15%), ilite (5-12%, restringida a certas localizações do edifício) e com alguns traços de atapulgite, boehmite, gibbsite, haloisite, hidrobiotite, metahaloisite, montmorilonite, sepiolite e vermiculite (LEPRUN & ROY-NÖEL, 1976; BACHELIER, 1977; BOYER, 1982; FREYSSINET *et al.*, 1990; KASCHUK *et al.*, 2006).

Segundo DIAS PEREIRA (2009), a análise dos concentrados de minerais densos, obtidos por separação hidrográvica de diferentes materiais das termiteiras, permitiu constatar que as regiões mais periféricas dos edifícios apresentam uma maior diversidade mineralógica, em especial no sopé estável do primeiro declive (S1º na Fig. 1).

As térmitas, enquanto agentes ativos na construção do próprio edifício habitacional, são capazes de promover a litobiogénese em organizações texturais diversificadas como a que foi identificada por DIAS PEREIRA (2009) e diz respeito à incorporação em grânulos de clastos de ilmenite orientados. Nesse trabalho, coloca-se a hipótese do alinhamento estar relacionado com a polaridade magnética e resultar da imposição do campo magnético terrestre ou resultar de uma orientação eletrolítica. Qualquer destas possibilidades verificar-se-ia numa fase inicial da consolidação do cimento onde as ilmenites foram englobadas.

A constituição da fração de minerais densos depende da disponibilidade destes nas litologias aflorantes e sub-aflorantes, mas algumas anomalias mineralométricas dependem da recolha seletiva dos minerais pelas térmitas. A quantidade elevada de minerais com densidade superior a 2,90 presente nos concentrados facilita a aplicação do método.

### 3 – Método

Para o estudo da mineralometria em termiteiras foi adotado o método esquematizado no diagrama da Fig. 2.

Os vários procedimentos expostos têm por base DIAS PEREIRA (2009), cujo estudo permitiu a definição das melhores estruturas para a colheita de amostras nas termiteiras.

A indicação presente no diagrama sobre o impedimento da prossecução dos trabalhos prospetivos, quando não forem reconhecidas termiteiras do género *Macrotermes*, surge em consequência dos resultados obtidos até ao momento, que não permitem concluir sobre a eficácia do método mineralométrico em termiteiras de outros géneros.

Tendo em vista a definição do interesse prospetivo de outras termiteiras, a linha de investigação em curso incide, também, sobre o género *Cubitermes*.

Relativamente à quantificação de minerais densos, apresentam-se algumas técnicas simples opcionais que são seleccionadas de acordo com as características do concentrado em análise. De um modo geral, a estimativa visual com recurso a ábacos é a mais utilizada devido ao seu carácter expedito e praticabilidade.

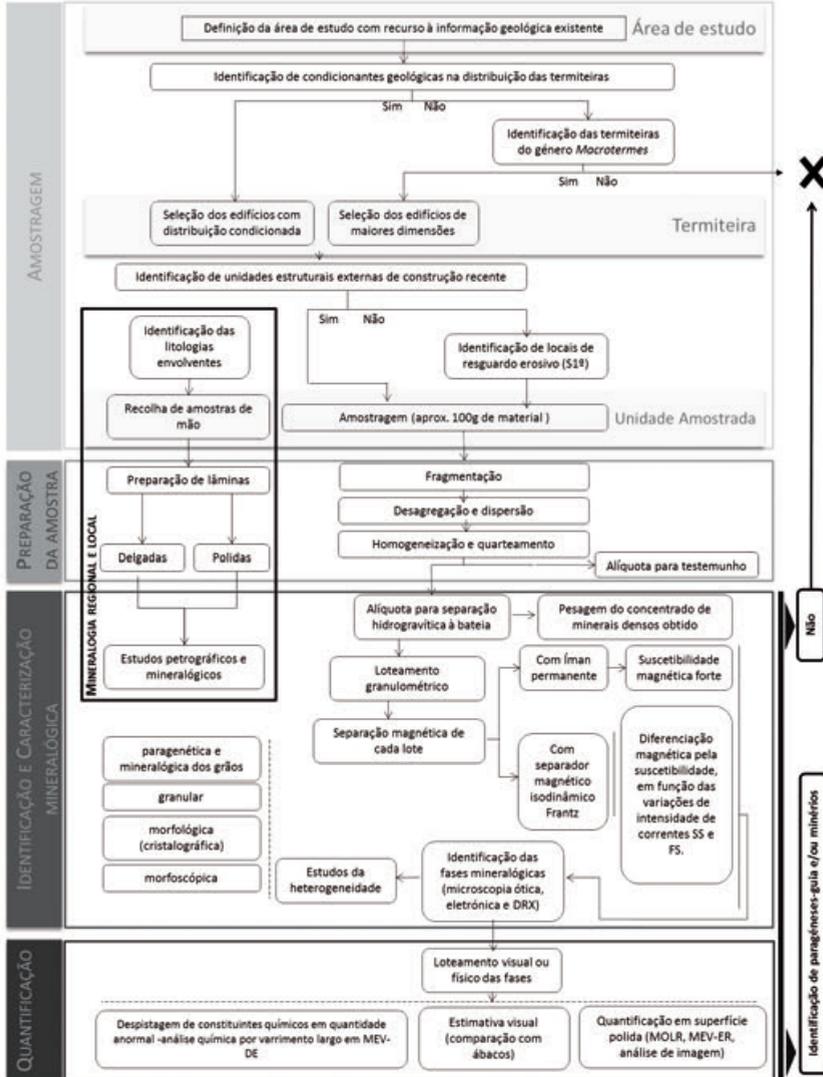


Fig. 2 – Diagrama síntese do método adotado na mineralometria em termiteiras. Legenda: S1º – Sopé estável do 1º declive da estrutura externa da termiteira; DRX – Difração de raios X; MOLR – Microscópio ótico de luz refletida; MEV-ER – Microscópio eletrónico de varrimento em modo de elétrons retrodifundidos; MEV-DE – Microscópio eletrónico de varrimento – espectros de dispersão de energia; X – Sem interesse prospetivo.

#### 4 – Procedimentos simplificados e modo de aplicação

290

Os trabalhos de campo e a análise de amostras realizados até ao momento permitem uma primeira proposta de aplicação da mineralometria em termiteiras no contexto africano Sub-Sahariano (Fig.3).

O esquema da figura 3 é uma simplificação funcional para aplicação em rotina. Pretende-se que, de forma expedita e com poucos recursos (bateia, dinamómetro, lupa binocular e balança de precisão até duas casas decimais), se consiga detetar a presença de minerais indicadores ou guias em condições utilizáveis.

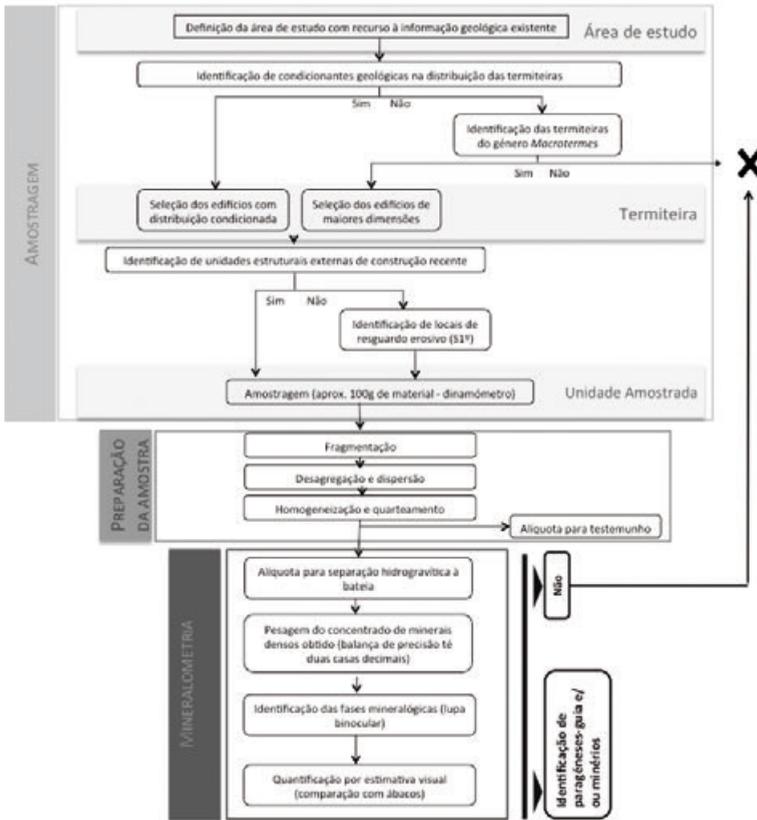


Fig. 3 – Diagrama síntese do processo metodológico para a aplicação da prospeção mineralométrica em termiteiras. Legenda: S1° - Sopé estável do 1º declive da estrutura externa da termiteira; X – Sem interesse prospetivo.

#### 5 – Considerações finais

No contexto geográfico intertropical, a prospeção de depósitos de afinidade pegmatítica depara-se com constrangimentos de índole variada que incluem a reduzida dimensão de alguns pegmatitos interessantes e também a sua deficiente expressão aflorante devido

aos espessos mantos de alterite suprajacentes. Também as logísticas a que é necessário fazer face nas conjunturas socioeconómicas que caracterizam estas regiões dificultam a prospeção apenas dedicada aos pegmatitos. Neste caso, a aplicação do método mineralométrico em termiteiras assume particular importância, quer pelo seu carácter expedito (a amostragem é simples e rápida) e barato (exige pouca mão de obra e equipamento simples), quer pela vantagem da análise incidir em material litológico de grandes profundidades (devido à ação das térmitas) sem custos importantes em trabalhos de escavação.

A mineralometria aplicada em termiteiras possibilita, ainda, um conhecimento mais direto dos minérios durante a prospeção o que pode gerar uma antecipação da caracterização tecnológica de minérios, necessária numa fase posterior. Por exemplo, o conhecimento de algumas propriedades dos minerais da paragénese, obtido aquando da análise dos concentrados, pode gerar informações potencialmente úteis para um eventual e futuro processamento dos minérios.

Relativamente ao carácter invasivo da prospeção mineralométrica, que exige a recolha de uma pequena porção de material da termiteira, este é minorado pela capacidade reconstrutiva das térmitas. Segundo TURNER (2007), estes insetos conseguem reconstruir a totalidade de um edifício sujeito a ablações em apenas 90 dias.

**Agradecimentos** – O presente trabalho recebeu apoio da FCT através de uma bolsa de doutoramento (SFRH/BD/68562/2010), com cofinanciamento do FSE, do Programa Operacional Potencial Humano/POPH e da União Europeia. O CIG-R é suportado pelo programa Plurianual da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), financiado pela União Europeia (programa FEDER) e pelo orçamento nacional da República Portuguesa.

Ao Eng.º Alberto Gouveia dos Santos, das Empresas SOMIPE & SOMINA e ao Dr. João Marques pela disponibilização de dados de campo e material cartográfico, muitos deles integrados em relatórios técnicos inéditos, os devidos agradecimentos.

Dias Pereira agradece especialmente a hospitalidade do acolhimento e o valioso apoio logístico no terreno, proporcionados pela empresa mineira EuroExport (Exploração Mineira) que tem sede em Nampula.

## Referências Bibliográficas

- BACHELIER, G. (1977) – Mise au point sur l'action des térmites dans les sols. Extract de *Science du Sol – Bulletin de l'A.F.E.S.*, p. 1-11.
- BOYER, P. (1982) – Quelques aspects de l'action des térmites du sol sur les argiles. *Clay Minerals*, 17, p. 453-462.
- BRAGA, M. A. & LEAL GOMES, C. (2007) - Kaolinization of the Naipa Pegmatite Group from Alto Ligonha (Zambézia - Moçambique). Poster, Núcleo de Investigação Geológica, Ordenamento e Valorização de Recursos Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- DIAS PEREIRA, C. (2009) – Anatomia e mineralogia das edificações de *Termitidae* da Zambézia (Moçambique): aplicação em prospeção táctica a pontual de jazigos de afinidade pegmatítica. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 103 p.
- ESCHENBRENNER, V. (1986) - Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux. ORSTOM, UR 605, Station de Science du Sol, INRA, p. 397-408.

- FREYSSINET, P.; ROQUIN, C.; MULLER, J. C.; PAQUET, H. & TARDY, Y. (1990) - Geochemistry and mineralogy of soils covering laterites and their use for gold exploration. BRGM, Orléans, France, p. 58-60.
- GRASSÉ, P. e NOIROU, C. (1958) – Construction et architecture chez les termites champignonnistes (*Macrotermitinae*). Proceedings of the Tenth International Congress of Entomology, Montreal, p. 515-520.
- KASCHUK, G.; SANTOS, J. C. P. & ALMEIDA, J. A. (2006) – Termite activity in relation to natural grassland soil attributes. *Sci. Agric.*, 63 (6), p. 583-588.
- LEPRUN, J. C. & ROY-NÖEL J. (1976) – Minéralogie des argiles et répartition des nids épigés de deux espèces du genre *Macrotermes* au Sénégal Occidental (Presqu'île du Cap-Vert). *Insectes Sociaux*, 23 (4), p. 535-547.
- TURNER, J. S. (2007) – Homeostasis, complexity, and the problem of biological design. Pre-proceeding of the 3rd International Workshop on complexity and philology. South Africa, p. 131-147.

## LOCALIZAÇÃO ESTRUTURADA DE TERMITEIRAS *MACROTERMES* PELA PRESENÇA DE PEGMATITOS

### INFLUENCE OF PEGMATITES IN THE DISTRIBUTION OF *MACROTERMES* TERMITE MOUNDS

C. S. Dias Pereira<sup>1</sup> & C. A. Leal Gomes<sup>2</sup>

**Resumo** – A relação simbiótica que as térmitas *Macrotermes* estabelecem com o fungo *Termitomyces* obriga-as a manter condições específicas de humidade, CO<sub>2</sub> e temperatura, no interior da termiteira. Deste modo, o seu sucesso reprodutivo, e até a sua sobrevivência, dependem fortemente da disponibilidade de água e argilas no meio. Os pegmatitos e, em especial, as cavidades miarolíticas, possuem argilas e favorecem a circulação e concentração de água, assumindo-se como locais propícios à instalação de colónias deste tipo de insetos. Com este trabalho pretende-se sistematizar a informação obtida até ao momento sobre a localização geologicamente estruturada de edifícios contruídos pelas *Macrotermes*.

**Palavras-chave** – prospeção, pegmatitos, termiteiras.

**Abstract** – *The symbiotic relations that Macrotermes termites establish with the fungus Termitomyces requires specific conditions of humidity, CO<sub>2</sub> and temperature within the termite mound. Thus, the reproductive success and survival depends greatly on the availability of water and clays in the surrounding litologies. The pegmatites, in particular miarolitic cavities, possess clays and allow the movement and concentration of water, being potential sites for the installation of colonies of such insects. This work aims to systematize the information obtained about the influence of pegmatites in the distribution of Macrotermes termite mounds.*

**Keywords** – *exploration, pegmatites, termite-mounds.*

---

<sup>1</sup> CIG-R- Departamento de Ciências da Terra - Escola de Ciências - Universidade do Minho; celiadias@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Ciências da Terra - Escola de Ciências - Universidade do Minho; caal.gomes@gmail.com

## 1 – Introdução

As térmitas pertencentes ao género *Macrotermes* apresentam uma vasta distribuição nas regiões tropicais, colonizando as áreas florestais e de savana, tais como as que existem na Província da Zambézia, Moçambique. Estes insetos sociais necessitam de manter, no interior da termiteira, temperaturas de cerca de 30°C, humidade perto da saturação e uma baixa concentração de CO<sub>2</sub>, para assegurar o cultivo do fungo *Termitomyces* com o qual estabelecem simbiose. A regulação destas condições físico-químicas ocorre a partir da construção e reestruturação constante do edifício habitacional, o que significa que o seu sucesso reprodutivo está fortemente dependente da disponibilidade de água e de argilas no meio envolvente, constituindo condicionantes à sua sobrevivência. Segundo BOYER (1982), elas desaparecem quando o teor de argilas nos horizontes do solo é inferior a 10% e apresentam uma distribuição muito restrita, colonizando especialmente os locais com substratos caulínicos (LEPRUN & ROY-NÖEL, 1976).

Depois da revoada (saída das térmitas aladas, após as primeiras chuvas) os reprodutores primários determinam o local onde se localizará o *copularium* (1º estágio de desenvolvimento da termiteira).

Assegurado um clima favorável, as *Macrotermes* deverão implantar-se onde o tipo de litologia e as estruturas geológicas existentes proporcionem água e argila suficientes para a sobrevivência e reprodução (DIAS PEREIRA, 2009). Esta distribuição diferencial poderá dever-se ao facto de os reprodutores primários serem capazes de efetuar uma seleção dos locais mais favoráveis para a instalação da colónia ou, em alternativa, pode verificar-se outra hipótese – os reprodutores primários que selecionam os melhores locais, são os únicos que sobrevivem (DIAS PEREIRA & LEAL GOMES, 2010).

Os pegmatitos e, em especial as cavidades miarolíticas, possuem argilas que as térmitas necessitam para a construção da termiteira. A instalação destes está marcadamente associada a estruturas geológicas que favorecem a circulação e concentração de água freática (falhas, fraturas, contactos geológicos, etc.). Tais aspetos justificam o objetivo do presente trabalho, que procura perceber a correlação entre a distribuição das termiteiras e os tipos de litologias e estruturas geológicas que as acolhem.

A Zambézia é uma região propícia à instalação de colónias de térmitas e onde estão bem representadas as diferentes classes genéticas e geológicas de pegmatitos graníticos, muito em especial nas regiões que foram cobertas por este estudo (DIAS *et al.*, 2006).

## 2 – Densidade Linear da Implantação de termiteiras *Macrotermes*

Com o intuito de conhecer a densidade da distribuição das termiteiras na Zambézia, foram registadas todas as coordenadas de geo-posicionamento por satélite (GPS) correspondentes aos edifícios de *Macrotermes* observados em trajeto linear até uma distância não superior a 35m para cada lado do percurso (A e B da Fig.1).

De acordo com a figura 1 que ilustra dois trajetos efetuados na região do Alto Ligonha, numa distância de aproximadamente 4.5km, de Nuaparra a Ririca (percurso A), foram registadas 50 termiteiras, enquanto que no percurso B (Murrupoci-Namacotche) observaram-se 120 edifícios ao longo de 21km. Neste registo a incerteza da localização é de ±2m.



A fotointerpretação através do Google Earth (versão 6.1.0.5001) permitiu reconhecer um incremento da densidade linear de implantação das termiteiras da *Macrotermes* sobre os níveis essencialmente anfibólicos de P<sub>2</sub>NMam (Fig.1). Os terrenos anfibólicos apresentam, geralmente, uma cobertura vegetal mais densa, espessuras do solo e regolito maiores e foliação penetrativa vestigial mais marcada em análise distanciada, que veicula a escorrência superficial de água e, previsivelmente, o escoamento subterrâneo. Outro aspeto da distribuição sugere maiores concentrações de edifícios de térmitas junto de estruturas de cavalgamento que afetam os anfibólitos (Fig.1).

Na Carta Geológica da região, à escala 1:250 000 (Fig.2) pode confirmar-se, principalmente no percurso B, que o aumento de número de termiteiras de *Macrotermes* acompanha as fácies anfibólicas.

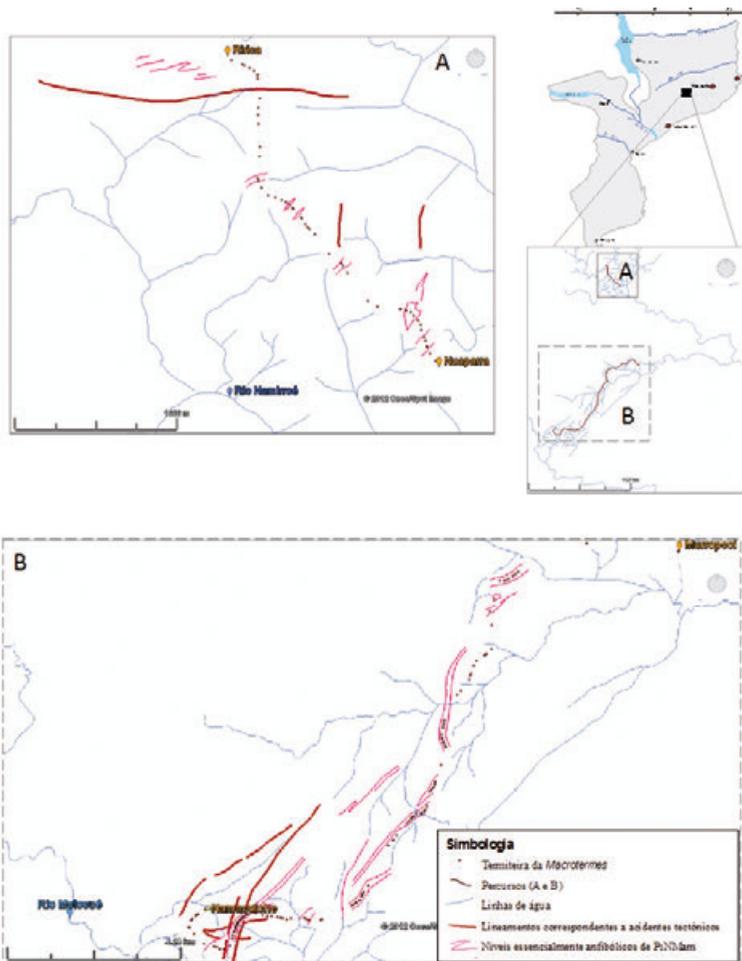


Fig. 1 - Densidade linear da implantação das termiteiras de *Macrotermes* ao longo de dois percursos (A e B). P<sub>2</sub>NMam é a designação de fácies metamórficas anfibólicas consagrada na folha nº 1537 (Alto Molocué) da Carta Geológica de Moçambique, à escala 1:250 000 (MACEY *et al.*, 2006).

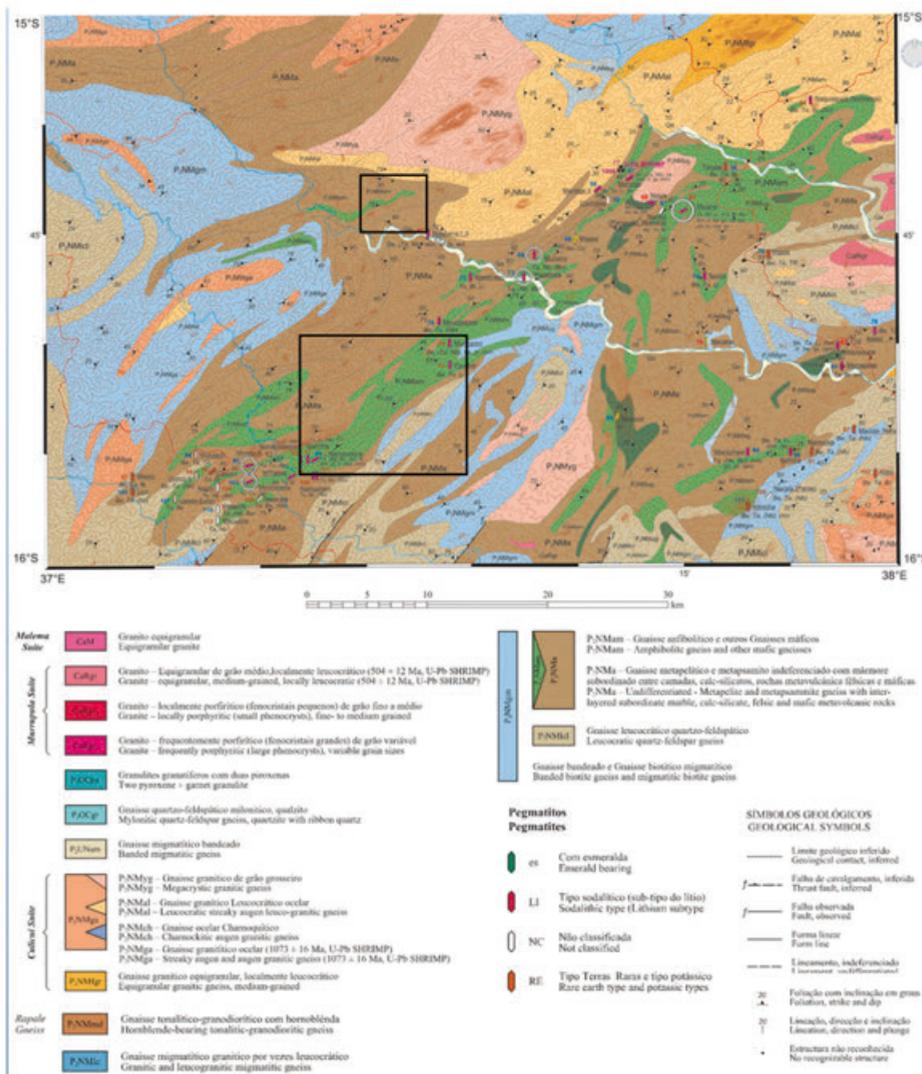


Fig. 2 - Área em estudo, incluída nas folhas nº 1537 (Alto Molocué) e nº 1538 (Murrupula) da Carta Geológica de Moçambique, à escala 1:250 000 (extrato das folhas originais). Nota: Assinalam-se, com retângulos, os domínios Ririca-Nuaparra, a Norte, e Murrupoci-Namacotche, a Sul, que foram estudados em pormenor.

### 3 – Localização Estruturada De Termiteiras *Macrotermes* Pela Presença De Pegmatitos

O trabalho de campo permitiu, numa constatação de maior detalhe, reconhecer a localização estruturada das termiteiras *Macrotermes* pela presença de pegmatitos, tendo sido possível definir os quatro tipos de correspondências estruturais que são apresentadas nas figuras 3, 4, 5 e 6.

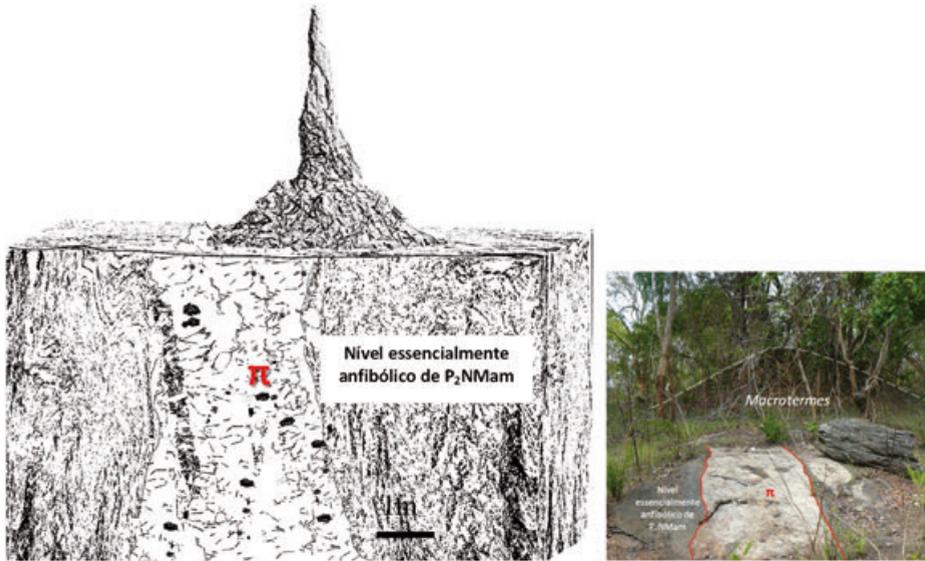


Fig. 3 – Esquema representativo da localização da *Macrotermes* condicionada pelo contacto entre o pegmatito e as rochas anfibólicas. No lado direito está ilustrado, em fotografia, um exemplo deste tipo de ocorrência, na localidade Maridge, entre Naípa e Nuaparra.

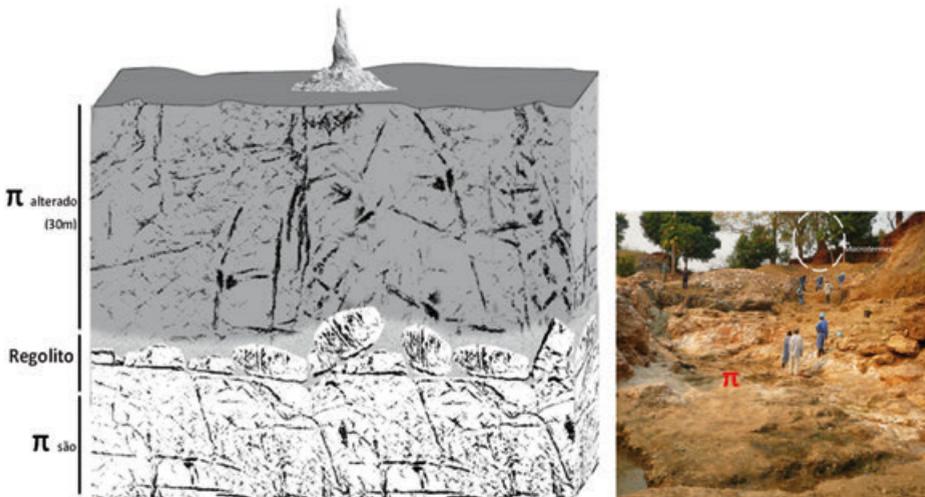


Fig. 4 – Esquema representativo da localização da *Macrotermes* condicionada por ruturas existentes em pegmatitos alterados (possivelmente, ruturas primordiais). No lado direito, ilustra-se, em fotografia, um exemplo deste tipo de ocorrência, na exploração mineira de Namacotche.

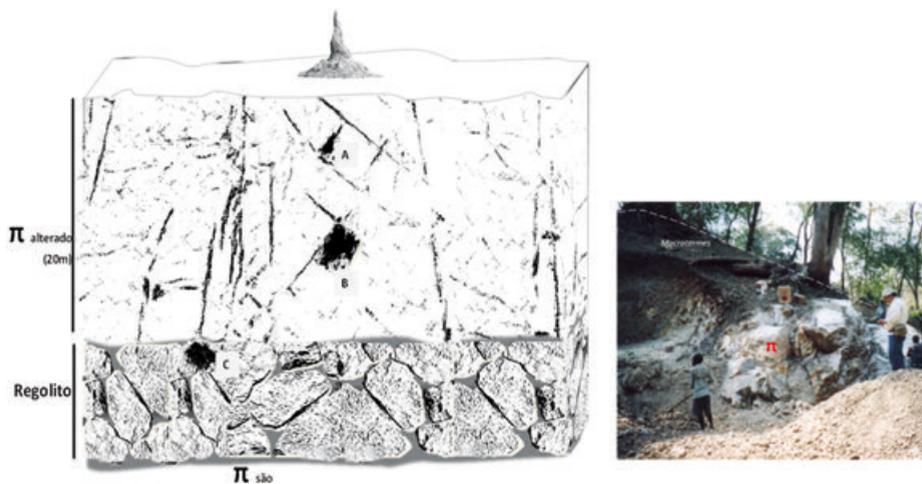


Fig. 5 – Esquema representativo da localização da *Macrotermes* condicionada por cavidades miarolíticas primárias ou cavidades de corrosão metassomática existentes no pegmatito alterado (A, B e C). No lado direito está ilustrado, em fotografia, um exemplo deste tipo de ocorrência (Iaia-Nahia).

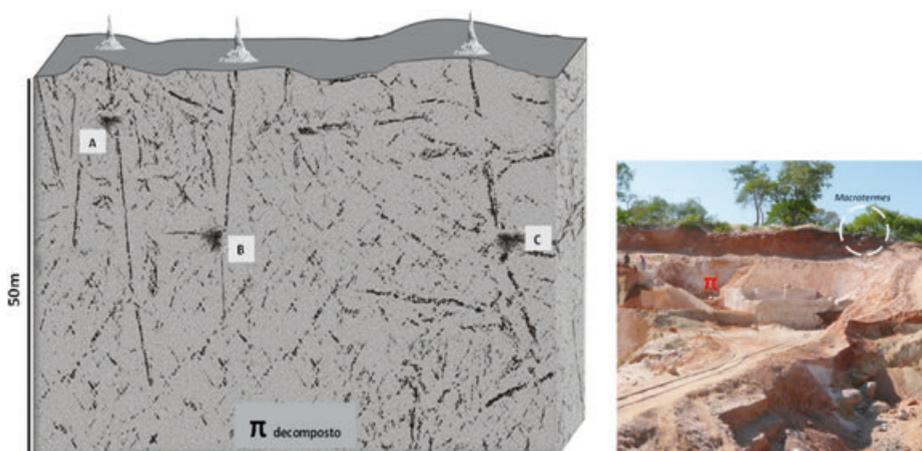


Fig. 6 – Esquema representativo da localização de *Macrotermes* condicionada por paleoruturas do pegmatito já decomposto. As térmitas aproveitam, muitas vezes, as zonas de incremento de fraturas para instalação do ninho (A, B, C). No lado direito, a fotografia ilustra um exemplo deste tipo de ocorrência (Naípa- sector N da Mina).

#### 4 – Conclusões

Do estudo da distribuição linear, em cerca de 25 km de percurso, pode já perceber-se que existe uma preferência da instalação das *Macrotermes* em formações anfibólicas – metapelitos, gnaisses e migmatitos com anfíbola e, especialmente, em anfibolitos. Verifica-se uma posição muito marcada entre edificações e heterogeneidades estruturais

e litológicas observadas nestas formações, sejam elas contactos ou descontinuidades frágeis.

Em afloramento percebe-se que os contactos com os pegmatitos, a presença de cavitações com conteúdo argílico condicionado e as massas pegmatíticas intrusivas em rochas anfibólicas são locais que atraem a instalação dos reprodutivos pioneiros, os quais podem usar as cavidades mais bem definidas como células primárias para desencadear a colonização.

**Agradecimentos** – O presente trabalho recebeu apoio da FCT através de uma bolsa de doutoramento (SFRH/BD/68562/2010), com cofinanciamento do FSE, do Programa Operacional Potencial Humano/POPH e da União Europeia. O CIG-R é suportado pelo programa Plurianual da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), financiado pela União Europeia (programa FEDER) e pelo orçamento nacional da República Portuguesa.

Agradece-se o acolhimento e suporte logístico na realização dos trabalhos de campo à Empresa Mineira EuroExport (exploração mineira com sede em Nampula, Moçambique). Um agradecimento especial é devido à valiosa ajuda prestada pelos sócios gerentes desta empresa, Sebastian Rosa e José Rosa, e ao supervisor dos trabalhos mineiros.

## Referências Bibliográficas

- BOYER, P. (1982) – Quelques aspects de l'action des termites du sol sur les argiles. *Clay Minerals*, 17, p. 453-462.
- DIAS PEREIRA, C. (2009) – Anatomia e mineralogia das edificações de *Termitidae* da Zambézia (Moçambique): aplicação em prospecção táctica a pontual de jazigos de afinidade pegmatítica. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 103 p.
- DIAS PEREIRA, C. & LEAL GOMES, C. (2010) - Localização de cavidades subsuperficiais em regolitos subjacentes de termiteiras da Zambézia - aplicação à prospecção de cavidades miarolíticas em pegmatitos. *e-Terra, Geosciences on-line Journal*, vol. 20(7). Publication Online – <http://metododirecto.pt/CNG2010/index.php/vol/article/viewFile/439/397> (consultado em 2011.12.12).
- DIAS, P. A., LEAL GOMES, C., MARQUES, J. & GUIMARÃES, F. (2006) - A fraccionação de Bi-Ti-Nb-Ta em pegmatitos graníticos como indicador paragenético para a detecção de água-marinha – Aplicação ao caso de Melatube (Mocuba, Moçambique). *VII Congresso Nacional de Geologia*.
- LEPRUN, J. C. & ROY-NÖEL J. (1976) – Minéralogie des argiles et répartition des nids épigés de deux espèces du genre *Macrotermes* au Sénégal Occidental (Presqu'île du Cap-Vert). *Insectes Sociaux*, 23 (4), p. 535-547.
- MACEY, P. H., INGRAM, B. A., CRONWRIGHT, M. S., BOTHA, G. A., ROBERTS, M. R., GRANTHAM, G. H., KOCK, G. S., MARÉ, L. P., BOTHA, P. M. W. & KOTA, M. (2006) - Carta Geológica 1:250.000, folhas nº 1537 e 1538. Direcção Nacional de Geologia, Maputo, Moçambique.

(Página deixada propositadamente em branco)

ESPÉCIES VEGETAIS METALOTOLERANTES E SUA POTENCIAL  
UTILIZAÇÃO NA PROSPECÇÃO BIOGEOQUÍMICA E  
RECUPERAÇÃO AMBIENTAL (MINAS DE FRAGAS DO CAVALO,  
OLEIROS, PORTUGAL CENTRAL)

METALOTOLERANT PLANT SPECIES AND THEIR POTENTIAL  
IN BIOGEOCHEMICAL PROSPECTING AND ENVIRONMENTAL  
RESTORATION (FRAGAS DO CAVALO OLD MINE, OLEIROS,  
CENTRAL PORTUGAL)

J. Pratas<sup>1,3</sup>, P. J. C. Favas<sup>2,3</sup> & L. Conde<sup>1</sup>

**Resumo** – A prospecção biogeoquímica e o controlo ambiental de áreas fortemente poluídas pressupõem uma correta seleção do material biológico a amostrar e uma interpretação dos resultados analíticos que tenha em conta os mecanismos fisiológicos de adaptação das plantas e, fundamentalmente, os fenómenos pedogeoquímicos. Neste trabalho, caracterizaram-se as espécies presentes relativamente à sua capacidade de acumular metais pesados e metalóides num ambiente com importantes contaminações de W, As e algum Cu, na antiga área mineira de Fragas do Cavalo (Oleiros, Castelo Branco, Portugal Central). Essa caracterização permitiu definir algumas espécies que poderão ser seleccionadas como bioindicadoras, ou seja, capazes de detectar a poluição presente no solo, tendo em vista a sua aplicação à prospecção mineira, bem como possibilidade da sua utilização na revegetação dado serem espécies metalotolerantes capazes de suportar a tensão geoquímica imposta por tais condições.

**Palavras-chave** – Bioacumulação, bioindicação, metais pesados, arsénio, revegetação

*Abstract* – *Biogeochemical prospecting and the environmental control in highly polluted areas presume the correct selection of the biogeochemical material for sampling and the*

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 3000-272 Coimbra; jpratas@dct.uc.pt

<sup>2</sup> Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5001-801 Vila Real; pjcf@utad.pt

<sup>3</sup> Centro de Geociências da Universidade de Coimbra

*interpretation of the analytical results that takes into account the physiological mechanisms of plant adaptation and, in particular, the pedogeochemical phenomena. In this work, the species present in soils and tailings with important W, As and some Cu contamination in the old mining area of Fragas do Cavallo (Oleiros, Castelo Branco, Central Portugal) have been characterised. The species were selected envisaging their use as bioindicators, meaning that they are able to detect the pollution present in soils for use in mineral exploration; and seeking their potential use in the restoration with metalotolerant species able to tolerate the geochemical stress imposed by these conditions.*

**Keywords** – Bioaccumulation, bioindicating, heavy metals, arsenic, revegetation

## 1 – Introdução

A utilização de espécies vegetais na prospecção de contaminações, naturais ou induzidas por atividades antropogénicas, pressupõe o conhecimento da sua capacidade de utilização e retenção dos elementos presentes no substrato. A composição química dum planta é função de um grande número de factores que atuam em simultâneo. É necessário distinguir entre factores internos (fisiológicos), resultantes da atividade metabólica das próprias plantas e externos (ecológicos), relacionados com o habitat, que inclui factores geológicos, pedológicos e climáticos.

As mesmas bases de estudo podem também ser aplicadas na redução de impactes ambientais devido a contaminantes químicos por metais pesados e metaloides, através da seleção de espécies capazes de utilizarem, em grande escala, esses elementos, os quais podem ser incorporados nos seus tecidos. Numa outra perspectiva, poderão apresentar grande importância na minimização de impactes as espécies cujos mecanismos internos impedem a absorção de elementos tóxicos, devido à sua retenção no sistema radicular ou em fungos simbiotes associados, os quais podem complexar os metais do solo, evitando níveis mais elevados de toxicidade. Na recuperação ambiental de áreas mineiras parece-nos que este tipo de abordagem deverá sempre ser tido em consideração.

## 2 – Área de estudo

A zona das minas de Fragas do Cavallo encontra-se na Serra de Alvelos, no concelho de Oleiros e dista cerca de 80 km para Oeste de Castelo Branco e 90 km para Este de Coimbra (Fig. 1). Embora enquadrada em zona do pinhal, devido aos constantes incêndios florestais a vegetação aqui é a característica das zonas montanhosas de altitude moderada do centro do país, sem coberto vegetal arbóreo significativo. Está englobada no Centro-Este-montanhoso segundo a divisão fitogeográfica (FRANCO, 1984). Encontra-se na área definida como de clima húmido com um índice hídrico de 60 a 100% (FRANCO & AFONSO, 1982); uma humidade relativa do ar anual média menor que 65%, uma precipitação anual de 1200 a 1400 mm, uma temperatura média anual de 7,5 a 10 °C e uma insolação de 2300 a 2400 horas por ano (ATLAS DO AMBIENTE, 1981).





Fig. 1 – Enquadramento geográfico e geológico das minas de Fragas do Cavalo (adaptado da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/500000, editada pelos Serviços Geológicos de Portugal, 1992).

A mineralização está encaixada em rochas metassedimentares do Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico) numa unidade constituída quase unicamente por xistos com alguns níveis, pouco espessos, de siltitos; é composta essencialmente por volframite, arsenopirite, pirite e calcopirite. Está relacionada com uma cúpula granítica não aflorante, mas evidenciada por uma zona com disposição circular de xistos mosqueados. Os filões mineralizados apresentam uma direcção E-W e forte pendor para N. Na extremidade W, a estrutura filoneana foi objeto de exploração mineira, apresenta-se cortada por falhas N-S com uma importante componente horizontal e com movimentação direita.

A cúpula granítica deve estar relacionada com intrusões hercínicas que se desenvolvem para leste desta área, na região de Castelo Branco, e corresponderia a uma mineralização análoga à das minas da Panasqueira. Todavia o afloramento de granito mais próximo situa-se a cerca de 3 km para noroeste desta mineralização, correspondendo a um granito Pré-câmbrico – Granito de Álvaro, semelhante aos do Coentral e Pedrógão, mas com uma auréola de escarnitos com scheelite (CONDE & PRATAS, 1993).

### 3 – Métodos e Técnicas

#### 3.1 – Amostragem

Na área de estudo foi efetuado um perfil transversal à zona mineralizada e escombrelas. Sobre este perfil, e em intervalos de 20 metros foram efetuadas colheitas de solos e das espécies vegetais presentes, num círculo com raio de cerca de 2 metros e centrado em cada ponto de amostragem, orientado de modo a que cerca de 1/3 do total de amostras se situassem na área contaminada. O total dos pontos de amostragem foi de 21. A metodologia adoptada seguiu as orientações definidas por KOVALEVSKII (1979) & BROOKS (1983).

Os trabalhos efetuados envolveram um menor tempo possível na sua execução (1 dia), por forma a evitar variações temporais na utilização dos diferentes elementos químicos pelas plantas.

As amostras dos solos foram colhidas sempre no horizonte B, por forma a minimizar a influência da matéria orgânica contida em horizontes menos profundos. A profundidade de colheita foi variável atendendo a que se trata de solos de montanha muito pouco desenvolvidos. A quantidade de material colhido rondou 500 gramas. Esse material, constituiu uma homogeneização das colheitas de cerca de 4 pontos, dentro do círculo proposto, em torno de cada ponto de amostragem.

A amostragem do material vegetal envolveu a colheita de todas as espécies presentes na área envolvente dos pontos de amostragem, por forma a obter, tanto quanto possível, uma quantidade de material suficiente para a execução de todas as análises propostas. O material amostrado incidiu sobre a parte aérea, dada a economicidade que representa nos levantamentos biogeoquímicos.

### 3.2 – Preparação das amostras e análises químicas

As amostras dos solos foram secas na estufa, a 60 °C, após o que foram crivadas abaixo de 60 malhas (FLETCHER, 1981; BROOKS, 1983; PRATAS *et al.*, 2005; FAVAS *et al.*, 2011). Esta fracção foi posteriormente moída abaixo de 200 malhas para as análises químicas.

O material vegetal foi abundantemente lavado em água corrente e depois em água destilada. Após a lavagem, foi seco em estufa a 60 °C durante algumas horas, tendo sido seguidamente moído, em moinho de corte próprio para o efeito, por forma a obter a sua homogeneização (FLETCHER, 1981; BROOKS, 1983; VAN LOON, 1985; PRATAS *et al.*, 2005).

As análises dos solos foram feitas por espectrofotometria de absorção atómica (EAA), simples ou acoplada a sistema de geração de hidretos, e técnicas colorimétricas, variáveis para os diferentes elementos. Assim, para as análises químicas de Ag, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, utilizou-se a EAA, após uma digestão ácida das amostras com HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub> e HF, conforme a metodologia sugerida por LUCAS & SEQUEIRA (1971). Para a análise de As e Sn, utilizou-se o gerador de hidretos acoplado à EAA, partindo da solução proveniente do ataque ácido referido anteriormente e seguindo a metodologia sugerida por ASLIN (1976), VIJAN *et al.* (1976), FLETCHER (1981) & VAN LOON (1985), e conforme os métodos e técnicas recomendados pelo manual de operação de geração de hidretos da PERKIN ELMER (1985). Para a análise do W, utilizou-se o método colorimétrico descrito por QUIN & BROOKS (1972).

Relativamente ao material vegetal, os processos analíticos envolveram a incineração, salvo para a análise de As onde a maceração foi efetuada por via húmida, tendo sido utilizadas as mesmas técnicas que envolveram a análise dos solos. Não foi analisado o Sn no material vegetal devido às reduzidas concentrações encontradas nos solos.

### 3.3 – Análise de dados

A análise dos dados envolveu o estabelecimento de correlações lineares e a análise em componentes principais (ACP). Para a sua execução partimos do pressuposto de que as distribuições apresentadas pelos dados de que dispomos seguem todas a lei normal, pois,

não sendo possível ajustar leis diferenciadas para cada subconjunto de dados, a hipótese da multi-normalidade surge como uma aproximação adequada que fundamenta os tratamentos paramétricos efetuados.

A utilização da ACP no presente trabalho visou, fundamentalmente, estabelecer as relações multi-dimensionais entre as diversas variáveis de modo a detectar as associações de elementos responsáveis pelas contaminações e a sua atuação sobre as espécies vegetais presentes nas diferentes áreas. Com base na metodologia sugerida por PRATAS *et al.* (2005) foi também calculado o Índice Absoluto da Anomalia Biogeoquímica (IAAB) e o Índice Relativo da Anomalia Biogeoquímica (IRAB). Além disso, pretendeu-se separar os pontos que manifestam anomalia no solo daqueles que pertencem ao fundo regional.

### 3.4 – Selecção de espécies

A seleção das espécies bioindicadoras obedeceu aos critérios definidos para a obtenção dos índices indicadores anteriormente referidos (PRATAS *et al.*, 2005). Para a definição das espécies inibidoras e acumuladoras utilizaram-se os critérios referidos por KOVALEVSKII (1979) e BROOKS (1983), relativamente à definição de barreiras fisiológicas, modificados por PRATAS (1996). As espécies inibidoras são aquelas que apresentam barreiras fisiológicas à assimilação e/ou acumulação de metais pesados nos seus tecidos, enquanto que as acumuladoras permitem o “uptake” de metais pesados e a acumulação destes nos seus tecidos com concentrações variáveis.

## 4 – Resultados

### 4.1 - Solos

Os resultados analíticos obtidos para solos, que se resumem na Tabela 1, mostram que, dos elementos presentes na mineralização, são o As, Cu e W aqueles que fornecem anomalias mais notórias. Por outro lado, a fraca concentração de Mn nos solos, está de acordo com o facto de a volframite presente na mineralização se aproximar mais do termo ferberítico.

Tabela 1 – Resumo dos dados analíticos obtidos nos solos (valores em mg/kg, excepto o Fe que é expresso em %; n = 21).

	pH	Ag	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sn	W	Zn
Mínimo	4,2	0,67	23,7	2,47	53,3	23,0	2,62	62,5	5,04	22,6	1,10	1,59	48,1
Máximo	5,1	1,42	2045	12,8	85,5	296	7,57	392	23,2	193	4,85	990	77,2
Média	4,6	0,90	324	8,30	72,0	77,3	3,86	155	16,1	42,1	2,9	80,0	63,5
D.P.	0,2	0,20	552	2,74	7,63	70,5	1,05	88	4,90	35,1	1,2	210	8,98

Os dados obtidos foram submetidos à ACP, para permitir verificar as relações existentes, de modo a clarificar as oposições e similitudes entre eles.

Os resultados obtidos mostram que os dois primeiros eixos explicam cerca de 60 % da variância total e que o terceiro eixo, embora com uma certa quantidade de explicação, apenas é explicado pelo comportamento do Sn. Assim, em virtude da ausência deste elemento na mineralização e dos seus baixos teores, optou-se apenas pela utilização dos dois primeiros eixos. Relativamente à contribuição dos vários elementos para a formação dos referidos eixos, verifica-se que, para o eixo 1, os elementos que mais o caracterizam são, por ordem decrescente de importância, Cu, As, W, Fe e Ag e, por oposição, o Ni, enquanto que para o eixo 2 são o Zn, Mn, Cr e Co. O Sn contribui apenas para a formação do eixo 3, enquanto que o eixo 4 é caracterizado pelo Pb e, em oposição, pelo pH.

Ao fazer a projeção dos elementos no plano fatorial definido pelos eixos 1 e 2 (Fig. 2), nota-se uma grande oposição dos elementos constitutivos da mineralização em relação aos restantes elementos, observando-se, também, que os elementos de fuga, como o são o Ni, Co e Cr, denotam uma maior oposição em relação à mineralização.

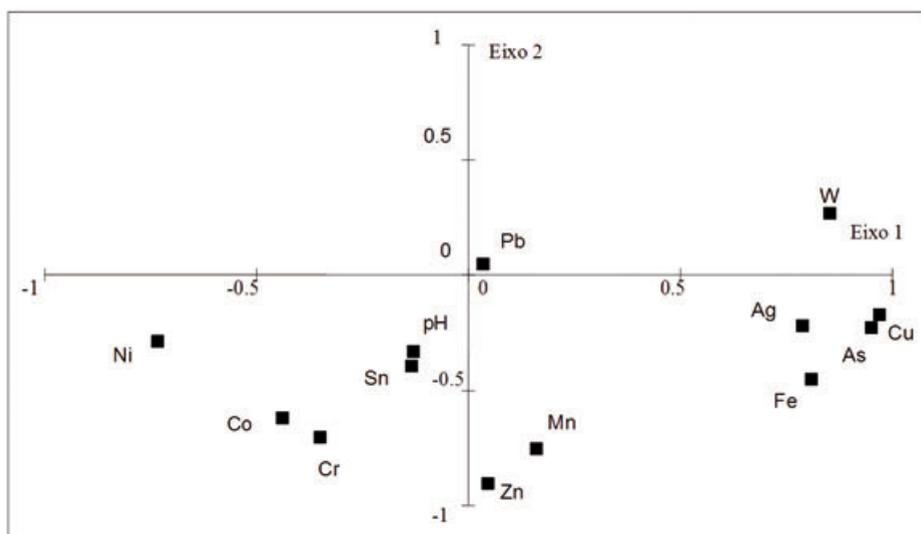


Fig. 2 – Projeção dos elementos nos eixos 1 e 2 da ACP.

#### 4.2 – Plantas

Na área de estudo as espécies vegetais representativas são pouco diversificadas, não só por se tratar de áreas montanhosas com pequeno grau de intervenção mas também devido aos fogos florestais que provocaram a degradação do coberto arbóreo.

As espécies analisadas incluíram: *Erica australis*, *Erica umbellata*, *Pterospartum tridentatum*, *Halimium ocymoides*, *Arbutus unedo*, *Cistus salvifolius*, *Hypochaeris radicata*, *Pinus pinaster* (jovens), *Anarrhinum bellidifolium*, *Conyza canadensis*, *Andryala integrifolia*, *Agrostis delicatula* e *Agrostis curtisii*. Algumas destas espécies apresentavam uma área de distribuição bastante restrita e apenas foram consideradas na análise de dados as seis primeiras das espécies atrás referidas. Os resultados estão resumidos na Tabela 2.

De salientar que os resultados apresentados se referem apenas aos elementos químicos formadores da anomalia, ou seja, os que caracterizam a contaminação.

Tabela 2 – Resultados analíticos obtidos para o material vegetal (valores médios).

Espécies de plantas	n	As	Cu	Fe	W
<i>Erica australis</i>	20	0,13	3,85	157	0,16
<i>Erica umbellata</i>	16	0,42	4,47	104	0,36
<i>Pterospartum tridentatum subsp. lasianthum</i>	19	0,18	2,83	85	0,16
<i>Halimium ocymoides</i>	19	0,36	4,17	122	0,24
<i>Arbutus unedo</i> (folhas)	9	0,29	3,34	88	0,38
<i>Arbutus unedo</i> (caules)	9	0,17	2,92	122	0,27
<i>Cistus salvifolius</i>	8	0,52	4,45	61	0,36

Nenhuma das espécies foi encontrada em todos os pontos de amostragem, não estando essa ausência relacionada com a presença ou não da contaminação do solo mas apenas com factores de heterogeneidade do coberto vegetal.

Com base na globalidade dos dados obtidos procedeu-se ao cálculo do índice da anomalia biogeoquímica (PRATAS *et al.*, 2005), estando os resultados referidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Índices da anomalia biogeoquímica para as espécies representativas da área.

Espécies de plantas	As	Cu	Fe	W
<i>Erica australis</i>	15,4	1,9	0	9,7
<i>Erica umbellata</i>	3,6	0,7	0	28,5
<i>Pterospartum tridentatum subsp. lasianthum</i>	6,4	1,3	0	10,8
<i>Halimium ocymoides</i>	8,8	2,6	0	7,3
<i>Arbutus unedo</i> (folhas)	10,3	0,4	0	29,5
<i>Arbutus unedo</i> (caules)	0	-2,8	0	19,4
<i>Cistus salvifolius</i>	9,1	0	0	5,5

Os resultados obtidos mostram que para o Fe nenhuma das espécies que foram sujeitas a tratamento de dados têm capacidade de formar anomalia; para o Cu todas as espécies apresentam uma anomalia bastante reduzida, nula ou mesmo negativa mostrando antagonismo deste elemento no *Arbutus unedo* relativamente aos outros elementos; para o As todas as espécies apresentam anomalia de intensidade variável, embora mais intensa na *Erica australis* e nas folhas do *Arbutus unedo* e nula para os ramos desta última espécie; para o W é a *Erica umbellata* e o *Arbutus unedo* (tanto em folhas como em ramos) que apresentam anomalia mais intensa, embora todas as espécies reflitam anomalia.

Os resultados obtidos apenas se referem à anomalia produzida nas espécies vegetais sem ter em conta a intensidade da anomalia produzida nos solos. Atendendo também a que as espécies referidas não foram colhidas em todos os pontos, nem nos mesmos pontos de amostragem, foi necessário proceder-se a uma normalização dos resultados que tenha em conta a anomalia produzida nos solos subjacentes. Para comparar esta nova componente, calcularam-se os índices relativos da anomalia biogeoquímica referidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Índices relativos da anomalia biogeoquímica.

Espécies de plantas	As	Cu	Fe	W
<i>Erica australis</i>	0,36	0	0	0,14
<i>Erica umbellata</i>	0,24	0	0	0,39
<i>Pterospartum tridentatum subsp. lasianthum</i>	0,23	0	0	0,10
<i>Halimium ocymoides</i>	0,31	0,31	0	0,09
<i>Arbutus unedo</i> (folhas)	0,33	0,03	0	0,37
<i>Arbutus unedo</i> (caules)	0	0	0	0,21
<i>Cistus salvifolius</i>	0,24	0	0	0,07

Este novo índice permite verificar que para o Cu apenas o *Halimium ocymoides* reflete a anomalia produzida no solo e muito reduzidamente as folhas do *Arbutus unedo*; o As do solo influencia as concentrações observadas na planta para qualquer das espécies consideradas, embora com maior intensidade para a *Erica australis*, *Arbutus unedo* (folhas) e *Halimium ocymoides*, não sendo possível a sua identificação a partir dos ramos do *Arbutus unedo*; o W reflete a contaminação dos solos principalmente na *Erica umbellata* e *Arbutus unedo*.

Considerando agora as barreiras fisiológicas ao nível da parte aérea, em função da razão entre o teor máximo e o teor de background, parâmetros básicos para a definição do tipo de barreiras fisiológicas, e considerando como teor de background a média das concentrações obtidas para as amostras consideradas do fundo biogeoquímico e separadas a partir da ACP, conduziram aos valores da Tabela 5.

Tabela 5 – Razão entre o teor máximo e de background para as espécies vegetais.

Espécies de plantas	As	Cu	Fe	W
<i>Erica australis</i>	5,9	1,6	2,6	4,2
<i>Erica umbellata</i>	3,3	1,4	1,6	10,5
<i>Pterospartum tridentatum subsp. lasianthum</i>	6,4	1,8	1,7	11,4
<i>Halimium ocymoides</i>	8,1	2,2	2,6	3,2
<i>Arbutus unedo</i> (folhas)	3,8	1,5	1,4	5,2
<i>Arbutus unedo</i> (caules)	1,7	1,4	2,5	4,0
<i>Cistus salvifolius</i>	4,5	1,5	1,5	6,0

Porém se se considerar o grau de representatividade dos coeficientes de correlação linear da relação planta-solo chega-se aos resultados constantes da Tabela 6.

Tabela 6 – Representatividade dos coeficientes de correlação linear entre as concentrações no solo e na planta.

Espécies de plantas	As	Cu	Fe	W
<i>Erica australis</i>	S**	NS	NS	S**
<i>Erica umbellata</i>	S*	NS	NS	S**
<i>Pterospartum tridentatum subsp. lasianthum</i>	S**	PS	NS	S
<i>Halimium ocymoides</i>	S	S*	NS	S
<i>Arbutus unedo</i> (folhas)	S**	NS	NS	S
<i>Arbutus unedo</i> (caules)	NS	NS	NS	PS
<i>Cistus salvifolius</i>	PS	NS	NS	PS

Nota: Os símbolos S\*\*, S\*, S, PS e NS representam respectivamente graus de confiança >99.9%, de 99.0 a 99.9%, de 95 a 99%, de 90 a 95% e <90%

Considerando tanto a representatividade da relação planta-solo como da razão entre o teor máximo e teor de background verifica-se que as espécies analisadas apresentam-se com médias barreiras fisiológicas para o As e W e com baixas barreiras para o Cu e o Fe.

Apesar dos resultados observados para o Cu no *Halimium ocymoides* permitirem verificar uma boa relação entre os teores presentes na planta e os observados no solo a amplitude dos teores observados não permitem que seja classificada como médias barreiras. O facto de não permitir retirar outras conclusões que não esta deve-se ao facto de nesta área, apesar do Cu ser um elemento acompanhante da mineralização e formador de contaminação, a sua concentração não é suficientemente elevada de modo a produzir outro tipo de comportamento.

## 5 – Conclusões

Relativamente à capacidade de utilização das espécies analisadas relativamente a campanhas de prospecção biogeoquímica de contaminações geradas por este tipo de paragénese verifica-se, em função dos elementos químicos considerados e por ordem decrescente de importância, que as espécies mais indicadas são: para o As – *Erica australis*, *Arbutus unedo* (folhas), *Halimium ocymoides*, *Erica umbellata*, *Cistus salvifolius* e *Pterospartum tridentatum*; para o Cu – *Halimium ocymoides*; para o W – *Erica umbellata*, *Arbutus unedo* (folhas e ramos), *Erica australis*, *Pterospartum tridentatum*, *Halimium ocymoides* e *Cistus salvifolius*.

Quanto à possibilidade de utilização das espécies na revegetação de áreas com este tipo de contaminações, verifica-se que todas as espécies se apresentam com condições de acumularem nos seus tecidos os principais elementos causadores da contaminação (As e W), embora se apresentem apenas com médias barreiras fisiológicas, não implicando portanto uma alta entrada destes elementos no ecossistema.

## Referências Bibliográficas

- ASLIN, G.E.M. (1976) The determination of arsenic and antimony in geological materials by flameless atomic absorption spectrometry, *J. Geochem. Explor.* 6: 321-330.
- ATLAS DO AMBIENTE (1981) Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em: <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>.
- BROOKS, R.R. (1983) *Biological Methods of Prospecting for Minerals*, John Wiley & Sons, New York, 322.
- CONDE, L.E.N. & PRATAS, J.A. (1993) The precambrian granite of Álvaro (Central Portugal) and the associated tungsten mineralization, *Terra Cognita - E.U.G.*, 156.
- FAVAS, P.J.C.; PRATAS, J.; GOMES, M.E.P. & CALA, V. (2011). Selective chemical extraction of heavy metals in tailings and soils contaminated by mining activity: Environmental implications. *J. Geochem. Explor.* 111: 160-171.
- FLETCHER, W.K. (1981) *Analytical Methods in Geochemical Prospecting*, Handbook of Exploration Geochemistry, Vol.1, Govett, G.J.S, Ed., Elsevier, 255.
- FRANCO, J.A. (1984) *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)*, Vol. II, Clethraceae - Compositae, Lisboa, 659.

- FRANCO, J.A. & AFONSO, M.L.R. (1982) Distribuição de Pteridófitos e Gimnospérmicas em Portugal, col. Parques Naturais, 14, Serviço Nacional de Parques, Reservas e Património Paisagístico, Lisboa, 327.
- KOVALEVSKII, A.L. (1979) Biogeochemical Exploration for Mineral Deposits, Oxonian Press PVT., Nova Deli, 136.
- LUCAS, M.D. & SEQUEIRA, E.M. (1971) Determinações de alumínio, cálcio, cobalto, cobre, ferro, magnésio, manganésio, potássio, sódio, titânio e zinco totais nos solos por ataque nítrico-perclórico-fluorídrico e por absorção atómica e emissão de chama, *Pedologia*, Oeiras, 6, 55-66.
- PERKIN-ELMER (1985) Mercury/Hydride System, Operator's Manual.
- PRATAS, J.A.M.S. (1996) Aplicações de Prospecção Biogeoquímica. Selecção de espécies bioindicadoras em algumas áreas mineiras de Portugal. Tese de Doutoramento, 3 Vol., Universidade de Coimbra, 1027.
- PRATAS, J.; PRASAD, M.N.V.; FREITAS, H. & CONDE, L. (2005). Plants growing in abandoned mines of Portugal are useful for biogeochemical exploration of arsenic, antimony, tungsten and mine reclamation. *J. Geochem. Explor.* 85: 99-107.
- QUIN, B.F. e BROOKS, R.R. (1972) The rapid determination of tungsten in soils, rocks and vegetation, *Anal. Chim. Acta*, 58: 301-309.
- VAN LOON, J.C. (1985) Selected Methods of Trace Metal Analysis: Biological and Environmental Samples, John Willey & Sons., 355.
- VIJAN, P.N., RAYNER, A.C., STURGIS, D. & WOOD, G.R. (1976) A semi-automated method for the determination of arsenic in soil and vegetation by gas-phase sampling and atomic absorption spectrometry, *Anal. Chim. Acta*, 82: 329-336.



SECÇÃO 5  
TÉCNICAS APLICADAS ÀS GEOCIÊNCIAS:  
FAZER BEM COM ENGENHO E ARTE

“Não é o trabalho, mas o saber trabalhar, que é o segredo do êxito no trabalho. Saber trabalhar quer dizer: não fazer um esforço inútil, persistir no esforço até ao fim, e saber reconstruir uma orientação quando se verificou que ela era, ou se tornou, errada”.

Fernando Pessoa

(Página deixada propositadamente em branco)

## BARITA E BENTONITA: FUNÇÕES NO FLUIDO DE PERFURAÇÃO E POTENCIAL DE USO DAS RESERVAS DO NORDESTE DO BRASIL

### BENTONITE AND BARITE: ROLE IN DRILLING FLUIDS AND POTENTIAL FOR THE USE OF BRAZIL NORTHEASTERN RESERVES

C. A. M. Baltar<sup>1</sup> & A. B. Luz<sup>2</sup>

**Resumo** - O sucesso da perfuração de um poço de petróleo, tanto do ponto de vista técnico como do econômico, depende fortemente da composição e propriedades do fluido durante a perfuração. A barita e a bentonita são minerais importantes na formulação de lamas para perfuração de poços de petróleo. A bentonita é usada com as funções principais de controlar a viscosidade do fluido e de evitar o retorno dos detritos. Por sua vez a barita atua como agente modificador de densidade do fluido. A região nordeste do Brasil tem uma posição de destaque na produção desses minerais industriais, especialmente, nos estados da Bahia e da Paraíba. A bentonita denominada “verde-lodo” apresenta o maior potencial para uso em lamas de perfuração de poços de petróleo. Enquanto a barita Miguel Calmon, na Bahia, apresenta um elevado teor e uma contaminação à base de quartzo o que facilita bastante o beneficiamento por flotação. Com a descoberta recente dos depósitos do pré-sal e a entrada de empresas privadas para o setor, espera-se que nos próximos anos haja um aumento de investimentos na exploração e produção de petróleo, o que certamente aumentará a demanda por esses insumos minerais.

**Palavras-chave** – fluidos de perfuração; bentonita; barita.

**Abstract** – *The success in oil well drilling, under technical and economical aspects, depends strongly on the control of the composition and properties of the fluid during the drilling. Barite and bentonite are so important minerals components in the oil well drilling fluids. Bentonite is used for the control of the fluid viscosity and to prevent the return of debris. On the other hand, barite is used as a fluid density modifier. The Northeastern Region of Brazil has a prominent position in the industrial minerals production, especially, at Bahia*

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Engenharia de Minas, Brasil; camb@ufpe.br

<sup>2</sup> CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, Brasil; adaobluz@cetem.gov.br

and Paraíba states. The bentonite called “verde-lodo” has the highest potential for use as oil well drilling fluid. In the other side, the barite from Miguel Calmon, Bahia state, presents a high barium sulphate content and quartz contamination which make easier its beneficiation by flotation process. With the recent discovery of the pre-salt deposits and the entry of private companies in this sector, it is expected that in the next years there will be an increased investment in exploration and production of oil, which will certainly increase the demand for these minerals inputs.

*Keywords* – drilling fluids; bentonite; barite, well drilling

## 1 – Introdução

A utilização de um fluido (“lama”) é essencial na perfuração de um poço. O sucesso da operação depende da composição e das propriedades do fluido que pode exercer diversas funções (DARLEY & GRAY, 1988):

- Transporte do material cortado pela broca, para a superfície, através do espaço anular do poço;
- Resfriamento e limpeza da broca;
- Redução da fricção entre o colar da coluna de perfuração e as paredes do poço;
- Preservação da estabilidade da seção do poço não revestida;
- Controle da pressão a fim de evitar a entrada de fluxos de óleo, gás ou água proveniente das rochas perfuradas;
- Formação de uma torta (reboco) pouco espessa, de baixa permeabilidade para selar os poros e outras aberturas na formação penetrada pela broca;
- Ajuda na coleta e interpretação de informações disponíveis a partir de amostras de calha, testemunho de sondagem e perfis elétricos;
- Redução do peso da tubulação, devido ao empuxo, de forma a reduzir a tensão no mecanismo de perfuração.

O fluido de perfuração é bombeado para dentro do poço através da tubulação central. Ao sair, sob pressão, no final da tubulação, o fluido arrasta os detritos de rocha e retorna à superfície pelo espaço anular entre a tubulação e as paredes do poço. O fluido deve circular a uma velocidade maior do que a velocidade de sedimentação das partículas removidas, a fim de que os resíduos possam chegar à superfície (LUZ & BALTAR, 2003).

### 1.2 – Classificação dos fluidos

Os fluidos de perfuração são classificados com base no componente principal, que pode ser: água, óleo e gás. Quando o principal constituinte é um líquido (água ou óleo), aplica-se o termo lama à suspensão de sólidos no líquido. Neste caso, tem-se uma lama à base de água ou à base de óleo. Quando a água e o óleo estão presentes, forma-se uma emulsão com agitação e a adição de um agente emulsificante. A natureza química do emulsificante determina se o óleo é emulsificado na água (lama de emulsão de óleo, ou

seja, a água é a fase contínua) ou se a água é emulsificada no óleo (lama de emulsão inversa, ou seja, o óleo é a fase contínua).

Os fluidos também podem ser classificados com relação ao seu conteúdo em sólidos, como de alto e baixo teor de sólidos. Nos fluidos de baixo teor em sólidos, os insumos minerais são parcialmente substituídos por produtos químicos, a exemplo do Carboxilmetilcelulose (CMC) e do amido que têm substituído a bentonita na função de reduzir a perda do fluido por filtração. Os fluidos com baixo teor de sólidos são indicados nos casos de ameaça de desestabilização do poço.

### 1.3 – Minerais industriais nos fluidos de perfuração

Os minerais industriais mais utilizados na indústria do petróleo são: bentonita, barita, atapulgita, sepiolita, vermiculita, magnetita porosa, carbonato de cálcio, mica, perlita expandida, lignina, mica, grafita, cloreto de sódio, gipsita e gilsonita (CASTELLI, 1994), que podem ser usados na forma “*in natura*” ou após algum beneficiamento.

A perfuração de petróleo é o segmento que usa a maior quantidade de minerais industriais, destacando-se seis funções básicas: modificador de densidade; promotor de viscosidade (“*viscosifier*”); agente anti-espessante (“*thinner*”); material contra perda de circulação; estabilizadores e lubrificantes.

#### a) Modificador de densidade

É necessário que o fluido de perfuração exerça um diferencial de pressão frente às camadas que poderão ser encontradas durante a perfuração, de forma a impedir o influxo, ou seja, que petróleo ou gás jorre do poço (fenômeno conhecido como *blowout*). Essa pressão, que depende da densidade do fluido, pode ser controlada com a adição de minerais com elevado peso específico.

Minerais como barita, hematita e galena, por apresentarem peso específico elevado (4,5; 5,3 e 7,5, respectivamente) são os mais usados para ajustar a densidade do fluido em função da pressão hidrostática requerida para a coluna de lama. No Brasil é utilizada apenas a barita.

#### b) Promotor de viscosidade

O controle da viscosidade é importante nos fluidos de perfuração de poços. O fluido suspende, e transporta até a superfície, os detritos resultantes da ação da broca giratória sobre a rocha. Essa função é exercida com maior eficiência por um fluido viscoso. Por outro lado, a pressão necessária para o bombeamento, e a dificuldade para a remoção dos detritos antes do descarte, aumentam com a viscosidade do fluido.

Os insumos minerais utilizados com essa finalidade possuem propriedades tixotrópicas, o que significa que a viscosidade varia em função da movimentação do fluido. Isso é importante porque, em caso de problemas operacionais ou quando é necessária a troca da broca, a movimentação do fluido é interrompida provocando a formação de um gel espesso que impede o retorno dos fragmentos de rocha evitando a obstrução da broca e do poço. No momento em que o movimento é reiniciado, o fluido torna-se mais fino e retorna ao seu estado anterior.

A bentonita sódica e a bentonita cálcica ativada são os principais minerais utilizados para conferir viscosidade à lama de perfuração à base de água doce. Em água salgada, a bentonita perde as suas propriedades tixotrópicas. Nesse caso, usa-se a atapulgita ou a sepiolita. As argilas organofílicas (bentonitas modificadas com surfatantes) são usadas em lamas à base de óleo para aplicações especiais e lamas de emulsão inversa para perfuração de poços que atravessem formação contendo camadas de folhelho. Para essa função também são usados produtos orgânicos como amido, carboximetilcelulose-CMC, tanino e lignosulfonato.

#### c) Material contra perda de circulação

Na primeira fase da perfuração, quando se avança em direção ao reservatório, a formação rochosa deve permanecer impermeável a fim de evitar a infiltração e, conseqüente, perda do fluido de perfuração.

Existe uma variedade muito grande de materiais usados como selantes para prevenir a perda de circulação. A mica é o mineral industrial mais utilizado para reduzir as perdas de circulação. No entanto, outros produtos encontrados no mercado podem ser usados: fibras de celulose picada; celofane picado; conchas de nozes, fibra de celulose classificada; mistura de grãos, entre outros.

Ao contrário, quando o poço alcança o reservatório, deve-se modificar a composição do fluido a fim de garantir o escoamento fácil do petróleo pelos poros da formação até o interior do poço.

#### d) Estabilizadores

Nos casos em que o poço atravessa uma camada de sal, o contato do fluido à base de água com a formação tende a provocar a erosão e desestabilização das paredes do poço. Problemas também são previstos na passagem por uma camada formada por material argiloso. A argila hidrata e expande podendo provocar o aprisionamento da ferramenta de perfuração do poço. Para evitar a desestabilização e o alargamento do poço, pela ação da água, adiciona-se ao fluido um agente inibidor.

Minerais como a gipsita ou a gilsonita são utilizados para assegurar a estabilização do poço, dependendo da natureza da formação atravessada pela perfuração. A gipsita (quimicamente, um sulfato de cálcio) é utilizada no caso de formações contendo esse tipo de sal. A gilsonita é usada em poço que atravessa camada de folhelho. A gilsonita cobre a superfície do folhelho evitando que este absorva água e se expanda, obstruindo o poço.

Atualmente, tem-se dado preferência aos polímeros sintéticos ou outros produtos químicos como polifosfatos, lignitos, taninos e sais de potássio. Para a prevenção dos problemas citados, pode-se também optar por um fluido à base de óleo. O uso desse tipo de fluido, no entanto, sofre restrições devido aos problemas ambientais causados.

#### e) Lubrificantes

O atrito provocado pelo contato do metal com a rocha resulta em desgaste e aquecimento da broca. O fluido proporciona o resfriamento e pode conter um insumo mineral (geralmente, grafita ou bentonita) com a função de lubrificante. Em situações especiais a preferência é por produtos à base de glicol.

## 2 – Produção

A região Nordeste brasileiro tem se destacado ao longo dos anos como importante fornecedora de insumos minerais usados na perfuração de poços de petróleo. Em 2010, a produção de bentonita bruta no Brasil duplicou em relação ao ano anterior. A região contribuiu com aproximadamente 95% da produção nacional. A produção regional foi obtida nos estados da Paraíba e Bahia. Do total produzido, 79,3% foram destinados à extração de petróleo e gás (SILVA, 2011) que também consumiu 3,5% da bentonita ativada produzida naquele ano.

Em 2010, a produção de barita manteve-se estável quando comparada com o ano anterior. A região nordeste, que até o ano de 2007 era a principal produtora, foi superada pela região centro-oeste. A produção nordestina de barita bruta, toda oriunda do Estado da Bahia, representou apenas 16% do total. A região, no entanto, continua sendo a maior produtora da barita beneficiada com 56% do total nacional (ARAÚJO, 2011). A extração de petróleo consumiu 11,5% da produção bruta e 8% da barita beneficiada.

## 3 – Caracterização tecnológica

### 3.1 – Bentonita

As bentonitas da região nordeste são cálcicas e estão localizadas nos municípios de Boa Vista, Pedra Lavada e Cubatí no Estado da Paraíba e no município de Vitória da Conquista, na Bahia. A lavra é feita a céu aberto, sendo bastante prejudicada no período de chuvas (LUZ & OLIVEIRA, 2008). Na Paraíba são conhecidos diferentes tipos de bentonita que diferem na coloração sendo, localmente, denominados como: verde-lodo, chocolate, choco-bofe e bofe. A bentonita verde lodo apresenta o maior potencial para uso em lamas de perfuração (BALTAR *et al.*, 2003).

A Tabela 1 apresenta a composição química da argila verde-lodo, enquanto a Tabela 2 apresenta as fases cristalinas observadas em análise por difração de raios-X. Na Tabela 3 são apresentados alguns resultados de um estudo de caracterização realizado com a bentonita verde-lodo (BALTAR *et al.*, 2003).

Tabela 1 – Composição química da bentonita do tipo verde-lodo.

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	P.F.
20,5	0,43	9,2	1,30	2,3	0,04	0,45	0,05	53,6	1,20	10,03

Fonte: Baltar *et al.* (2003-a)

P.F. – perda ao fogo

Tabela 2 – Fases cristalinas observadas em análise por DRX na bentonita verde-lodo

ESMECTITA	QUARTZO	CAULINITA	MICROCLÍNIO
presente	presente	presente	vestígios

Fonte: Baltar *et al.* (2003-a)

Tabela 3 – Características tecnológicas apresentadas pela bentonita verde-lodo.

CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Capacidade de troca catiônica (meq/100g)	54
Viscosidade plástica (cP)	2,5
Grau de inchamento livre (%)	6,0
Expansão (%)	40,0
Menor do que 74 $\mu\text{m}$ (%)	98,2
Área superficial externa (m <sup>2</sup> /g)	87,0
Ponto isoelétrico	pH= 2,9

Fonte: Baltar *et al.* (2003-a)

A bentonita verde-lodo também se mostrou propícia para a modificação superficial (BALTAR *et al.*, 2010). Após contato com um sal quaternário de amônia (brometo do-deciltrimetil de amônia - BDTA) apresentou aumento de viscosidade (Figura 1), modificação da carga elétrica superficial (Figura 2) e hidrofobicidade (Figura 3).

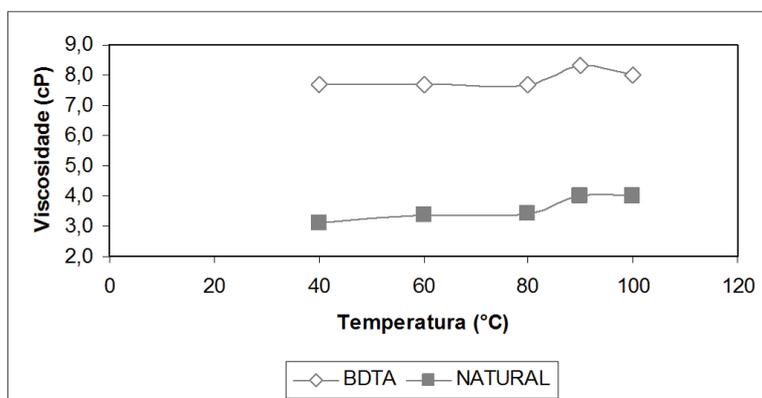


Figura 1 - Influência da variação da temperatura de aquecimento da amostra na viscosidade da suspensão em querosene para a bentonita nas formas natural e modificada (BALTAR *et al.*, 2010).

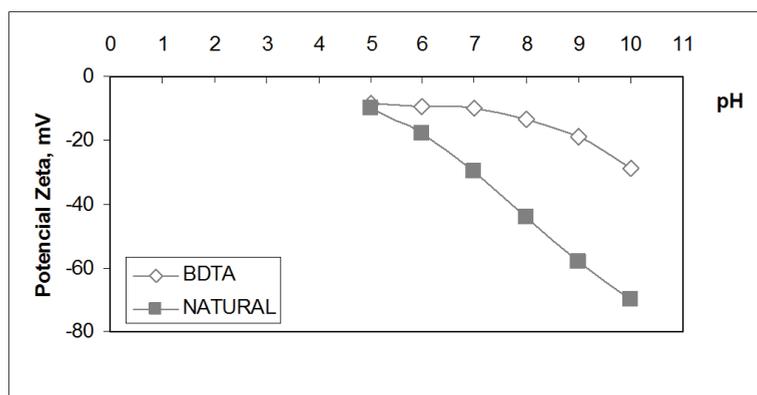


Figura 2 - Influência da modificação superficial da bentonita no potencial zeta em função do pH.



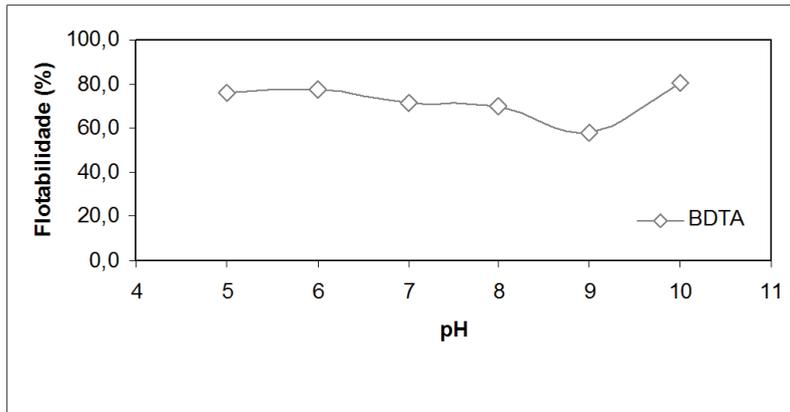


Figura 3 - Flotabilidade da bentonita modificada com BDTA em pH 9 em função do pH do sistema durante a flotação.

### 3.2 – Barita

Na região nordeste, a barita ocorre em doze municípios do Estado da Bahia sendo a de maior importância econômica a do município de Miguel Calmon (Luz & Baltar, 2008). Uma amostra representativa do pátio de estocagem da empresa produtora foi caracterizada por Baltar et al. (2003-b). A composição química é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição química da amostra de barita.

COMPOSTO	BaSO <sub>4</sub>	SrO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	SiO <sub>2</sub>	P.F.
TEOR (%)	86,6	0,67	0,36	0,40	0,04	0,04	0,1	11,4	zero

Fonte: Baltar et al. (2003-b)

P.F. – perda ao fogo

Os resultados mostram um minério rica em barita com o quartzo aparecendo como o principal contaminante. A ausência de perda ao fogo sugere a ausência de carbonatos e minerais hidratados (anfíbios, micas, caulinitas). Esse fato é importante porque facilita bastante o processo de flotação no beneficiamento do minério.

Tabela 5 – Composição mineralógica do minério de barita de Miguel Calmon

MINERAL	BARITA	QUARTZO	HIALOFÂNIO	ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS DE FERRO
TEOR (%)	87,3	10,6	1,6	0,4

#### 4 – Conclusões

A formulação de uma “lama” é de fundamental importância para o êxito da perfuração de poços de petróleo. A região nordeste do Brasil participa com destaque na produção desses insumos minerais, especialmente, bentonita e barita.

Em 2010, a região nordeste contribuiu com aproximadamente 95% da produção nacional de bentonita pura e 16% da barita bruta. A produção regional foi obtida nos estados da Paraíba e Bahia.

A amostra de bentonita denominada verde-lodo apresenta o maior potencial para uso em lamas de perfuração de poços de petróleo. Enquanto a barita de Miguel Calmon, na Bahia, apresenta um elevado teor em sulfato de bário e uma contaminação à base de quartzo o que facilita bastante o beneficiamento por flotação.

#### Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, R. M. (2011) - Barita. Sumário Mineral Brasileiro 2011. Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM.
- BALTAR, C. A. M.; LUZ, A. B.; OLIVEIRA, C. H. & ARANHA, I. B. (2003-a) – Caracterização, Ativação e Modificação Superficial de Bentonitas Brasileiras. In.: Baltar, C.A.M. e Luz, A.B. (editores). Insumos Minerais para a Perfuração de Poços de Petróleo. Capítulo 2, p. 21-46.
- BALTAR, C. A. M.; LUZ, A. B. & NEUMANN, R. (2003-b) – Caracterização e Beneficiamento da Barita de Miguel Calmon-BA. In.: Baltar, C. A. M. e Luz, A. B. (editores). Insumos Minerais para a Perfuração de Poços de Petróleo. Capítulo 3, p. 47-61.
- BALTAR, C. A. M.; SAMPAIO, J. A. & OLIVEIRA, G. A. R. (2010). Estudo das Condições para a Modificação Superficial de uma Bentonita. In.: II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste. Campina Grande (Paraíba), p. 39-46.
- DARLEY, H. C.; GRAY, G. R. (1988). Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids. Fifth Edition. Gulf Publishing Company, 634 p.
- LUZ, A. B. & BALTAR, C. A. M. (2003) – A Função dos Minerais Industriais Componentes da Lama de Perfuração de Poços. In.: Baltar, C. A. M. e Luz, A. B. (editores). Insumos Minerais para a Perfuração de Poços de Petróleo. Capítulo 1, p. 11-20.
- LUZ, A. B. & BALTAR, C. A. M. (2008) - Barita. In.: Luz, A.B. e Lins, F.A.F. (editores). Rochas & Minerais Industriais. CETEM/MCT, Capítulo 13, CETEM-MCT, 295-310.
- LUZ, A. B. & OLIVEIRA, C. H. (2008) – Argila Bentonita. In.: Luz, A. B. e Lins, F. A. F. (editores). Rochas & Minerais Industriais. CETEM/MCT, Capítulo 11, CETEM-MCT, 239-253.
- SILVA, T. H. C. (2011) - Bentonita. Sumário Mineral Brasileiro 2011. Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM.

## AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE DISPERSÃO DE SUSPENSÕES DE CAULINO E DE CARBONATO DE CÁLCIO PELA TÉCNICA DE “SLIP CASTING”

### KAOLIN AND CALCIUM CARBONATE SUSPENSIONS DISPERSION LEVEL EVALUATION BY SLIP CASTING TECHNIQUE

J. L. Velho<sup>1</sup>, S. Conceição<sup>2,1</sup>, A. Vasconcelos<sup>1</sup> & M. Quinta-Ferreira<sup>2</sup>

**Resumo** – O objetivo deste trabalho consistiu na análise da influência da adição de dois carboxiletilcelulose (CMC) como modificadores reológicos com diferentes pesos moleculares no comportamento reológico de suspensões de caulino e de carbonato de cálcio natural (GCC) na presença de policarbonato de amónio como dispersante, tendo para o efeito, recorrido à técnica de *slip casting*. As suspensões foram preparadas a diferentes concentrações de sólidos tendo a técnica de *slip casting* incidido nestas suspensões (sistemas não diluídos) e comparadas com suspensões que possuíam as mesmas concentrações de sólidos mas derivadas de suspensões de partida mais concentradas com a adição de água (sistemas diluídos). Os resultados mostraram que, para cada nível de concentração de sólidos, os sistemas diluídos mostravam melhor capacidade de empacotamento com reflexos ao nível reológico. O peso molecular do CMC, o seu nível de concentração, para além do procedimento de preparação da suspensão, todos influenciam a capacidade de empacotamento das partículas. O diferente comportamento dos dois pigmentos minerais em termos de previsão da reologia deve-se ao modo como as cargas elétricas se distribuem pelos dois tipos de partículas minerais.

**Palavras-chave** – Caulino; Carbonato de cálcio; Empacotamento; *Slip casting*.

**Abstract** – *The main goal of this research consisted in the analysis of the influence of adding two carboxymethyl cellulose (CMC) as rheological modifiers with different molecular weights on the rheological behavior of kaolin and calcium carbonate suspensions (GCC) in*

---

<sup>1</sup> Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal; javelho@ua.pt.

<sup>2</sup> Departamento de Ciências da Terra, Centro de Geociências, Largo Marquês de Pombal, Universidade de Coimbra, 3000-272 Coimbra, Portugal; mqf@dct.uc.pt

*the presence of ammonium polycarbonate as dispersant, having resorted to slip casting technique. Suspensions were prepared at different solid concentrations and slip casting technique was carried on these suspensions (nondiluted systems) and compared with those performed on suspensions containing the same solid volume fractions but derived from a more concentrated one by adding the required amounts of water (diluted systems). The experimental results showed that, at given solid loading, diluted systems showed a better packing ability influencing rheological properties. Added CMC molecular weight, its concentration level, besides suspensions preparing method, all of them influence particle packing ability. Different behavior between those two mineral pigments in terms of rheological forecast is due to the way electrical charges are distributed along particle surface.*

*Keywords – Kaolin; Calcium carbonate; Particle packing; Slip casting.*

## 1 – Introdução

O caulino e o carbonato de cálcio natural constituem dois dos mais importantes minerais industriais, eles fazem parte de um grupo designado por minerais brancos destinado a aplicações que envolvem elevada tecnologia, tão diversas como cerâmica, papel, tintas, plástico e borracha, farmacêutica e cosmética, fertilizantes e pesticidas, entre muitas outras. Na maioria destas aplicações industriais, a reologia é uma propriedade crítica, em especial no papel, na cerâmica, nas tintas e plásticos, só para nomear as situações mais relevantes em termos de volume de pigmentos minerais consumidos (MURRAY, 2000; VELHO, 2006).

O comportamento reológico tanto do caulino como do carbonato de cálcio natural é governado pelas propriedades fundamentais das suas partículas: distribuição dimensional e forma das partículas (morfologia), nível de agregação, para além das impurezas químicas e mineralógicas.

Nos processos industriais é comum a adição de componentes poliméricos para regular a reologia, são os modificadores reológicos (ENGSTROM & RIGDAHL, 1989, 1991; FADAT, 1993). Estes polímeros solúveis em água, tais como o carboximetilcelulose (CMC), afetam fortemente as forças coloidais porque são adsorvidas pelas partículas dos pigmentos minerais. (CONCEIÇÃO *et al.*, 2004; 2009; DAVIS, 1987; PAGE *et al.*, 2002). Estes polímeros dissolvidos tornam também a fase líquida da suspensão mais viscosa. Estes modificadores reológicos são muito utilizados em diferentes aplicações, como espessantes em produtos alimentares, aditivos em detergentes em pó, como reguladores de viscosidade no fabrico de papel revestido, e encontram-se disponíveis numa gama alargada de pesos moleculares (SANDAS & SALMINEM, 1993; WILLIS *et al.*, 1999; YOUNG & FU, 1991).

O presente trabalho tem como objetivo investigar a influência do procedimento de preparação das suspensões bem como da concentração e do peso molecular dos modificadores reológicos de CMC na capacidade de empacotamento das partículas de caulino e de carbonato de cálcio natural, avaliada pela técnica de *slip casting*, como uma técnica alternativa aos demorados estudos reológicos. O método aqui apresentado, pela simples operacionalidade, é de grande utilidade na avaliação de pigmentos minerais em termos tecnológicos. Neste estudo comparam-se os dados obtidos por *slip casting* com os de reologia

tentando-se interpretar os resultados obtidos ao nível da interação das cadeias poliméricas dos modificadores reológicos com a forma e a distribuição das cargas elétricas superficiais das partículas minerais.

## 2 – Materiais e métodos

O caulino selecionado neste estudo foi do tipo “china clay”, normalmente aplicado para cerâmica, da Imerys (Reino Unido), com uma granulometria média ( $d_{50}=2,95 \mu\text{m}$ ) que foi avaliada por difração laser (Coulter LS230, UK).

Quanto ao carbonato de cálcio natural (GCC) (calcite), foi fornecido pela Mineraria Sacilese, Itália, possui uma granulometria fina ( $d_{50}=1,8 \mu\text{m}$ ). Estes dois pigmentos minerais possuem a capacidade de se dispersarem em meio aquoso e constituir suspensões estáveis para o processamento coloidal ou outras aplicações industriais (DRAGE & TAMMS, 2000; GARIN, RABOT & POUYET, 1994; TARÌ & FERREIRA, 1998).

As suspensões foram preparadas na presença de um agente dispersante, um polícarbonato de amónio (Targon 1128, BK Ladenburg, Alemanha). Em seguida, adicionou-se gradualmente o pigmento em diferentes proporções, sob a ação de agitação mecânica, de modo a obterem-se concentrações finais de 20%, 30%, 40%, 50% e 60% em volume no caso de GCC e de 20%, 30% e 40% em volume no caso do caulino. As suspensões foram depois transferidas para um frasco de plástico onde se realizou a desaglomeração através de moagem durante 24 horas, utilizando bolas de nítreto de silício com um diâmetro de 1,5 cm. Finalmente, as bolas foram retiradas, sendo as suspensões sujeitas a desarejamento, rodando por mais 24 horas, sem bolas.

A seguir, dividiram-se as suspensões de maior concentração (60% em volume no caso de GCC e 40% em volume no caso do caulino), em várias proporções que foram pesadas e diluídas para 20%, 30%, 40%, e 50% em volume (GCC) e para 20%, 30% e 40% em volume (caulino), juntando as quantidades de água requeridas. Estas suspensões são referidas como “diluídas” de modo a distinguir-se daquelas que foram preparadas, desde o início, com as mesmas concentrações de sólidos (não diluídas).

Nas suspensões preparadas anteriormente, foram adicionados dois carboximetilcelulose (CMC), com diferentes pesos moleculares,  $M_w$ , (CMC35=30 000 g/mole e CMC250=250 000 g/mole), com quantidades totais de 0,1% em peso ou 0,2% em peso relativas ao teor de sólidos, de modo a estudar-se os seus efeitos na reologia das suspensões.

O estudo da capacidade de empacotamento das partículas dispersas por *slip casting* constitui um bom índice na avaliação do grau de dispersão de uma suspensão.

A capacidade de empacotamento foi calculada vazando as suspensões de GCC, de GCC/CMC, de caulino e de caulino/CMC em anéis de plástico com um diâmetro de 25 mm colocados sobre uma placa de gesso, obtendo-se corpos cilíndricos com uma espessura de cerca de 7 mm. Os corpos em verde foram secos à temperatura ambiente durante 24 horas e foram depois secos numa estufa a 110°C por mais 24 horas. As densidades foram determinadas por imersão em mercúrio usando o princípio de Arquimedes. A densidade relativa de GCC foi calculada assumindo-se como densidade teórica da calcite de  $2,71 \text{ g/cm}^3$ . A densidade relativa do caulino ( $2,50 \text{ g/cm}^3$ ) foi determinada num picnómetro de hélio (Quanta chrome, USA).

### 3 – Resultados

324

Os dados representados na tabela 1 referem-se à densidade relativa dos corpos em verde obtidos a partir das suspensões não diluídas e diluídas de caulino, com diferentes concentrações de sólidos na ausência dos modificadores reológicos CMC. Pode-se observar que em ambos os sistemas, a densidade dos corpos em verde aumenta com o aumento da concentração de sólidos, alcançando-se um valor máximo da densidade teórica de 67% na suspensão com maior concentração. Contudo, observa-se diferenças significativas na capacidade de empacotamento das suspensões não diluídas e diluídas a uma concentração de 20% e 30% em volume. Este facto é atribuído ao fenómeno de segregação das partículas/aglomerados (FERREIRA, 1992; 1998; OLHERO & FERREIRA, 2002), o qual é favorecido pela viscosidade baixa das suspensões a estas baixas concentrações de sólidos e pelas diferenças de dimensões entre partículas/aglomerados. Estes resultados mostram que os melhores níveis de dispersão e de desaglomeração são alcançados nos sistemas diluídos.

Tabela 1 - Efeito da concentração de sólidos na densidade de corpos em verde a partir de suspensões não diluídas e diluídas de caulino

Sistemas →	Volume de sólidos (peso) fracção							
	Não diluídos [%volume (%peso)]				Diluídos [%volume (%peso)]			
Densidade em verde	20 (38)	30 (52)	40 (63)	45 (67)	20 (38)	30 (52)	40 (63)	45 (67)
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,42	1,49	1,66	1,68	1,56	1,63	1,65	1,68
% Densidade teórica	57%	60%	66%	67%	62%	65%	66%	67%

As tabelas 2 e 3 mostram o efeito do peso molecular dos modificadores reológicos na densidade dos corpos em verde preparados a partir de suspensões diluídas e não diluídas de caulino, com diferentes concentrações de sólidos e para uma concentração de CMC (carboximetilcelulose) de 0,1% e 0,2% em peso, respetivamente. Observa-se que a densidade teórica dos corpos em verde obtida a partir dos sistemas não diluídos aumenta com o aumento da concentração de sólidos, chegando a um valor máximo de 61%, enquanto para os sistemas diluídos a densidade teórica dos corpos em verde encontra-se, a maior parte, no limite 61%-62%. Estas diferenças são mais suaves do que as observadas na ausência de ligantes, que podem ser atribuídas ao efeito do espessamento dos modificadores reológicos que tendem a mascarar a segregação das partículas de caulinite, confirmando mais uma vez que o melhor grau de dispersão e de desaglomeração foi conseguido nos sistemas diluídos.

Tabela 2 - Efeito do peso molecular e da adição de 0,1% em peso de CMC na densidade de corpos em verde preparados a partir de suspensões diluídas e não diluídas de caulino

Modificadores reológicos →		CMC35[%volume(%peso)]			CMC250[%volume(%peso)]		
Sistemas ↓	Densidade em verde ↓	20 (38)	30 (52)	40 (63)	20 (38)	30 (52)	40 (63)
	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,42	1,49	1,53	1,42	1,50	1,52
Não diluídos	% Densidade total	57%	60%	61%	57%	60%	60%
	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,52	1,55	1,55	1,51	1,53	1,55
Diluídos	% Densidade total	61%	62%	62%	61%	62%	62%

O aumento da concentração de CMC para 0,2% em peso não provoca mudanças significativas em termos de capacidade de empacotamento, no entanto foi obtido um valor ligeiramente elevado de 63% para as suspensões diluídas com uma concentração de 40% em volume e na presença de CMC de menor peso molecular (tabela 3). Este facto é atribuído aos efeitos combinados da superior capacidade de dispersão do CMC, à distribuição menos homogênea dos modificadores reológicos nas suspensões de elevada concentração, bem como ao melhor grau de desaglomeração do caulino nos sistemas diluídos.

Tabela 3 - Efeito do peso molecular e da adição de 0,2% em peso de CMC na densidade de corpos em verde preparados a partir de suspensões diluídas e não diluídas de caulino

Modificadores reológicos →		CMC35[%volume (%peso)]			CMC250[%volume (%peso)]		
Sistemas ↓	Densidade em verde ↓	20 (38)	30 (52)	40 (63)	20 (38)	30 (52)	40 (63)
	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,43	1,51	1,51	1,43	1,48	1,52
Não diluídos	% Densidade total	57%	60%	61%	57%	59%	61%
	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,51	1,52	1,56	1,48	1,53	1,53
Diluídos	% Densidade total	61%	61%	63%	59%	62%	62%

A tabela 4 mostra a densidade relativa obtida nos corpos em verde nos sistemas diluídos e não diluídos de carbonato de cálcio natural (GCC), com diferentes concentrações de sólidos. Pode-se observar que em ambos os sistemas, a densidade dos corpos em verde aumenta com o aumento da concentração de sólidos, chegando a um valor máximo de 68% da densidade teórica a partir da suspensão com maior concentração de sólidos.

Como se pode constatar, existem discrepâncias nos valores de densidade em verde entre os corpos derivados de suspensões com diferentes concentrações de sólidos. No entanto, estas diferenças são muito mais pequenas nos sistemas diluídos (4% no máximo) do que nos não diluídos (15% no máximo). Isto ilustra claramente a importância da intensidade de corte na eficiência do processo de desaglomeração/moagem durante a preparação da suspensão.

Tabela 4 - Efeito da concentração de sólidos na densidade de corpos em verde a partir de suspensões não diluídas e diluídas de carbonato de cálcio natural (GCC)

Sistemas →	Fracção volúmica (em peso) de sólidos									
	Não diluídos [%volume (%peso)]					Diluídos [%volume (%peso)]				
Densidade em verde	20 (40)	30 (54)	40 (64)	50 (73)	60 (80)	20 (40)	30 (54)	40 (64)	50 (73)	60 (80)
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,44	1,50	1,60	1,72	1,85	1,72	1,76	1,79	1,80	1,85
% Densidade teórica	53%	55%	59%	63%	68%	64%	65%	66%	67%	68%

As tabelas 5 e 6 mostram o efeito do peso molecular dos ligantes na densidade dos corpos obtidos por *slip casting* preparados a partir de suspensões diluídas e não diluídas de GCC, com diferentes concentrações de sólidos e para concentrações de CMC de 0,1% em peso e de 0,2% em peso, respectivamente. Pode-se constatar que a densidade relativa dos corpos em verde, obtidos a partir dos sistemas não diluídos, aumenta com o aumento da concentração de sólidos, chegando a um valor máximo de 65% para 0,1% em peso de CMC35 a uma concentração de 50% em volume o que não deixa de ser interessante, uma vez que este valor é superior àquele obtido na suspensão com a mesma

concentração de sólidos, mas sem CMC (63%). Já nos sistemas diluídos, a maior parte dos valores da densidade teórica dos corpos em verde encontram-se no limite de 64%-65%. De um modo consistente, os sistemas diluídos demonstram ter uma melhor capacidade de empacotamento na presença dos modificadores reológicos do que os sistemas não diluídos.

Tabela 5 - Efeito do peso molecular e da adição de 0,1% em peso de CMC na densidade de corpos em verde preparados a partir de suspensões diluídas e não diluídas de carbonato de cálcio natural (GCC)

Modificadores reológicos →		CMC35[%volume (%peso)]				CMC250[%volume (%peso)]			
Sistemas ↓	Densidade em verde ↓	20 (40)	30 (54)	40 (64)	50 (73)	20 (40)	30 (54)	40 (64)	50 (73)
Não diluídos	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,45	1,48	1,56	1,77	1,46	1,50	1,56	1,72
	% Densidade teórica	54%	55%	58%	65%	54%	55%	58%	63%
Diluídos	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,77	1,75	1,76	1,76	1,77	1,76	1,75	1,75
	% Densidade teórica	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%

Tabela 6 - Efeito do peso molecular e da adição de 0,2% em peso de CMC na densidade de corpos em verde preparados a partir de suspensões diluídas e não diluídas de carbonato de cálcio natural (GCC)

Modificadores reológicos →		CMC35[%volume (%peso)]				CMC250[%volume (%peso)]			
Sistemas ↓	Densidade em verde ↓	20 (40)	30 (54)	40 (64)	50 (73)	20 (40)	30 (54)	40 (64)	50 (73)
Não diluídos	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,45	1,46	1,54	1,68	1,46	1,47	1,54	1,69
	% Densidade teórica	54%	54%	57%	62%	54%	54%	57%	62%
Diluídos	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,77	1,77	1,76	1,75	1,75	1,76	1,74	1,75
	% Densidade teórica	65%	65%	65%	65%	65%	65%	64%	65%

Dados reológicos apresentados em trabalhos anteriormente publicados (CONCEIÇÃO *et al.*, 2003a; 2003b), mostraram que a influência dos modificadores reológicos era diferente consoante o tipo de pigmento em análise. No caso do carbonato de cálcio, verificou-se que o CMC35 apresentava características reofluidificantes ao contrário do CMC250. Estas informações estão de acordo com os dados obtidos por *slip casting*.

A adsorção na superfície das partículas de GCC de cadeias de polímero associadas a algum solvente resulta num aumento do seu volume efetivo,  $\phi_{eff}$ , o qual pode ser qualitativamente definido como (FERREIRA, 1992; CONCEIÇÃO *et al.*, 2009):

$$\phi_{eff} = V_{sólido} + V_{polímero} + V_{solvente}$$

Assumindo que todas as espécies adsorvidas formam uma camada de espessura  $\delta$ , à volta do diâmetro  $a$  da partícula esférica, o volume efetivo da partícula será expresso por:

$$\phi_{eff} = 1 + \frac{\delta^3}{a^3}$$

A espessura das camadas adsorvidas resulta num aumento da dimensão aparente das partículas dispersas, isto é, numa maior fração do volume efetivo de sólidos. Baseado nestas considerações e nos dados reológicos comparativos apresentados atrás, é possível



conceber que as cadeias poliméricas de CMC possam formar diferentes configurações ao serem adsorvidas à superfície das partículas de GCC (Fig. 1).

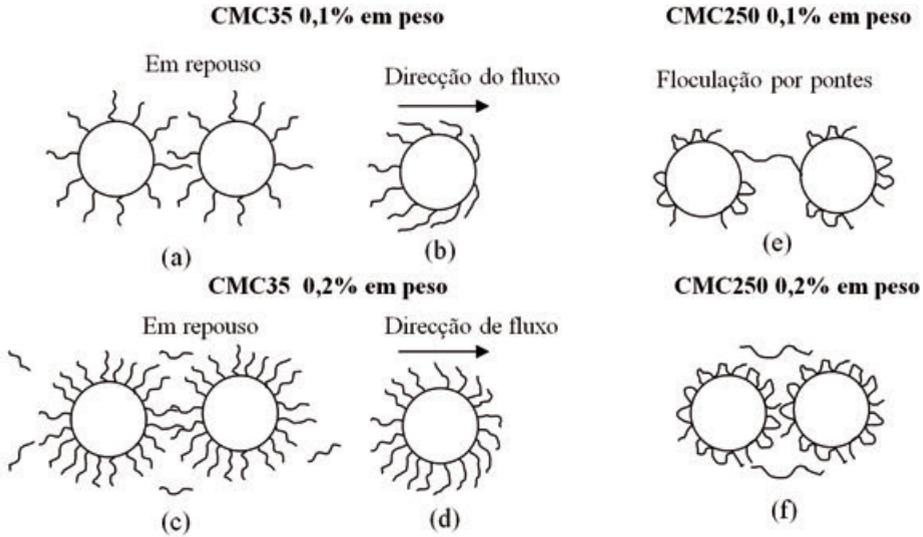


Figura 1 – Modelo proposto para a adsorção e conformação dos diferentes modificadores reológicos CMC à superfície das partículas de carbonato de cálcio natural (GCC) (Conceição *et al.*, 2009).

Na situação do CMC35 de menor  $M_w$ , espera-se uma configuração do tipo “cabeleira” enquanto as longas cadeias de CMC250 deverão ser adsorvidas através de pequenos segmentos da cadeia, formando laços e caudas que se estendem na solução até distâncias mais curtas (Fig. 1, e-f) (SIGMUND *et al.*, 2000; SAWYER & REED, 2001). A solvência da água em relação aos CMCs melhora à medida que o  $M_w$  diminui. A espessura das camadas adsorvidas, a relativa afinidade entre as espécies adsorvidas e a superfície, a solvência do meio e a quantidade adsorvida encontram-se fortemente inter-relacionadas.

De acordo com a figura 1-a, o valor de  $\Phi_{off}$  deverá ser maior por a configuração das cadeias de CMC35 ser tal que estas se estendem até distâncias mais longas. A 0,1% em peso de CMC35, a densidade superficial das cadeias poliméricas é suficientemente baixa, podendo estas serem capazes de curvar e de parcialmente se alinharem de acordo com a direção do fluxo (Fig. 1-b). Quanto ao CMC250, este tenderá a formar laços e caudas menos extensos na solução aquosa, no entanto, as suas cadeias são capazes de combinar mais moléculas de água e de produzir um efeito de espessamento mais acentuado.

O aumento da quantidade de CMC para 0,2% em peso leva a um maior grau de recobrimento da superfície das partículas e a uma camada adsorvida mais densa (Fig. 1-c). As cadeias poliméricas adsorvidas terão menos liberdade para alinhar ao longo das linhas de fluxo. Quando as partículas têm que se aproximar uma das outras (50% em volume), as cadeias poliméricas de CMC250 promovem a floculação entre as partículas através da formação de pontes sendo responsável pelo efeito de espessamento mais pronunciado. Aumentando a quantidade de CMC250 para 0,2% em peso, o grau de recobrimento da superfície pelo polímero aumentará e reduzirá a probabilidade de uma cadeia polimérica

de adsorver mais do que uma partícula e, portanto, a tendência será para flocular através da formação de pontes entre as partículas.

Quanto ao caulino, o comportamento dos CMCs é igual à que ocorreu com o GCC, isto é, as cadeias mais longas de CMC250 possuem um carácter reoessante relativamente às mais curtas de CMC35. No entanto, para um nível de teor de sólidos de 40%, o CMC35 apresenta um comportamento espessante. Estes dados sugerem que as moléculas dos modificadores reológicos ficam preferencialmente em solução em vez de serem adsorvidas à superfície das partículas. Quando o sistema se torna mais concentrado (40% em volume de sólidos), o CMC35 apresenta características de espessamento acentuadas. Estas observações encontram-se relacionadas com os diferentes níveis de afinidades entre as cadeias moleculares ionizadas de CMC e as superfícies dos dois tipos de pigmentos minerais, as quais possuem propriedades diferentes. As partículas de carbonato de cálcio natural exibem normalmente um ponto isoeléctrico aparente próximo de pH=8 e baixas densidades de carga superficial a elevados valores de pH (TARÌ & FERREIRA, 1998), enquanto as partículas de caulinite possuem uma distribuição de carga superficial desigual, com as superfícies basais apresentando elevadas densidades de carga negativa ao longo de todo o domínio de pH e os bordos comportando-se como superfícies de óxidos com um ponto isoeléctrico na região neutra de pH (JARNSTROM & STENIUS, 1990; TARÌ *et al.*, 1999).

#### 4 – Conclusões

Os resultados mostraram o interesse da utilização da técnica de *slip casting* na avaliação tecnológica de pigmentos minerais para diferentes aplicações sempre que a reologia seja tida como uma propriedade crítica. Esta técnica chega a ser mais útil e correta na avaliação do grau de dispersão/delaminação/desaglomeração das partículas minerais que os estudos reológicos.

Os resultados obtidos possuem um impacto industrial relevante, quando se queira alcançar um nível elevado de delaminação das partículas de caulinite, na gama de teores de sólidos baixo a moderado, é aconselhável que se parta de uma suspensão mais concentrada e que se vá adicionando as quantidades necessárias de água para se obter a concentração de sólidos desejada.

A adição de CMC aumenta ou diminui as características de empacotamento e de interligação entre as partículas e os modificadores reológicos, influenciando a reologia. O modelo proposto parece ser adequado na explicação como, por um lado, as cadeias curtas e longas, juntamente com o seu nível de concentração, se interagem com a superfície das partículas, e, por outro lado, por que razão as partículas de caulinite e de carbonato de cálcio natural (calcite) se comportam de modo diferenciado em especial para níveis elevados de concentrações de sólidos.

#### Referências Bibliográficas

- CONCEIÇÃO, S., OLHERO, S., VELHO, J. & FERREIRA, J.M.F. (2003a) – Influence of shear intensity during slip preparation on rheological characteristics of calcium carbonate suspensions. *Ceramics International*, 29, p. 365-370.
- CONCEIÇÃO, S., VELHO, J. & FERREIRA, J.M.F. (2003b) - Influence of deagglomeration and carboxymethyl cellulose binders on rheological behavior of kaolin suspensions. *Applied Clay Science*, 23, p. 257-264.

- CONCEIÇÃO, S., SANTOS, N. F., VELHO, J. e FERREIRA, J.M.F. (2009) – Relationship between paper coated properties and rheology of the coating color. *O Papel*, 70(11), p. 54-65.
- CONCEIÇÃO, I., VELHO, J. & FERREIRA, J.M.F. (2004) – The influence of carboxymethyl cellulose on rheological behaviour of precipitated calcium carbonate suspensions. *E-Rheo, Journal of the Portuguese Society of Rheology*, vol. 4, p. 29-38.
- DAVIS, R. (1987) - The Colloidal Chemistry of CMC-latex Coating. *Tappi Journal*, May, p. 99-105.
- DRAGE, G. & TAMMS, O. (2000) – Kaolin in Pigment coating and surface sizing. Chap. 5, Ed. Tappi Press, p. 69-92.
- ENGSTROM, G. & RIGDAHL, M. (1989) - Aggregation in coating colors. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 1, p. 25-32.
- ENGSTROM, G. & RIGDAHL, M. (1991) - On the transition from linear to non-linear viscoelastic behaviour of CMC/latex coating colors. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 5(2), p. 63-67.
- FADAT, G. (1993) - The influence of associative rheology modifiers on paper coating. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 1, p. 191-194.
- FERREIRA, J.M.F. (1992) - A Interface Carboneto de Silício-Solução Aquosa e o Enchimento por Barbotina, Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro (1992).
- FERREIRA, J.M.F. (1998) – Role of the clogging effect in the slip casting process. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 18, p. 1161-1169.
- GARIN, G., RABOT, Y. & POUYET, J. (1994) – Concentrated suspensions: Coating color viscosity at high shear rate., In *Progress and Trends in Rheology IV*, Ed. C. Gallegos. Steinkopff Verlagm, darmstad, Proc. 4<sup>th</sup> European Rheology Conference, Sevilla, Spain, p. 642-644.
- JÄRNSTRÖM, L. & STENIUS, P. (1990) - Adsorption of Polyacrylate and Carboxy Methyl Cellulose on Kaolinite: Salt Effects and Competitive Adsorption. *Colloids and Surfaces*, 50, p. 47-73.
- MURRAY, H. (2000) – Traditional and new applications for kaolin, smectite and palygorskite: a general overview. *Applied Clay Science*, 17, p. 207-221.
- OLHERO, S. & FERREIRA, J.M.F. (2002) – Particle segregation phenomena occurring during slip casting process. *Ceramics International*, 28(4), p. 377-386.
- PAGE, A., CARREAU, P., MOAN, M. & HEUZEY, M.-C. (2002) - Rheological Behavior of Coating Colors: Influence of Thickener. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 80, December, p. 1181-1188.
- SANDAS, S. e SALMINEM, P. (1991) - Pigment-cobinder interactions and their impact on coating rheology, dewatering, and performance. *Tappi Journal*, 74(12), p. 179-187.
- SAWYER, C. & REED, J. (2001) - Adsorption of Hydroxypropyl Methyl Cellulose in an aqueous system containing multicomponent oxide particles. *J. Am. Ceram. Soc.*, 84(6), p. 1241-1249.
- SIGMUND, W., BELL N. & BERGSTRÖM, L. (2000) - Novel Powder-Processing Methods for Advanced Ceramics. *J. Am. Ceram. Soc.*, 83, p. 1557-1574.
- TARÌ, G. e FERREIRA, J.M.F. (1998) - Colloidal Processing of Calcium Carbonate. *Ceramics International*, 24, p. 527-532.
- TARÌ, G., BOBOS, J., GOMES, C. & FERREIRA, J.M.F. (1999) – Modification of the surface charge properties along kaolinite to halloysite-7Å. *J. Colloid Interface Sci.*, 210, p. 360-366.
- VELHO, J. (2006) – Mineralogia industrial: Princípios e Aplicações. Edições Lidel, Lisboa.
- WILLIS, M., BEHL, B. & YOUNG, R. (1999) – Chemical process for fractionating mineral particles based on particle size. Patent n° US 598833. United States Patent.
- YOUNG, T. S. & FU E. (1991) - Associative behaviour of cellulosic thickeners and its implications on coating structure and rheology. *Tappi Journal*, April, p. 197-207.

(Página deixada propositadamente em branco)

## ENSAIOS DE FITORREMEDIAÇÃO DE URÂNIO COM BASE NA LIXIVIAÇÃO DE ESCOMBREIRAS

### PHYTOREMEDIATION TRIALS WITH LEACHATES FROM URANIUM TAILINGS

J. Pratas<sup>1</sup>, F. Pita<sup>1</sup> & P. Canetas<sup>1</sup>

**Resumo** – O presente trabalho pretende verificar a possibilidade de utilização da fitorremediação na descontaminação de escombrelas uraníferas. Para a realização deste trabalho foi selecionada uma antiga exploração mineira (Mina de Sevilha – Tábuia) e amostrados os materiais de escombrela aí depositados. Sabendo-se que existem várias espécies de macrófitas aquáticas capazes de acumular elevadas quantidades de urânio nos seus tecidos, tenta-se promover uma lixiviação das escombrelas para obter licores nos quais essas plantas seriam cultivadas. Para tal, recorre-se a técnicas de lixiviação com ácido cítrico, em alternativa à tradicional utilização de ácido sulfúrico como método de extração, vulgarmente utilizado na indústria mineira. Os licores gerados por este processo são, posteriormente, remediados através de macrófitas aquáticas acumuladoras.

A lixiviação de urânio das escombrelas com ácido cítrico evidenciaram um maior rendimento e, no final de 6 lixiviações sequenciais, a sua eficiência foi bastante superior (cerca de 71%), ao procedimento tradicional com ácido sulfúrico, cujo rendimento foi de apenas 19,4%.

Os ensaios de fitorremediação com culturas de *Lemna minor* permitiram verificar uma redução da concentração em urânio nos licores e o seu aumento nas plantas ao longo do tempo. Ao fim de sete dias conseguiram-se rendimentos de descontaminação dos licores da ordem dos 50% e ao fim de trinta dias conseguiram-se, em alguns casos, rendimentos da ordem dos 95%.

O processo indica uma elevada eficiência quer do processo de lixiviação quer do processo de acumulação de urânio pelas plantas. Porém, para a correta validação desta técnica como metodologia de remediação ambiental deverá ser analisada o tempo de permanência das macrófitas no licor, a biomassa utilizada, assim como a hipótese de lixiviação de outros metais pelo ácido cítrico e sua implicação no processo de fitorremediação.

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciências da Terra da FCTUC, Centro de Geociências, jpratas@dict.pt; fpita@dict.pt

**Palavras chave:** urânio, escombreyras, lixiviação, ácido cítrico, fitorremediação, *L. minor*.

**Abstract** – *This work intends to verify the possibility of using phytoremediation in the descontamination of uraniferous tailings. For this work was been selected an old mining area (Sevilha mine – Tábua) and sampled the tailing materials deposited therein. Knowing that there are several species of aquatic macrophytes can accumulate high amounts of uranium in their tissues, we attempt to promote the leaching of tailings to obtain liquors in which these plants were cultivated. For such, it will be considered citric acid leaching techniques, in alternative to the traditional sulfuric acid method, vulgarly used in the mining industry. The resulting liquors generated from this process will be, later on, attenuated through accumulative aquatic macrophytes.*

*The preliminary tests had evidenced a high contrast in the leaching process results. It was verified that, in the end of 6 sequential leachings, the citric acid solutions efficiency was amply superior (about 71%), whereas the application of the traditional sulfuric acid procedure, in the same conditions, the results were in the order of 19.4%.*

*Essays of phytoremediation with cultures of *Lemna minor* allowed a reduction of the amounts of U in liquor and its increase in plants over time. After seven days led decontamination efficiency of liquors of approximately 50% and after thirty days have been, in some cases, efficiency of approximately 95%.*

*The process indicates high efficiency of the leaching process as of the process of Uranium accumulation by the plants. Moreover, this process could reveal itself as a lower cost alternative to the traditional physical-chemical processes. However, for correct validation of this technique as an ambient remediation methodology the permanence time of the macrophytes in the liquor, the used biomass, as well as other metals leaching capabilities by citric acid must be analyzed and their implications in the phytoremediation process.*

**Keywords:** uranium, tailings, leaching, citric acid, phytoremediation, *L. minor*.

## 1 – Introdução

A indústria mineira, como muitas outras atividades humanas, geram inúmeros resíduos sólidos, líquidos e gasosos, potencialmente perigosos devido ao seu conteúdo em contaminantes, como metais potencialmente tóxicos, radioatividade e efluentes de processos químicos (LOTTERMOSER, 2003). Em Portugal, durante vários anos, a indústria mineira constituiu uma das maiores riquezas nacionais, tendo proporcionado inúmeros postos de trabalho, bem como lucros económicos avultados pela sua exportação. O urânio constituiu nos anos 80 uma das maiores riquezas mineiras nacionais (MATOS DIAS *et al.*, 1980). No entanto, a atividade mineira deixou como herança níveis consideráveis de contaminação de urânio em várias zonas do país, como é o caso da Província Uranífera das Beiras, onde se insere o local de estudo. Contrariamente aos compostos orgânicos, os metais não podem ser degradados e a descontaminação de solos, com concentrações elevadas de metais, requer em geral a sua imobilização ou remoção física (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 2003). Um dos maiores perigos dos resíduos de urânio depositados em escombreyras resulta da sua dispersão e contaminação dos solos e de águas subterrâneas e superficiais, devido à percolação de urânio.

Assim, é importante o desenvolvimento de processos eficazes e mais baratos de monitorização e de descontaminação de modo a diminuir a dispersão dos contaminantes.

A fitorremediação surge como uma técnica alternativa de descontaminação de resíduos, inovadora, inócua, de custos mais reduzidos e de fácil aceitação pública, que se baseia na utilização direta de plantas acumuladoras na extração de elementos tóxicos nos resíduos (PIVETZ, 2001; PRASAD *et al.*, 2003; GHOSH & SPRINGH, 2005; PAULO, 2006). Existem plantas com capacidade de acumular o urânio, o que permite ponderar a hipótese de utilização das mesmas em sistemas de descontaminação, por exemplo de efluentes líquidos, utilizando a metodologia da rizofiltração.

São objetivos deste trabalho estudar a remediação de licores enriquecidos em urânio através da utilização de macrófitas aquáticas acumuladoras (*Lemna minor* L.) e implementar uma metodologia de extração seletiva que permita a remoção de urânio de escombrelas de modo a obter o maior rendimento possível. Para tal, recorrer-se-á a técnicas de lixiviação com ácido cítrico, em alternativa à tradicional utilização de ácido sulfúrico como método de extração vulgarmente utilizado pela indústria mineira. Este estudo seguiu duas etapas, a primeira de extração do urânio do material de escombrela e a segunda de descontaminação dos efluentes líquidos (licores) gerados através de técnica de fitorremediação.

## 2 – Localização

O presente estudo foi desenvolvido numa mina abandonada – mina de Sevilha – localizada no centro de Portugal, mais precisamente na zona de Tábua (Fig.1), constituindo atualmente uma escombrela pois ali foi depositado o minério de urânio, proveniente do processo extrativo, que na época da exploração apresentava baixo teor, sendo por isso considerado um estéril. Aquela zona insere-se na Província Uranífera das Beiras onde as litologias dominantes são os graníticos hercínicos porfíroides. Os minerais de urânio desta área são a pechblenda, a autunite e a torbernite (PAULO, 2006).

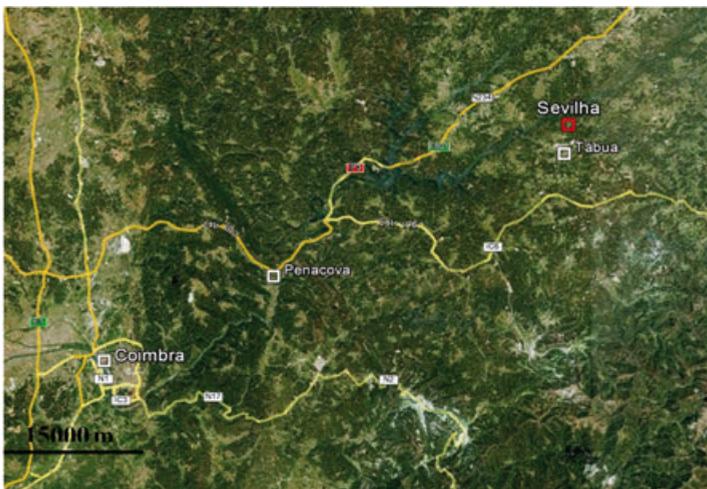


Fig. 1 - Imagem de localização da área de estudo Mina de Sevilha - Tábua (Google Earth, 2012).

### 3 – Metodologia

334

Na escombreira foram colhidas aleatoriamente três amostras de resíduos com cerca de 100 Kg de material. Em laboratório fez-se a sua análise granulométrica e a determinação do teor em urânio em cada lote granulométrico com o objetivo de analisar a distribuição do teor em urânio pelos vários lotes. A metodologia adotada para a lixiviação de urânio das escombreiras consistiu na execução de ensaios laboratoriais onde se utilizaram soluções de ácido cítrico e ácido sulfúrico, de igual pH, visando assim a análise do melhor tipo de lixiviante. A escolha destes ácidos teve como principal objetivo a comparação entre o método industrial tradicional (uso de ácido sulfúrico na lixiviação de minérios uraníferos de baixo teor) e uma alternativa que tivesse em conta: a) fatores de ordem económica (custo); b) fatores de ordem ambiental (inócuo e biodegradável); c) possibilidade de formação de compostos biodisponíveis para posterior recuperação por plantas bioacumuladoras. Estes ensaios consistiram em fazer percolar 500 ml de solução ácida sobre uma amostra de 500 g de material de escombreira com teores médios de 25 mg/kg, contido em tubos de percolação. Realizaram-se ensaios de lixiviação por percolação com sucessivos ataques por lixiviante virgem e com recirculação do lixiviante

Os ensaios de fitorremediação consistiram no desenvolvimento de culturas de *Lemna minor* L., nas quais o meio de cultura constou dos licores obtidos nos processos extractivos precedentes. Ao longo do desenvolvimento das culturas foram analisados os teores de urânio nas plantas e nos respetivos licores, ao fim 1, 2, 4 e 7 dias. As análises químicas foram efectuadas por fluorimetria utilizando o equipamento de Lumex Fluorat-02. A metodologia analítica seguiu o protocolo descrito por PAULO (2006).

### 4 – Resultados e Discussão

#### 4.1 – Caracterização dos materiais

Os três materiais de escombreira apresentam granulometria similar (Tabela 1). Relativamente ao teor em urânio das várias frações constituintes dos três escombros, verifica-se que as mais finas apresentam maiores valores, tendo uma grande contribuição para o urânio existente nos três materiais (Tabela 1). No material 1 a fração mais grosseira apresenta um elevado teor em urânio, podendo ser consequência da heterogeneidade da constituição das partículas que constituem esta fração. Localmente encontraram-se algumas partículas de maiores dimensões ricas em autunite. Aquando da enquadramento e posterior amostragem esta heterogeneidade poderá ter sido parcialmente mantida e consequentemente originado valores elevados.

Dos resultados apresentados na Tabela 1 conclui-se que os teores médios de urânio para os materiais 1, 2 e 3, são respetivamente 31,02; 34,68 e 32,50 mg/kg. Os três materiais revelaram assim teores de urânio similares, o que permite concluir da homogeneidade do material ali existente.

Aquando da preparação dos tubos de percolação, verificou-se que as partículas de calibre superior a 16 mm não poderiam ser incluídas nos tubos por possuírem dimensões demasiado grandes. Por este motivo optou-se pela sua não inclusão no processo extrativo. Visto que os três materiais revelaram teores de urânio idênticas, seleccionou-se o ma-



terial 1 para posteriores ensaios de percolação. Sem aquela fração grosseira o teor médio de urânio deste material é de 25,09mg/kg.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica e teor em urânio de cada fração.

Frações (mm)	Análise granulométrica (%)			Teor em Urânio (mg/kg)			Contribuição de cada fração para o Urânio (%)		
	Material 1	Material 2	Material 3	Material 1	Material 2	Material 3	Material 1	Material 2	Material 3
<0,5	8,13	12,12	11,47	104,55	78,66	82,33	27,41	27,49	29,05
0,5-0,7	2,59	4,17	2,94	64,67	39,24	43,62	5,40	4,72	3,94
0,7-1,0	3,04	4,53	3,50	49,89	41,22	35,24	4,89	5,38	3,79
1,0-1,4	4,35	5,86	4,97	29,35	32,62	47,79	4,12	5,51	7,31
1,4-2,0	5,95	6,76	6,45	38,20	31,66	27,54	7,33	6,17	5,46
2,0-2,8	7,31	7,69	8,05	13,81	23,41	31,23	3,26	5,19	7,73
2,8-4,0	9,66	10,08	11,19	33,09	18,84	23,77	10,31	5,48	8,18
4,0-5,6	9,73	9,21	10,77	8,79	27,79	15,43	2,76	7,38	5,11
5,6-8,0	14,94	13,32	16,27	2,71	13,94	24,35	1,31	5,35	12,19
8,0-11,2	9,46	9,38	9,14	5,54	19,59	28,46	1,69	5,30	8,00
11,2-16,0	10,63	9,37	7,74	2,80	40,48	20,94	0,96	10,95	4,99
>16,0	14,20	7,50	7,52	66,75	51,17	18,37	30,57	11,07	4,25

#### 4.2 – Percolação

Para o estudo da percolação com ácido cítrico e com ácido sulfúrico os testes foram desenvolvidos em três réplicas de material, num total de seis testes de percolação, e utilizou-se em cada passagem uma solução virgem de cada um daqueles ácidos a pH 2,5.

Verificou-se que os valores da concentração de urânio nos licores provenientes do processo extrativo utilizando-se soluções de ácido cítrico são superiores aos provenientes do processo extrativo utilizando-se as tradicionais soluções de ácido sulfúrico (Tabela 2). Pode concluir-se que as soluções de ácido cítrico se revelaram bastante mais eficazes na remoção de urânio do escombros. Partindo-se de um material com um teor médio inicial de urânio de 25,09 mg/kg, ao fim de uma série de 6 percolações, com o ácido cítrico conseguiu-se extrair 71,2% do urânio enquanto que com o ácido sulfúrico o rendimento foi de apenas 19,4%.

Tabela 2 - Concentração de U nos licores provenientes dos testes de percolação.

	Concentração de urânio no licor (mg/L)	
	Ácido cítrico	Ácido Sulfúrico
1ª percolação	1,304	0,027
2ª percolação	3,113	0,193
3ª percolação	7,178	0,529
4ª percolação	1,800	0,870
5ª percolação	2,993	1,577
6ª percolação	1,478	1,680

Teoricamente seria de esperar que a capacidade de extração diminuísse ao longo do tempo, porém tal não se verificou. A concentração de urânio nos licores provenientes das sucessivas percolações com soluções de ácido cítrico aumenta até à terceira percolação, diminuindo de seguida, e no caso de soluções de ácido sulfúrico, a concentração de urânio nos licores vai aumentando ao longo do tempo. Este comportamento resulta do aumento do tempo de contacto (percolação) entre o ácido e o material à medida que se avança no número de percolações, resultado da diminuição da permeabilidade do material.

Também na percolação com ácido cítrico o pH desempenha um papel importante. O rendimento de extração por ácido cítrico diminui acentuadamente com o aumento do pH (Tabela 3). As soluções com menor pH permitiram obter licores com maiores concentrações em urânio. Para soluções percolantes de pH 3,5; 4,0 e 4,5 o rendimento de extração foi de apenas 10,2, 5,2% e 2,5% respetivamente.

Tabela 3 - Concentração de U nos licores provenientes dos testes de percolação, com soluções de ácido cítrico de diferentes pH.

	Concentração de urânio no licor (mg/L)				
	pH – 2,5	pH – 3,0	pH – 3,5	pH – 4,0	pH – 4,5
1ª percolação	1,304	1,906	0,512	0,274	0,116
2ª percolação	3,113	2,412	0,545	0,410	0,220
3ª percolação	7,178	3,087	0,484	0,326	0,144
4ª percolação	1,800	1,533	0,399	0,132	0,063
5ª percolação	2,993	1,561	0,354	0,105	0,057
6ª percolação	1,478	0,719	0,267	0,057	0,029
7ª percolação	2,218	1,264			
8ª percolação	1,503	0,657			
9ª percolação		0,730			
10ª percolação		0,724			
11ª percolação		0,810			
12ª percolação		0,719			

Nos testes visando o estudo da influência da utilização de lixiviante virgem ou recirculação do lixiviante, optou-se pelo uso de uma solução de ácido cítrico de pH 3,0, pois embora o rendimento de extração aumente com a diminuição do pH pretende consumir-se menor quantidade possível de ácido. Saliente-se que para preparar uma solução de ácido cítrico de pH 2,5 são necessárias 5 g de ácido concentrado por litro de solução, enquanto que para preparar a mesma solução a um pH de 3,0 são necessárias 0,5 g de ácido, 10 vezes menos do que na primeira solução.

Conclui-se que a lixiviação por recirculação do ácido cítrico conduz a menores rendimentos do que o uso de soluções virgens (Tabela 4). Naquele caso as soluções vão perdendo poder de dissolução ao longo das sucessivas percolações. Ao fim da quinta percolação a solução está perto do seu limite de saturação.

Tabela 4 - Concentração de urânio nos licores provenientes dos testes de percolação, realizados com reciclagem e sem reciclagem da solução percolante, com soluções de ácido cítrico de pH 3,0.

	Concentração de urânio no licor (mg/L)		Rendimento de extração acumulado (%)	
	Licor Reciclado	Licor não Reciclado	Licor Reciclado	Licor não Reciclado
1ª percolação	4,7148	5,236	18,79	20,89
2ª percolação	5,8467	3,303	23,30	34,03
3ª percolação	7,2756	2,313	29,00	43,25
4ª percolação	8,2878	1,213	33,03	48,09
5ª percolação	8,5061	1,110	33,90	52,51
6ª percolação		0,691		55,27
7ª percolação		0,527		57,37
8ª percolação		0,357		58,79
9ª percolação		0,419		60,46
10ª percolação		0,350		61,85
11ª percolação		0,301		63,05
12ª percolação		0,312		64,30

### 4.3 – Fitorremediação

Foram realizados testes preliminares de fitorremediação com o objetivo de testar a eficácia da planta selecionada, *Lemna minor* L., na remoção de urânio nos licores provenientes do processo extrativo, com a realização de culturas hidropônicas daquelas macrófitas em um licor com uma concentração inicial de 3,6 ppm em urânio. Os resultados das variações das concentrações de urânio nas plantas e nas águas ao longo do tempo são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Concentração de urânio no licor (mg/L) e nas plantas (mg/kg) no decorrer dos testes de fitorremediação.

	Licor	Plantas
	Concentração de U (mg/L)	Concentração de U (mg/kg)
Início	3,602	0,689
1 hora	3,587	6,478
1 dia	3,583	7,309
2 dias	3,559	14,410
4 dias	3,212	118,502
7 dias	2,663	250,000

Ao longo do decurso dos ensaios verificou-se um aumento da concentração de urânio nas plantas, e um decréscimo proporcional na concentração em urânio nos licores. No entanto, o aumento de acumulação de urânio pelas plantas foi mais acentuado a partir do segundo dia. No final do tempo de permanência máximo da macrófita neste licor (7 dias) obteve-se uma redução da concentração de urânio no licor para 2,66 ppm, a que correspondeu um rendimento de extração pelas plantas de aproximadamente 25%. Conclui-se que o tempo de permanência da macrófita no licor é um fator de elevada importância na eficácia do processo.

Foi realizado um segundo conjunto de ensaios de fitorremediação sobre seis licores resultantes de sucessivas percolações de material, nos quais se prepararam novas culturas hidropônicas, tendo-se recolhido as plantas e licores ao fim de sete e trinta dias (Tabela 6). A experiência 1 corresponde a ensaios desenvolvidos com licores provenientes das primeiras percolações, a experiência 2 a ensaios com licores das segundas percolações, e assim sucessivamente.

Verificou-se um aumento da concentração de urânio nas plantas e um conseqüente decréscimo da sua concentração nos licores, comportamento que é mais acentuado, na maioria das experiências, até ao sétimo dia. Ao fim deste tempo, a redução da concentração de urânio nos licores apresentou valores na ordem dos 40-50%.

Durante o sétimo e trigésimo dia continua a verificar-se um aumento da concentração de urânio nas plantas, e a conseqüente diminuição da concentração de urânio nos licores, embora não tão acentuada como nos primeiros dias, sendo conseqüência provável da saturação ao metal pela planta. Este comportamento geral que se verifica em quase todas as experiências, não é visível na experiência 1, em que a concentração de urânio nas plantas aumenta também acentuadamente ao longo de todo o tempo, e na experiência 2, em que se verifica uma pequena diminuição da concentração de urânio nas plantas a partir do sétimo dia.

Ao fim de 30 dias, verificou-se que em todas as experiências houve uma diminuição acentuada da concentração de urânio nos licores. As experiências 3 e 5, foram as que revelaram um maior decréscimo na contaminação de urânio no licor, aproximadamente vinte vezes. Em todas as experiências, o rendimento do processo de descontaminação dos licores, ao fim de 30 dias, ultrapassou os 63%, tendo atingido em algumas valores da ordem dos 95%.

Tabela 6 – Concentração de urânio nos licores (mg/L) e nas plantas (mg/kg) no decorrer dos testes finais de fitorremediação.

Concentração de urânio nos licores (mg/L)						
	Experiência 1	Experiência 2	Experiência 3	Experiência 4	Experiência 5	Experiência 6
Início	3,206	2,856	2,002	1,234	1,096	0,518
7 dias	1,802	1,171	0,928	0,645	0,649	0,284
30 dias	0,493	0,667	0,109	0,451	0,074	0,166

Concentração de urânio nas plantas (mg/kg)						
	Experiência 1	Experiência 2	Experiência 3	Experiência 4	Experiência 5	Experiência 6
Início	0,697	0,697	0,697	0,697	0,697	0,697
7 dias	207,884	270,011	201,476	122,684	113,689	44,171
30 dias	532,838	230,199	264,643	172,545	173,033	57,344

A análise dos resultados obtidos indica que a espécie utilizada tem uma elevada capacidade de *uptake* de urânio em solução, o que se revela uma boa indicação para a sua viabilidade para aplicação na fitorremediação de águas contaminadas com urânio.

O processo desenvolvido e proposto deverá ser melhorado futuramente, nomeadamente no que respeita à influência da adição de ácidos orgânicos fracos na biodisponibilização de outros elementos, para além do estudado, e posterior acumulação pelas plantas, controlo de nutrientes e oxigenação da solução. Por fim, carece de um aspecto de extrema importância, uma aplicação *in situ*.

## 5 – Conclusões

Face aos resultados obtidos na etapa de extração, conclui-se que o ácido cítrico revela um elevado potencial na extração de urânio dos escombros, por percolação, comparativamente com o ácido vulgarmente usado na indústria mineira,  $H_2SO_4$ , aumentando a solubilização deste elemento e potenciando a acumulação deste radionuclídeo pelas plantas. São inúmeras as vantagens da sua utilização, em particular o fato de ser um ácido biodegradável, não promover nem manter a acidez do terreno, contrariamente ao ácido sulfúrico, e ser de baixo custo.

Os resultados obtidos mostram que o ácido cítrico pode desempenhar simultaneamente duas funções, a de lixiviante capaz de dissolver e recuperar o urânio do material de escombros e a de agente quelatante que promove o aumento da biodisponibilidade do urânio, facilitando o processo de acumulação pelas plantas (EBBS *et al.* 1998, HUANG *et al.*, 1998, VANDENHOVE & VAN HEES, 2004).

Para soluções de ácido cítrico a pH 3 obtiveram-se rendimentos de extração do urânio de aproximadamente 75%.

A fitorremediação, nomeadamente a rizofiltração, para a descontaminação de efluentes líquidos contendo urânio pode ser uma alternativa aos processos físico-químicos tradicionais, tendo-se conseguido diminuições significativas da concentração em urânio dos licores, atingindo-se em alguns casos diminuições da ordem dos 95%.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pela FCT (Projecto PTDC/CTE-GEX/66710/2006).

## Referências Bibliográficas

- BARCELÓ, J., POSCHENRIEDER, C. (2003) – Phytoremediation: principles and perspectives. *Contributions to Science*, 2 (3): 333-344. Barcelona.
- EBBS, S.D., BRADY, D.J., KOCHIAN, L.V. (1998) - Role of uranium specification in the uptake and translocation of uranium by plants. *Journal of Experimental Botany*, 49, pp. 1183-1190.
- GHOSH, M. & SINGH, S. P (2005) – A Review on Phytoremediation of heavy metals and utilization of its products. *Applied Ecology and Environmental Research* 3 (1) pp. 1-18. Hungary.
- GOOGLE EARTH. Acedido a 06/02/2012.
- HUANG, J.W., BLAYLOCK, M.J., KAPULNIK, Y. & ENSLEY, B.D. (1998) - Phytoremediation of Uranium-Contaminated soils: Role of organic acids in triggering uranium Hyperaccumulation in plants. *Environ. Sci. Technol.* 32, pp. 2004-2008.
- MATOS DIAS, J.M. & MACHADO DA COSTA, J. M. (1980) – Aspectos geológico-mineiros dos jazigos uraníferos em exploração pela Empresa Nacional de Urânio. *Comum. Serv. Geol. Portugal*, 66. pp. 167-175.
- LOTTERMOSER, B.G. (2003) - *Mine Wastes – Characterization, treatment and environmental impacts.* Verlag Berlin Heidelberg, pp. 3-16.
- PAULO, C.J.F.S. (2006) *Seleção de Plantas Aquáticas e Perspectivas na Fitorremediação de Escorrências Uraníferas.* Dissertação para obtenção de grau de Mestre, Instituto Superior Técnico. pp. 25-29.
- PIVETZ, B. E. (2001) – Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites. *Ground Water Issue. Technology Support Project.* EPA.

PRASAD, M. N. V. & FREITAS, H. M. O. (2003) - Metal hyperaccumulation in plants – Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6, pp. 285-305.

VANDENHOVE, H. & VAN HEES, M. (2004) - Phytoextraction for clean-up of low-level uranium contaminated soil evaluated. *Journal of Environmental Radioactivity*, 72, pp. 41-45.

ESTUDO PRELIMINAR DE FITOMINERAÇÃO UTILIZANDO  
*ALYSSUM SERPYLLIFOLIUM* DESF. SUBSP. *LUSITANICUM* (DUDLEY  
& P. SILVA) EM SOLOS SERPENTINÍTICOS DOS MACIÇOS DE  
BRAGANÇA E DE MORAIS (NORDESTE DE PORTUGAL)

PRELIMINARY STUDIE OF PHYTOMINING USING *ALYSSUM*  
*SERPYLLIFOLIUM* DESF. SUBSP. *LUSITANICUM* (DUDLEY  
& P. SILVA) IN SERPENTINIC SOILS OF BRAGANÇA  
AND MORAIS MASSIFS (NORTHEAST OF PORTUGAL)

I. Morais<sup>2</sup>, J. S. Campos<sup>2</sup>, J. Pratas<sup>1</sup> & F. Pita<sup>1</sup>

**Resumo** – O presente trabalho é um estudo preliminar onde se testa a possibilidade de utilização do *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* como um biominério na fitominação de solos serpentínicos. Esta espécie, endémica dos solos ultrabásicos dos maciços de Bragança e de Morais, é uma hiperacumuladora de Ni, podendo conter mais de 6500 mg/kg (Peso Seco) deste elemento. Pretende-se verificar qual a variabilidade dos teores de Ni contidos na planta em diferentes locais, se é dependente do Ni contido no solo ou na fracção biodisponível. Elaborar uma pré avaliação da biomassa produzida em condições naturais e da quantidade de níquel que se pode retirar por unidade de área. Os resultados obtidos revelam que a sua produção de biomassa média, considerando apenas as partes aéreas, é de cerca de 7,2 t/ha, com um teor médio 0,41% Ni (0,38% de Ni teor ponderado), permitindo retirar cerca de 27,5 kg/ha por colheita, em condições naturais. Considerando a depleção de Ni do solo por sucessivas colheitas verifica-se também que os solos serpentínicos podem ser uma fonte importante para a aplicação da fitominação utilizando esta espécie.

**Palavras-chave** – fitominação, níquel, *Alyssum*, solos serpentínicos, Bragança

**Abstract** – *This paper is a preliminary study where is tested the possibility of using *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* as a bio-ore in phytomining, using serpentinic*

<sup>1</sup> Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra da FCTUC; jpratas@dct.pt; fpita@dct.pt

<sup>2</sup> Departamento de Ciências da Terra da FCTUC; igorbatista3@hotmail.com; joana\_scamos@hotmail.com

soils. This species, endemic to the serpentinic soils of Bragança and Morais massifs, is a Ni hyperaccumulator, and may contain more than 6500 mg/kg (DW) of this element. In this study we intend to verify that the variability of the levels of Ni contained in the plant in different locations, if it is dependent on the Ni contained in the soil or in the bioavailable soil fraction. It also allows develop a pre evaluation of the biomass produced under natural conditions and the amount of nickel that can remove per unit area. The results show that the average production of biomass, considering only the aerial parts is about 7.2 t/ha, with an average grade of 0.41% Ni, allowing withdraw around 27.5 kg/ha per crop, under natural conditions. Considering the depletion of Ni from the soil through successive crops is also found that the serpentine soils may be an important source for the application of phytomining using this plant species.

**Keywords** – phytomining, nickel, *Alyssum*, serpentinic soils, Bragança

## 1 – Introdução

Os solos serpentíníticos, apesar de pouco abundantes, estão dispersos por várias áreas do globo, ocorrendo sobre serpentinitos ou outras rochas ultrabásicas: NW da América, E do Canadá, País de Gales e Escócia, NE de Cuba, Portugal, Itália, Península dos Balcãs, Turquia, Brasil Central, Nova Caledónia, SE da Ásia, Filipinas, Japão, Zimbabué, Nova Zelândia, Moçambique, Timor e cintura de rochas verdes no W da Austrália que representam cerca de 13% do substrato geológico global (Menezes de Sequeira e Pinto da Silva, 1991).

Os ecossistemas dos solos serpentíníticos apresentam distintas comunidades de plantas endémicas (PINTO DA SILVA, 1968; BROOKS, 1987; ARIANOUTSOU *et al.*, 1993; BAKER *et al.*, 1993; ROSS, 1994; REEVES *et al.*, 1996; FREITAS *et al.*, 2004). Estes solos contêm teores desproporcionalmente elevados em Ni, Cr, Co, bem como uma baixa relação Ca/Mg (KRUCKEBERG, 1984; BROOKS, 1987; ADRIANO, 2001). Por esses motivos desenvolve-se sobre eles uma flora característica, tolerante ao excesso de Ni e Cr e que permite suportar o “stress” imposto pelas suas condições geoquímicas específicas. Nestas comunidades serpentíníticas têm-se encontrado espécies hiperacumuladoras de Ni, contendo quantidades muito apreciáveis deste metal nos seus tecidos, com valores superiores a 5000 mg/kg em material seco.

Em Portugal já há algum tempo que se conhece a presença do *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* como sendo uma hiperacumuladora de Ni (MENEZES DE SEQUEIRA, 1968), contudo, poucos estudos têm sido feito sobre a sua fisiologia. BROOKS *et al.* (1981) fizeram testes de germinação em algumas espécies de *Alyssum* e verificaram que o *A. serpyllifolium* germinava bem em solos com concentrações de Ni superiores a 12000 mg/kg.

Esta espécie encontra-se distribuída nos solos serpentíníticos portugueses dos maciços de Morais e Bragança e desenvolve-se sobre serpentinitos e outras rochas ultrabásicas como harzburgitos e dunitos.

Este trabalho tem por objetivos verificar se há variabilidade da distribuição da concentração de Ni no *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* em diferentes locais dos



referidos maciços, se existe uma relação entre a concentração de metal no solo (total ou biodisponível) com a concentração na planta e constituir um estudo preliminar sobre a sua possível utilização em fitominação como formadora de um biominério de níquel. Esta possibilidade poderia permitir a obtenção de algum rendimento de solos de fraca aptidão agrícola e em áreas remotas.

## 2 – Área de Estudo

As duas áreas onde incidu o estudo situam-se no Norte de Portugal, no distrito de Bragança. O maciço de Bragança e Vinhais (A) situa-se mais a norte da área em estudo e localiza-se nos concelhos de Bragança e Vinhais e o maciço de Morais (B) situa-se mais a sul no concelho de Macedo de Cavaleiros (Fig.1).

Geologicamente no maciço de Bragança-Vinhais individualizam-se duas sinformas: a de Vinhais-Vila Boa de Ousilhão-Samil e a de Mofreira-Espinhosela-Braçal, alongadas na direção NW-SE e separadas por uma antiforma (anticlinal de Ladeiro), onde aflora o Alóctone Inferior com xistos verdes, com intercalações de filitos, serpentinitos, flaser gabros, anfibolitos de baixo grau e mármore. O maciço é deslocado por duas grandes falhas a de Bragança-Vilariça, NNE-SSW e a falha de Vinhais-Bragança E-W (Fig.2).

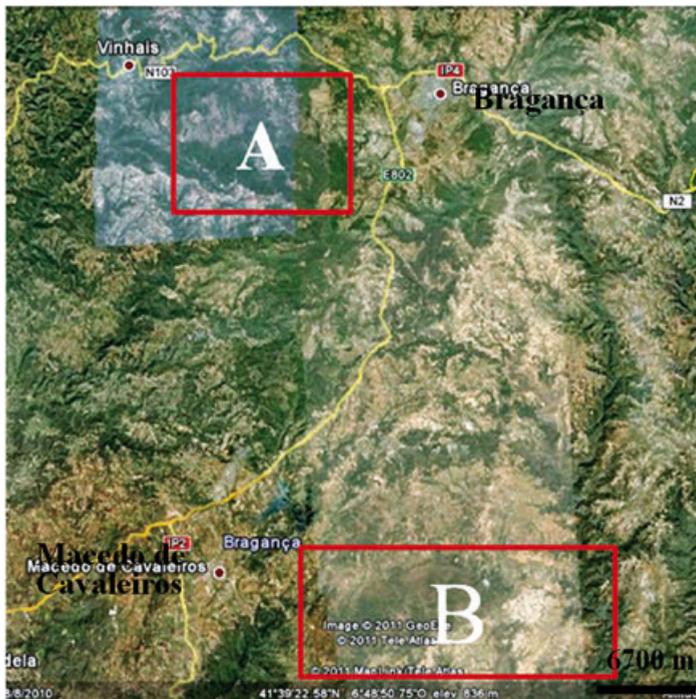


Fig. 1 – Imagem de Google Earth com a localização das áreas em estudo. A- Maciço de Bragança-Vinhais, B- Maciço de Morais (GOOGLE EARTH, 2011).

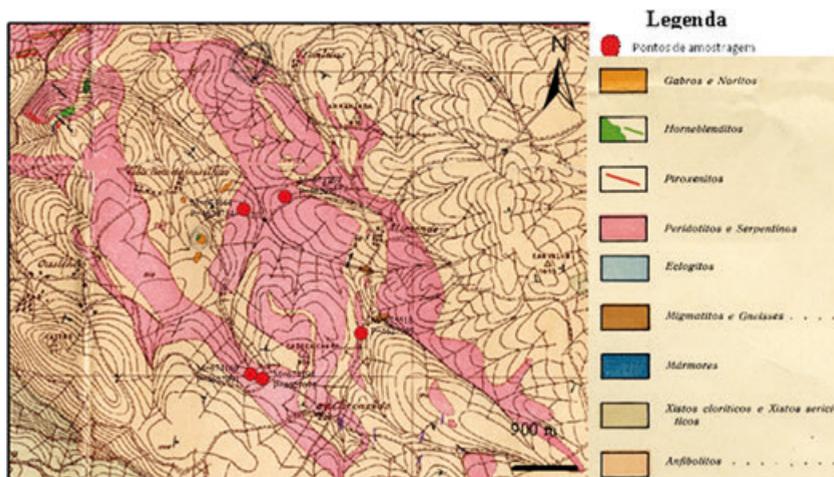


Fig. 2 – Excerto da carta geológica Bragança-Vinhais, 1:50000 (NEIVA, 1948), com a localização dos pontos de amostragem (Coordenadas UTM, WGS84).

O Maciço de Morais tem forma arredondada e é cortado na direção ENE-WSW pela falha de Morais, que é uma falha inversa, mergulhante para N e onde o bloco norte subiu em relação ao bloco sul. O Alóctone Superior é constituído por rochas granulíticas básicas e ultrabásicas, que constituem as unidades de Vinhas e Caminho Velho, ortognaisses ocelados, que se designam por ortognaisse da Lagoa, e por micaxistos, que se designam micaxistos da Lagoa. O complexo Ofiolítico é composto da base ao topo por: peridotitos serpentinizados, gabros melanocráticos, flaser gabros, complexo de dique em dique, anfibolitos e anfibolitos retromorfizados para xistos verdes. No monte de Morais, as rochas ultramáficas suportam cumes elevados e planos do maciço. Em termos petrográficos o maciço ultramáfico é essencialmente constituído por harzburguitos e dunitos (Fig.3).

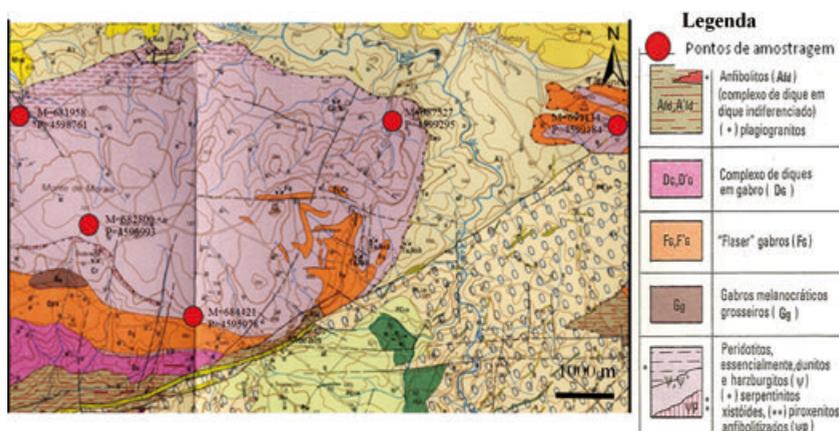


Fig. 3 – Excerto da carta geológica 7-D Macedo de Cavaleiros, 1:50000 (PEREIRA et al., 1998), com a localização dos pontos de amostragem (Coordenadas UTM, WGS84).

### 3 – Materiais e Métodos

A amostragem das duas áreas foi feita de modo aleatório, tendo sido amostrados 10 locais, 5 em cada um dos maciços. A campanha de amostragens foi feita em junho de 2011 e foram recolhidas todas as plantas de *A. serpyllifolium* contidas numa área de cerca de 1 m<sup>2</sup>. Essa colheita incidiu sobre a totalidade da planta, incluindo raiz, sendo posteriormente separadas e tratadas individualmente. Foram depois secas e pesadas para se poder ter um cálculo inicial da biomassa. Nesta mesma área foi feita uma amostragem do solo representativa da mesma área de colheita das plantas.

Cada amostra de solo foi crivada a 80 mesh, homogeneizada e quarteada. As amostras de solos foram digeridas por dois processos: a) em água régia com auxílio de micro-ondas (Microwave 3000 – Anton Par); b) em acetato de amónio para se obter a concentração biodisponível e também com o auxílio do micro-ondas. Em ambos os casos as concentrações de Co, Cr, Cu, Ni e Zn foram determinadas por espectrofotometria de absorção atómica (Thermo Solar M2).

As raízes e partes aéreas das plantas foram moídas separadamente e quarteadas para se retirarem amostras representativas. As análises efetuadas seguiram o método da via húmida, as plantas foram digeridas em ácido nítrico 65% e peróxido de hidrogénio a 30%, com auxílio do micro-ondas, sendo posteriormente determinados os mesmos elementos que para os solos, também por espectrofotometria de absorção atómica. Em todas elas foram efetuadas três réplicas e os valores obtidos considerados como a sua média.

### 4 – Resultados e Discussão

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos para os solos das áreas de estudo. Pela sua análise verifica-se que estes solos apresentam, como é característica dos solos serpentínicos, níveis elevados de Co, Cr e Ni, embora bastante variáveis em termos espaciais. Nesta primeira abordagem, e apesar de ainda não se dispor de uma grande quantidade de dados, verifica-se que os solos do maciço de Morais apresentam uma maior quantidade de Cr relativamente ao maciço de Bragança, enquanto que para os restantes elementos se observa o inverso. Relativamente à biodisponibilidade verifica-se que é maior nos solos do maciço de Morais para Co, Cr e Zn, enquanto que o Cu e Ni se encontram mais biodisponíveis no maciço de Bragança.

Tabela 1 – Resultados analíticos dos solos da área de estudo (resultados expressos em mg/kg; para as plantas expressos em peso seco).

Amostra	Solos (mg/kg)										
	Água régia				Biodisponível						
	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	
Bragança	1	79,3	955	206,2	1240	59,4	1,3	2,0	11,5	65,8	1,3
	2	79,4	597	158,0	1515	86,4	1,3	0,9	5,7	148,2	1,6
	3	150,6	248	73,6	1736	87,4	0,6	1,4	3,5	55,8	0,5
	4	155,1	509	46,9	2814	68,2	2,1	1,1	2,4	86,2	0,3
	5	125,6	507	46,5	2453	75,4	2,8	0,7	3,3	99,3	1,1
	6	161,8	2887	21,7	2462	109,4	2,1	0,9	3,2	77,1	0,7
Morais	7	64,9	1065	36,9	1726	67,2	0,2	1,1	1,2	96,1	0,3
	8	53,9	1831	19,2	867	67,6	1,2	0,5	3,9	48,5	0,6
	9	55,1	642	54,9	1027	74,2	2,4	1,4	4,9	14,4	4,6
	10	84,9	1574	14,2	1454	63,3	3,9	3,7	3,0	56,7	3,1
Bragança											
Média	118,0	563	106,2	1951	75,4	1,6	1,2	5,3	91,1	1,0	
D.p.	37,0	255	72,1	659	12,0	0,8	0,5	3,7	36,2	0,5	
Morais											
Média	84,1	1600	29,4	2507	76,3	2,0	1,5	3,2	58,6	1,9	
D.p.	45,2	853	16,6	633	18,9	1,4	1,3	1,4	30,8	1,9	

Com base nestes dados e efetuando uma análise de correlação múltipla, verifica-se que apenas existe correlação significativa entre as concentrações de Co e Ni total no solo e entre o Cu total e o biodisponível, o que leva a concluir da existência de uma grande discrepância entre o comportamento destes solos, que pode ser devido tanto ao seu grau evolutivo como à diferença litológica da rocha mãe ou mineralogia dos componentes do solo que contêm estes elementos.

Relativamente ao material vegetal; à exceção do Cr, as partes aéreas *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* concentram muito maior quantidade dos elementos analisados que as suas raízes (Tabela 2). Este comportamento poderá estar relacionado com a fraca mobilidade do Cr, relativamente aos restantes elementos. Também se verifica que de um modo global a concentração destes elementos na planta é superior no maciço de Morais.

Comparativamente a valores observados em outras plantas metalotolerantes (PRATAS, 1996; FAVAS *et al.*, 2003; FREITAS *et al.*, 2004; PRASAD *et al.*, 2006), verifica-se que as concentrações de Zn e Cu estão dentro dos valores normais do fundo biogeoquímico, enquanto que para Co e Cr mostram acumulações relativamente elevadas, tal como seria de esperar, em face dos elevados teores encontrados no solo. Relativamente ao Ni, há uma grande capacidade de hiperacumulação contudo bastante variável espacialmente.

Para verificar se existia alguma relação entre as concentrações encontradas no solo e na planta fez-se uma análise de correlação múltipla cujos resultados apenas indicaram a existência de correlação significativa entre o Cr total no solo e na planta e entre o Cu biodisponível e na planta. Também se observou uma correlação significativa entre a concentração de Cr e Ni nas raízes e nas partes aéreas.

Ao contrário do sugerido na literatura (BROOKS, 1983) não se observa uma relação direta entre o teor de Ni no solo ou na fração biodisponível e a concentração de Ni na planta ou na sua raiz, sugerindo que outros fatores interferem no potencial

de hiperacumulação desta espécie, como podem ser a relação Ca/Mg no solo, a disponibilidade de nutrientes, o “stress” hídrico ou a competição entre oligoelementos.

Tabela 2 – Resultados analíticos observados no *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum*. (valores expressos em mg/kg com base em material seco).

		Matéria vegetal (mg/kg DW)									
Amostra		Partes aéreas					Raiz				
		Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Co	Cr	Cu	Ni	Zn
Bragança	1	10,3	7,4	7,4	6248	25,8	2,5	5,4	3,1	1419	19,0
	2	3,1	3,5	2,7	1945	17,0	1,1	4,1	2,7	645	14,2
	3	12,5	2,9	5,1	1541	14,4	9,0	6,6	3,2	518	12,5
	4	3,7	5,9	2,1	3965	11,9	8,4	21,9	3,1	1214	12,4
	5	5,9	3,8	2,3	3713	13,5	1,5	1,6	1,5	604	6,9
	6	7,8	17,1	4,8	4284	39,5	6,4	29,0	1,8	1414	25,3
Morais	7	9,1	6,9	2,3	4372	30,1	6,9	47,1	3,9	2177	27,8
	8	12,2	3,8	4,4	3190	47,1	1,3	13,5	1,7	1129	23,6
	9	9,9	6,0	5,8	4560	27,7	6,2	17,6	5,5	1404	36,8
	10	9,7	19,4	4,5	6633	44,3	12,2	108,7	4,5	2620	31,0
Bragança											
	Média	7,1	4,7	3,9	3482	16,5	4,5	7,9	2,7	880	13,0
	D.p.	4,1	1,9	2,3	1875	5,5	3,8	8,1	0,7	407	4,3
Morais											
	Média	9,7	10,6	4,4	4608	37,8	6,6	43,2	3,5	1749	28,9
	D.p.	1,6	7,1	1,3	1252	8,6	3,9	38,9	1,7	624	5,2

Com base nos valores obtidos de biomassa nos diferentes locais de amostragem para o *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* e nas respectivas concentrações de Ni do mesmo material calculou-se a quantidade de Ni em metal contido nas partes aéreas das plantas por hectare (Tabela 3). Em condições naturais é possível obter entre 4,08t e 9,37t de biomassa por hectare, com teores de Ni que variam de 0,15 a 0,66 %. Verifica-se que a biomassa é mais elevada nos locais amostrados sobre o maciço de Bragança do que sobre o maciço de Morais e inversamente para o teor em níquel. Contudo, esta relação não reflete uma proporcionalidade inversa significativa quando se analisam a totalidade dos locais de amostragem.

Os resultados obtidos também permitem verificar que a produção de Ni em kg por hectare pode variar entre os 12,2 e os 44,0 com uma média de 27,5 kg/ha. Atendendo à cotação atual do níquel (13850 €/t em janeiro de 2012) verifica-se que o valor obtido por hectare e por cada colheita pode variar de cerca de 170€ a 610€, com uma média de 380€. Também se verifica que, apesar da variação de biomassa e teor observada nas amostras das plantas retiradas dos dois maciços, a produção final de metal é similar.

Para verificar a depleção do níquel no solo de modo a termos uma aproximação de uma possível viabilidade dum processo de fitominação sobre estes solos, elaboraram-se os cálculos cujos resultados se apresentam na Tabela 3, tendo por base que o solo terá uma espessura média de 50 cm e ausência de processos pedogénicos que levem à formação de novo solo e à biodisponibilização de Ni.

Com base nos valores aqui obtidos verifica-se que esse solo poderá suportar 5 a 60 culturas, com uma média de 23 culturas, considerando apenas o Ni biodisponível.

Considerando o Ni total presente no solo esse número de culturas variará entre as 211 e as 1067. Estes valores permitem esperar que não haverá problemas de esgotamento do Ni no solo, tanto mais que se está a considerar uma situação extrema, na prática não expectável.

Tabela 3 – Valores da biomassa, níquel bioacumulado e seu valor económico e número de culturas suportadas pelo solo.

	Amostra	Biomassa (kg/ha)	Teor (mg/kg)	Ni metal (kg/ha)	Valor (€/ha)	Ni biodisponível		Ni total	
						kg/ha	nº culturas	kg/ha	nº culturas
Bragança	1	7040	6248	44,0	609	493	11	9299	211
	2	9370	1945	18,2	252	1112	61	11359	623
	3	7920	1541	12,2	169	419	34	13017	1067
	4	8300	3965	32,9	456	647	20	21103	641
	5	7950	3713	29,5	409	745	25	18396	623
	6	8890	4284	38,1	527	578	15	18463	485
Morais	7	5830	4372	25,5	353	721	28	12941	508
	8	7640	3190	24,4	338	364	15	6504	267
	9	5100	4560	23,3	322	108	5	7704	331
	10	4080	6633	27,1	375	425	16	10903	403
Bragança									
	Média	8116	3482	27,4	379	683	30	14635	633
	D.p.	841	1875	12,5	173	271	19	4945	303
Morais									
	Média	6308	4608	27,7	383	439	16	11303	399
	D.p.	1943	1252	6,0	83	231	8	4746	102
Total									
	Média	7212	4045	27,5	381,0	561	23	12969	516
	D.p.	1703	1616	9,2	128,0	270	16	4895	246

#### 4 – Conclusões

Este estudo preliminar sobre o potencial da fitominação nos solos serpentínicos dos maciços de Bragança e Morais, permite concluir que:

- O teor de Ni total no solo e o biodisponível são bastante variáveis em ambos os maciços sendo maior no maciço de Bragança do que no de Morais, contrariamente ao que acontece com o Cr, demonstrando uma diferente composição mineralógica e litológica dos dois maciços.
- Não se observa uma relação de proporcionalidade direta entre as concentrações dos elementos biodisponíveis e totais, com exceção do Cu, o que mostra uma diferente maturação dos solos e composição das rochas adjacentes.
- A hiperacumulação de Ni na planta não é dependente nem da concentração de Ni total no solo nem da fracção biodisponível, existindo outros factores que interferem no potencial de hiperacumulação desta espécie, como podem ser a relação Ca/Mg no solo, a disponibilidade de nutrientes, o “stress” hídrico ou a competição entre oligoelementos.

- A concentração de Ni nas partes aéreas é superiores à das raízes, pelo que em fito-mineração apenas deverão ser utilizadas as partes aéreas. Além disso, e sendo esta espécie perene, poderá possibilitar cortes sucessivos, sem necessidade de sementeira, podendo aumentar em muito o seu potencial de extração em função do tempo.
- Nestas condições naturais a concentração máxima encontrada na planta, expressa em material seco é de cerca de 0.66% Ni e a mínima de 0.15% de Ni tendo como média 0.41% Ni (0.35% no maciço de Bragança e 0.46% no maciço de Morais).
- A biomassa média calculada foi de 7.2 t/ha, com um mínimo de 4.1 t/ha e um máximo de 9.4 t/ha, verificando-se maior produtividade no maciço de Bragança.
- A depleção do elemento no solo não é significativa, mesmo com o estabelecimento de culturas e com a utilização de agentes que promovam a biodisponibilidade de níquel no solo, não incluindo a atividade dos processos pedogénicos na formação de novo solo.
- O quantidade de Ni retirada pela planta apresenta uma média de cerca de 27.5 kg/ha, sendo similar em ambos os maciços, tendo um valor de cerca de 380€, considerando as cotações de aneiro de 2012.

Os resultados preliminares obtidos permitem pensar na utilização de alguns destes espaços como potenciais produtores de Ni utilizando esta espécie endémica. Para tal haverá necessidade de conhecer melhor os mecanismos que levam à acumulação de Ni pelo *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum*, para se poder definir modos de cultivo desta espécie, levando à sua otimização, como a fertilização, a adição de agentes quelatantes, a hibridação ou a clonagem de exemplares, por forma a aumentar o seu potencial de hiperacumulação e produção de biomassa.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pela FCT (Projecto PTDC/CTE-GEX/66710/2006).

## Referências Bibliográficas

- ADRIANO, D.C. (2001) - Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals, second ed. Springer-Verlag, Inc., New York. p. 866.
- ARIANOUTSOU, M., RUNDEL, P.W. & BERRY, W.L. (1993) - Serpentine endemics as biological indicators of soil elemental concentrations. In: Markert, (Ed.), Plants as Biomonitors. Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment. VCH-Publisher, Weinheim, pp. 179–189.
- BAKER, A.J.M., PROCTOR, J. & REEVES, R.D. (Eds.), (1993) - The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils. Intercept Ltd., Andover, UK, 509pp.
- BROOKS, R.R. (1983) - Biological Methods of Prospecting for Minerals, John Willey, New York, 322pp.
- BROOKS, R.R. (1987) - Serpentine and its Vegetation: A Multidisciplinary Approach. Discorides Press, Portland, Oregon. 454 pp.
- BROOKS, R.R., SHAW, S. & MARFIL, A.A. (1981) - Some observations on the ecology, metal uptake and nickel tolerance of *Alyssum serpyllifolium* subspecies from the Iberian peninsula, Plant Ecology, V. 45, 3, 183-188pp
- FAVAS, P., PRATAS, J. & CONDE, L. (2003) - Acumulação de metais pesados e arsénio em solos e plantas das escombreiras e da envolvente das Minas de Vale das Gatas (Sabrosa - Vila Real - Portugal). VI Congresso

Nacional de Geologia, in: Ciências da Terra, Volume V, 96-97, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. CD-Rom H49:H52.

350

FREITAS, H., PRATAS, M.N.V. & PRATAS, J. (2004) - Analysis of serpentinophytes from north-east of Portugal for trace metal accumulation - relevance to the management of mine environment, *Chemosphere*, 54, 11, 1625-42.

PEREIRA E., RIBEIRO, A. & SILVA, N. (1998) - Carta geológica de Portugal na escala 1:50000, folha 7-D Macedo de Cavaleiros. Serviços Geológicos de Portugal

GOOGLE EARTH. Acedido a 1/12/2011

KRUCKEBERG, A.R. (1984) - California serpentines: flora, vegetation, geology, soils and management problems. University of California Press, Berkeley, CA.

MENEZES DE SEQUEIRA, E. (1968) - Toxicity and movement of heavy metals in serpentinic soils (north-eastern Portugal), *Agronomia Lusitana*, 30, 2, 115-154.

MENEZES DE SEQUEIRA, E. & PINTO DA SILVA, A.R. (1991) - The ecology of serpentinized areas of north-east Portugal, in: Roberts, B.A., Proctor, J. (Eds.), *The Ecology of Areas with Serpentinized Rocks. A World Review*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 169-197.

NEIVA, J.M.C. (1948) - Rochas e minérios da região Bragança-Vinhais. PhD Thesis. Universidade de Coimbra.

PINTO DA SILVA, A. R. (1968) - A flora e a vegetação das áreas ultrabásicas do Nordeste Transmontano, *Agronomia Lusitana*, 30, 3-4, 175-364.

PRASAD, M.N.V., FREITAS, H. & PRATAS, J. (2006) - Trace elements in plants and soils of abandoned mines from Portugal: significance for phytomanagement and biogeochemical prospecting, in: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S. and Ravi Naidu (Eds.), 2005, *Trace Elements in the Environment: Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation*, CRC Press, USA., 507-521.

PRATAS, J.A.M.S. (1996) - Aplicações de Prospecção Biogeoquímica - selecção de espécies bioindicadoras em algumas áreas mineiras de Portugal, 3 volumes, PhD Thesis, Universidade de Coimbra, 1064.

REEVES, R.D., BAKER, A.J.M., BORHIDI, A. & BERAZAIN, R. (1996) - Nickel-accumulating plants from the ancient serpentine soils of Cuba. *New Phytologist* 133, 217-224.

ROSS, S.M. (Ed.), (1994) - *Toxic Metals in Soil and Plant Systems*. Wiley, Chichester, UK.



## BIOACUMULAÇÃO DE URÂNIO EM PLANTAS AQUÁTICAS NA REGIÃO DA HORTA DA VILARIÇA (NE DE PORTUGAL)

### URANIUM BIOACCUMULATION BY AQUATIC PLANTS IN THE REGION OF HORTA DA VILARIÇA (NE PORTUGAL)

C. Cordeiro<sup>1</sup>, P. J. C. Favas<sup>1,3</sup> & J. Pratas<sup>2,3</sup>

**Resumo** – Este estudo centra-se na capacidade de bioacumulação de urânio (U) em plantas aquáticas da região uranífera da Horta da Vilariça. Selecionaram-se 15 pontos de amostragem para recolha de amostras de água, sedimentos e plantas aquáticas. Nas águas verificou-se o teor médio em U de 1,98 µg/L (mínimo de 0.6 µg/L, máximo de 5,56 µg/L). Os sedimentos apresentam uma média em U de 3929,2 µg/kg (mínimo de 123,5 µg/kg, máximo de 23909,5 µg/kg). Foram amostradas 26 espécies de plantas aquáticas, num total de 199 amostras. Comparando os teores de U na água e nas plantas, podemos afirmar que a maioria das plantas exibem grande capacidade para concentrar U. As plantas que apresentam maiores teores de U, em média, são: *Scorpiurium deflexifolium* (34205,0 µg/kg), *Fontinalis antipyretica* (25612,4 µg/kg), *Nasturtium officinale* – zona radicular (7380,1 µg/kg) e *Roripa sylvestris* – zona aérea (7280,5 µg/kg). Apenas *Nasturtium officinale*, *Eleocharis palustris*, *Mentha pulegium* e *Mentha rotundifolia* têm capacidade de concentrar U nas raízes. A planta *Roripa sylvestris* apresenta um teor médio de U superior na zona aérea face à zona radicular, revelando capacidade de translocação e de bioacumulação. Os valores do fator de bioconcentração (concentração na planta/concentração na água) mais elevados correspondem a 23919,6 para *Scorpiurium deflexifolium*, 16418,2 para *Fontinalis antipyretica*, 5125,1 para *Nasturtium officinale* – zona radicular e 4282,4 para *Roripa sylvestris* – zona aérea.

**Palavras-chave** – Bioacumulação, Translocação, Urânio, Plantas aquáticas

<sup>1</sup> Escola de Ciências da Vida e do Ambiente, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal; CGACordeiro@sapo.pt; pjcf@utad.pt

<sup>2</sup> Dep. de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra; jprat@det.uc.pt

<sup>3</sup> Centro de Geociências, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

**Abstract** – This study focuses on the bioaccumulation capacity of uranium (U) by aquatic plants in Horta da Vilarça, the uraniumiferous region. We selected 15 sampling points with sampling of water, sediments and aquatic plant. The water contain U, with a median of 1.98 µg/L (minimum 0.6µg/L, maximum 5.56µg/L). The sediments have a median of 3929.2µg/kg (maximum 23909.5µg/kg and minimum 123.5µg/kg). We collected 26 species of aquatic plants, totaling 199 samples. Comparing U levels in the water and U in plants, we concluded that these plants exhibit great ability to concentrate U. Plants with higher U levels, on median, are *Scorpiurium deflexifolium* (34205.0 µg/kg), *Fontinalis antipyretica* (25612.4 µg/kg), *Nasturtium officinale* – root zone (7380.1 µg/kg) and *Roripa sylvestris* – aerial zone (7280.5 µg/kg). Only *Nasturtium officinale*, *Eleocharis palustris*, *Mentha rotundifolia* and *Mentha pulegium* have the ability to concentrate U in the roots. The plant *Roripa sylvestris* has a higher median content of U in the air zone over the root zone, showing ability to translocation and bioaccumulation. The highest values of bioconcentration factor (concentration in plant/concentration in water) are 23919.6 (*Scorpiurium deflexifolium*), 16418.2 (*Fontinalis antipyretica*), 5125.1 (*Nasturtium officinale* – root zone) and 4282.4 (*Roripa sylvestris* – aerial parts).

**Keywords** – Bioaccumulation, Translocation, Uranium, Aquatic plants

## 1 – Introdução

Na região estudada está reconhecido um importante jazigo de urânio, onde foram realizados estudos de prospecção geológica (PIRES & VINTÉM, 1987), mas nunca foi objeto de exploração. Este jazigo favorece a transferência de quantidades muito significativas de radionuclídeos, integrados na cadeia de decaimento daquele elemento radioativo, para as águas de circulação. As atividades dos isótopos de U, do gás radão e, localmente, do  $^{226}\text{Ra}$  são particularmente elevadas, atingindo, em especial o U, valores verdadeiramente excepcionais para águas que circulam em rochas graníticas e metassedimentares integradas no Maciço Hespérico (PEREIRA *et al.*, 2010). Em ambientes aquáticos com pH ácido (pH<4) o U (VI) surge predominantemente sobre a forma de ião uranilo ( $\text{UO}_2^{2+}$ ); sob condições próximos da neutralidade (pH=7) apresenta uma elevada facilidade em precipitar; para um intervalo de  $4 < \text{pH} < 7$ , o U (VI) surge sobre a forma de iões hidrolizados, tal como  $\text{UO}_2\text{OH}^+$ ,  $(\text{UO}_2)_2(\text{OH})_2^{2+}$  e  $(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_5^+$  (WANG *et al.*, 2010).

A bioacumulação de metais pesados em plantas aquáticas ocorre através de alguns processos bioquímicos nomeadamente por absorção, adsorção ou outros mecanismos de retenção de metais (bioacumulação em sentido lato) (e.g., VOLESKY & HOLAN, 1995; RAIZE *et al.*, 2004; GADD, 2009; SRIVASTAK *et al.*, 2010). Recentemente o estudo da fitorremediação de metais pesados tem dado uma grande relevância aos processos executados em meios ou ecossistemas aquáticos ou semi-aquáticos. Neste contexto, interessam essencialmente os processos de rizofiltração e fitofiltração, que utilizam plantas aquáticas ou semiaquáticas e algas com a finalidade de absorver, do meio aquoso, contaminantes e retê-los nos seus sistemas radiculares ou órgãos submersos, ou translocá-los para as partes aéreas no caso das plantas emersas (e.g., CARDWELL *et al.*, 2002; ERNST, 2005; PENG *et al.*, 2008; STOUT & NÜSSLEIN, 2010; PRATAS *et al.*, 2012).

O trabalho realizado na Horta da Vilarça (NE de Portugal) teve como principal finalidade estudar a capacidade de bioacumulação de urânio (U) pelas plantas aquáticas da região.

## 2 – Localização e geologia

A região onde se desenvolveu este estudo (Horta da Vilarça) localiza-se no Nordeste (NE) de Portugal e pertence ao Concelho de Torre de Moncorvo, Distrito de Bragança, província de Trás-os-Montes (fig. 1).

Na região da Vilarça, principalmente entre Eiras das Hortas e Horta da Vilarça, no contacto entre as rochas metassedimentares do Grupo do Douro e os granitos hercínicos, ocorrem filões de quartzo leitoso e fumado com minerais secundários de urânio. Nos granitos, há alguns filões de quartzo paralelos ao contacto e, entre eles, numerosas vénulas lenticulares anastomosadas de quartzo leitoso e fumado, a que, com frequência se associam jaspe e/ou calcedónia. Forma-se assim uma rede de tipo “stockwork” que, na Horta da Vilarça, tem orientação geral WNW-ESE (NEIVA, 2003). Nas áreas onde há “stockwork”, como na Horta da Vilarça, há importante disseminação de minerais supergénicos uraníferos, como neopecheblenda pulverulenta, fosfatos (autunite, torbernite, uranocircite, saleíte, sabugalite e fosfuranilite), silicatos (uranófana  $\alpha$  e  $\beta$ ), sulfatos (uranopilite e zipeíte), arseniatos (zeunerite, uranospinite, novacequite) e outros (NEIVA, 2003; PEREIRA *et al.*, 2010).

353

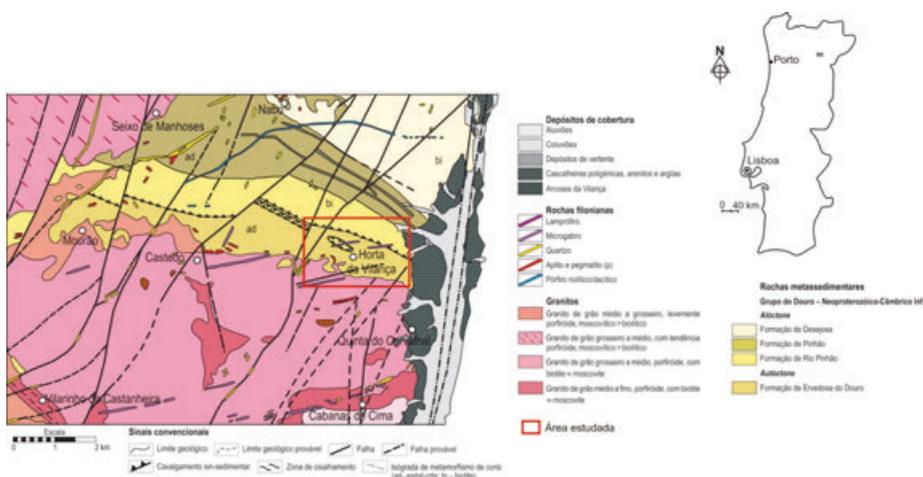


Fig. 1 - Localização geográfica e enquadramento geológico da região estudada. Excerto da folha 11-C (Torre de Moncorvo) da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50000 (adaptado de TEIXEIRA, 2008).

## 2 – Metodologia

### 2.1 – Trabalho de campo

Durante o trabalho de campo foi feito o reconhecimento geológico da região e foram amostrados filões e rochas na zona da Horta da Vilarça, nos locais onde foram feitos os trabalhos de prospecção referidos. Inventariaram-se as linhas e pontos de água da área

envolvente e definiram-se os pontos de amostragem de água, sedimentos e material vegetal. Aquando da amostragem, procedeu-se à medição de alguns parâmetros físico-químicos das águas, tais como pH, condutividade eléctrica (CE) e temperatura, com o auxílio de aparelhos electrónicos digitais de medição multiparamétrica e as espécies carbonatadas ( $\text{HCO}_3^-$ ), por titulação. Em cada ponto, colheram-se amostras de água, em frascos de polietileno, tendo sempre o cuidado de efetuar uma lavagem prévia com água destilada e de seguida com a água do local a amostrar, de sedimentos, guardados em sacos de plástico e de todas as espécies de plantas aquáticas existentes no local, guardadas também em sacos de plástico.

## 2.2. – Tratamento das amostras

As plantas foram lavadas com água destilada de modo a eliminar alguns resíduos e impurezas. O material vegetal foi seco naturalmente, num local arejado, cerca de quatro semanas. Antes da moagem das amostras, em algumas das espécies separou-se a parte radicular da parte aérea. O material foi então moído a fim de homogeneizar a amostra.

As amostras de sedimentos foram secas em estufa a uma temperatura constante de 40 °C e, posteriormente, crivadas através de um peneiro com malha de 2 mm e, seguidamente, crivadas abaixo de 250 µm.

## 2.3 – Métodos analíticos

As amostras de água foram sujeitas a processos analíticos para detecção de elementos maiores e vestigiais, no Departamento de Química da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, à exceção do urânio que foi analisado no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. Os métodos analíticos aplicados foram os seguintes: a) cromatografia aniónica de elevada eficiência (HPAEC) para o fluoreto, o cloreto, o nitrito, o nitrato, o fosfato, o brometo e o sulfato; b) espectrofotometria de absorção molecular para o ferro; c) espectrofotometria de absorção atómica com câmara de grafite para o arsénio, o cádmio, o chumbo, o manganês, o cobre, o níquel, o cobalto, o zinco, o cálcio e o magnésio; d) espectrofotometria de emissão atómica para o sódio e o potássio; e) fluorimetria para o urânio. Nas amostras de plantas e sedimentos foram analisados os teores em U aplicando também o método fluorimétrico. A fluorescência consiste na emissão imediata de luz por uma molécula que tenha absorvido radiações. A metodologia adotada para a determinação de U em plantas, sedimentos e água baseia-se no método descrito por VAN LOON (1989). Este método consiste numa técnica de extração que permite a remoção selectiva dos iões de urânio, maximizando a intensidade de fluorescência da solução final.

## 3 – Resultados e discussão

As amostras de água são de fácies hidroquímica bicarbonatada sódica, pouco mineralizadas, pois apresentam baixa condutividade; os valores de pH situam-se próximos da neutralidade (tabela 1). São águas que contêm algum teor em U, muito variável, com média de 1,98 µg/L.

Tabela 1 - Valores estatísticos dos parâmetros analisados nas amostras de água (n = 15; d.p. – desvio padrão; Máx. – máximo; Mín. – mínimo).

Parâmetros	Média	d.p.	Máx.	Mín.
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	127,43	81,82	274,00	24,60
Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	18,83	2,10	24,80	16,60
pH	7,22	0,79	8,57	6,08
F <sup>-</sup> (mg/L)	0,22	0,23	1,00	0,06
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	69,77	31,93	146,40	36,60
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	6,89	6,99	22,50	0,30
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	1,37	0,73	2,60	0,30
Br (mg/L)	0,01	0,01	0,04	0,00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,77	1,88	7,70	0,01
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0,14	0,23	0,95	0,00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	6,11	5,78	18,70	0,04
Ca (mg/L)	4,30	3,34	11,10	0,49
Fe (mg/L)	162,19	189,81	617,00	22,00
Mg (mg/L)	3,79	3,38	11,20	0,10
K (mg/L)	1,79	0,65	3,50	1,10
Na (mg/L)	15,59	7,33	31,60	6,70
As ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	4,83	3,59	14,00	0,52
Cu ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	1,49	1,26	6,00	0,54
Zn ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	17,25	6,32	33,00	8,00
Cr ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0,19	0,14	0,53	0,05
Mn ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	30,88	25,89	107,00	5,00
U ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	1,98	1,34	5,56	0,61

As amostras de sedimentos apresentam teores muito variáveis de U (tabela 2). Com um valor máximo de 23909,49  $\mu\text{g}/\text{kg}$  e um mínimo de 123,48  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

Tabela 2 – Valores estatísticos dos parâmetros analisados nas amostras de sedimentos (n = 15; d.p. – desvio padrão; Máx. – máximo; Mín. – mínimo).

Sedimentos	Média	d.p.	Máx.	Mín.
U ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	3929,22	5958,69	23909,49	123,48

As 26 espécies de plantas colhidas, nos 15 pontos de amostragem, perfazem um total de 199 amostras. As amostras de plantas apresentam todos teores significativos de U nos seus tecidos (tabela 3). Aquelas que apresentam maiores teores de U, em média, são: *Scorpiurium deflexifolium*, *Fontinalis antipyretica*, *Nasturtium officinale* (zona radicular) e *Roripa sylvestris* (zona aérea).

Tabela 3 - Valores estatísticos para o U nas diferentes espécies de plantas (d.p. – desvio-padrão; Máx. – máximo;

Min. – mínimo).

356

U na planta (µg/kg)	Média	d.p.	Máx.	Mín.
<b><i>Fontinalis antipyretica</i></b>	25612,40	8980,23	35770,77	18730,43
<i>Cyperus longus (zona aérea)</i>	359,52	365,89	1415,30	9,07
<i>Cyperus longus (zona radicular)</i>	1926,86	1516,83	5014,43	174,91
<i>Juncus effusus</i>	112,02	155,17	290,50	9,16
<i>Oenanthe crocata (zona aérea)</i>	659,43	765,61	2105,92	1,19
<i>Oenanthe crocata (zona radicular)</i>	4261,11	6771,04	17806,53	174,67
<b><i>Scorpiurium deflexifolium</i></b>	34205,03	21827,38	49639,32	18770,75
<i>Lemanea fluviatilis</i>	3318,44	2993,82	8967,34	627,43
<i>Lotus uliginosus</i>	1416,89	1288,58	2788,75	232,02
<i>Callitriche stagnalis</i>	3598,36	3365,81	9041,57	1042,54
<i>Mentha rotundifolia (zona aérea)</i>	605,25	569,12	1460,44	18,52
<i>Mentha rotundifolia (zona radicular)</i>	2400,09	3106,10	8429,10	286,79
<i>Lemna minor</i>	1024,27	1189,82	2988,33	182,14
<i>Brachythecium plumosum</i>	2786,12	2473,71	6316,97	2,16
<i>Fontinalis squanosa</i>	3520,93	2769,54	5479,29	1562,58
<i>Ranunculus penicillatus</i>	1368,08	1176,12	3390,50	283,77
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	1761,88	1568,97	4035,20	99,78
<b><i>Roripa sylvestris (zona aérea)</i></b>	7280,16	14853,00	33836,60	14,44
<i>Roripa sylvestris (zona radicular)</i>	481,46	799,64	1404,80	16,59
<i>Callitriche lusitanica</i>	1303,62	1127,78	2595,32	514,54
<i>Apium nodiflorum (zona aérea)</i>	185,25	143,26	378,30	18,04
<i>Apium nodiflorum (zona radicular)</i>	1985,74	1415,34	4299,32	453,22
<i>Juncus conglomeratus</i>	462,44	855,84	1983,14	6,48
<i>Cyperus eragrostis (zona aérea)</i>	73,34	64,97	197,59	9,12
<i>Cyperus eragrostis (zona radicular)</i>	1213,07	932,20	2894,13	5,82
<i>Thypha latifolia (zona aérea)</i>	91,66	125,53	279,07	15,69
<i>Thypha latifolia (zona radicular)</i>	902,32	1375,43	2486,79	15,72
<i>Mentha pulegium (zona aérea)</i>	161,58	206,38	307,51	15,65
<i>Mentha pulegium (zona radicular)</i>	277,39	214,05	428,74	126,04
<i>Ranunculus peltatus (zona aérea)</i>	310,03	74,77	362,90	257,16
<i>Ranunculus peltatus (zona radicular)</i>	4289,82	329,42	4522,76	4056,89
<i>Lythrum salicaria</i>	14,92	11,62	29,53	4,16
<i>Eleocharis palustris (zona aérea)</i>	121,51	175,04	323,61	18,56
<i>Eleocharis palustris (zona radicular)</i>	2052,64	2955,59	5463,32	242,70
<i>Nasturtium officinale (zona aérea)</i>	1434,33	751,19	1965,51	903,16
<b><i>Nasturtium officinale (zona radicular)</i></b>	7380,12	5112,63	10995,30	3764,94

Comparando os teores médios de U nas plantas e no meio aquático onde se desenvolveram, verifica-se que todas as plantas têm grande capacidade de concentrar U nos seus tecidos. No caso das plantas com zona radicular e aérea, ao comparar a média do teor de U, verificamos que *Roripa sylvestris* apresenta um teor médio de U superior na zona aérea face à zona radicular, o que revela capacidade de translocação para as partes aéreas e bioacumulação nesses tecidos (tabela 3).

O *uptake* relativo de um dado elemento, por uma espécie de planta, pode ser estudado a partir do fator de bioconcentração (FBC) que estabelece a relação entre o teor médio do elemento na planta e o teor médio do elemento no substrato (e.g., BROOKS, 1983; PRATAS *et al.*, 2012). Os efeitos dos elementos não essenciais, como o U, no desenvolvimento de uma planta traduzem-se numa curva de dose-resposta, que para o elemento estudado terão apenas duas fases: tolerância ou toxicidade. As espécies que exibem uma capacidade de tolerância, e que se desenvolvem adaptando-se às condições, que naturalmente seriam adversas, sobrevivendo, podem ser espécies concentradoras ou exclusoras (PRATAS *et al.*, 2005; PAULO, 2006). Os valores do FBC mais elevados, para as plantas estudadas, correspondem a 23919,6 para *Scorpiurium deflexifolium*, 16418,2 para *Fontinalis antipyretica*, 5125,1 para *Nasturtium officinale* – zona radicular e 4282,4 para *Roripa sylvestris* – zona aérea.

#### 4 – Conclusões

Pode concluir-se que existem teores em U com alguma relevância no ambiente natural da Horta da Vilarça. Atendo ao teores em U nas águas superficiais, as plantas locais revelam grande capacidade de concentrar U nos seus tecidos, destacando-se pelos teores médios de U e pelo FBC as espécies *Scorpiurium deflexifolium*, *Fontinalis antipyretica*, *Nasturtium officinale* – zona radicular e *Roripa sylvestris* – zona aérea. No entanto, não podemos excluir as outras plantas estudadas, pois todas revelam teores em U, nos seus tecidos, sempre em quantidades significativamente superiores às da água onde se desenvolvem. Salienta-se, ainda, que *Roripa sylvestris* apresenta um teor médio de U superior na zona aérea face à zona radicular, o que revela capacidade de translocação para as partes aéreas e bioacumulação nesses tecidos.

Na sequência dos resultados obtidos com estudo aqui apresentado, foram construídos protótipos laboratoriais de fitossistemas de fitofiltração de águas contaminadas, utilizando as plantas com maior potencial. Estes ensaios permitiram já obter um grande número de dados, que se encontram em fase de tratamento e interpretação, nomeadamente, para determinação da cinética de acumulação para cada espécie estudada e verificação dos níveis de toxicidade.

#### Referências Bibliográficas

- BROOKS, R.R. (1983) *Biological methods of prospecting for minerals*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- CARDWELL, A. J.; HAWKER, D. W. & GREENWAY, M. (2002). Metal accumulation in Aquatic Macrophytes from Southeast Queensland, Australia. *Chemosphere*, 48: 653-663.
- ERNST W. H. D. (2005). Phytoextraction of mine wastes-options and impossibilities. *Chemie der Erde Geochemistry*, 65 (S1): 29-42.

- GADD, G.M. (2009). Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *J Chem Technol Biotechnol*. 84: 13-28.
- NEIVA, J.M. (2003). Jazigos Portugueses de Minérios de Urânio e sua Génese. A Geologia de Engenheiros e os Recursos Geológicos. Coimbra – Imprensa da Universidade. *Geologia de Engenharia* 1: 15-76.
- PAULO, C. (2006). Selecção de plantas aquáticas e perspectivas de fitorremediação de escorrências uraníferas. *Tese de Mestrado*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- PENG, K.; LUO, C.; LOU, L. & LI, X.; SHEN, Z. (2008). Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. And their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 392: 22-29.
- PEREIRA, A.J.S.C.; PINTO, P.G.N.; NEVES, L.J.P.F. & COSTA, M.R.M. (2010). Avaliação dos níveis de radioactividade natural em águas subterrâneas da região da Horta da Vilarça (Norte de Portugal). VIII Congresso Nacional de Geologia 2010. *Revista electrónica de Ciências da Terra*, 14, n.º 5.
- PIRES M.A.R. & VINTÉM, C. M. S. (1987). Relatório de Execução do Plano de Sondagens nº 146 – Horta da Vilarça. *Relatório Inédito do Serviço de Fomento Mineiro*, Lisboa, 66 pp.
- PRATAS, J.; FAVAS, P.J.C.; PAULO, C.; RODRIGUES, N. & PRASAD, M.N.V. (2012). Uranium Accumulation by Aquatic Plants From Uranium-Contaminated Water in Central Portugal. *International Journal of Phytoremediation*, 14: 221-234
- PRATAS, J.; PRASAD, M.N.V.; FREITAS, H. & CONDE, L. (2005). Plants growing in abandoned mines of Portugal are useful for biogeochemical exploration of arsenic, antimony, tungsten and mine reclamation. *J. Geochem Explor*. 85:99-107.
- RAIZE, O.; ARGAMAN, Y. & YANNAI, S. (2004). Mechanisms of biosorption of different heavy metals by brown marine macroalgae. *Biotechnol Bioeng*. 87: 451-458.
- SRIVASKA, S.; BHAINSA, K. C. & D'SOUZA, S. F. (2010). Investigation of uranium accumulation potencial and biochemical responses of an aquatic weed *hydrilla verticillata* (L.J.) royle. *Bioresource Technology*, 101: 2573-2579.
- STOUT, L., & NÜSSLEIN, K. (2010). Biotechnological potential of aquatic plant-microbe interactions. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 21: 339-345.
- TEIXEIRA, R. J. (2008). Mineralogia, petrologia e geoquímica dos granitos e seus enclaves da região de Carrazeda de Ansiães. *Tese de Doutoramento*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 463pp.
- VAN LOON, J. C. & BAREFOOT, R. R. (1989). Analytical Methods for Geochemical Exploration. *Academic Press, inc*, 316-317.
- VOLESKY, B. & HOLAN, Z. R. (1995). Biosorption of heavy metals. *Biotechnol Prog*. 11: 235-250.
- WANG J.; HU, X.; WANG, J.; BAO, Z.; XIE, S. & YANG, J. (2010). The tolerance of *Rhizopus arrhizus* to U (VI) and biosorption behaviour of U (VI) onto *R. arrhizus*. *Biochem Eng. J*. 51: 19-23.



## APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA MINEIRA NA SEPARAÇÃO DE PLÁSTICOS PARA RECICLAGEM

### MINERAL PROCESSING TECHNIQUES IN THE SEPARATION OF PLASTICS FOR RECYCLING

F. Pita<sup>1</sup>, N. Rodrigues<sup>1</sup> & A. Castilho<sup>1</sup>

**Resumo** – A generalidade dos processos de beneficiação de minérios é antiga, baseia-se nas propriedades dos minerais a separar e têm permitido beneficiar todo o tipo de minérios. Os plásticos constituem o terceiro constituinte mais importante dos resíduos sólidos urbanos (RSU), contribuindo com cerca de 10% do seu peso e cerca de 20% do seu volume. Embora os plásticos sejam largamente utilizados, consequência das suas excelentes propriedades, eles são maus de reciclar porque são difíceis de separar entre si.

Neste trabalho compara-se a separação por jigagem e por flutuação por espumas de três misturas de plásticos (PS/PMMA, PS/PET e PS/PVC), contribuindo cada um com 50%, e analisa-se a influência do calibre e forma das partículas.

Para a mistura PS/PMMA a qualidade da separação melhora com o aumento do calibre das partículas nos dois processos. Para os lotes inferiores a 2,8 mm a jigagem permitiu obter melhores resultados que a flutuação, mas para as frações grosseiras os dois processos conduziram a separações com qualidade semelhante.

A mistura PS/PET apresenta os piores resultados e ambos os processos conduziram a qualidades semelhantes, não sendo evidente a influência do calibre, como consequência do efeito da forma lamelar das partículas de PET.

Para a mistura PS/PVC a flutuação por espumas apresenta melhores resultados do que a jigagem. A qualidade de separação melhora com o aumento do calibre das partículas.

A jigagem e a flutuação por espumas têm potencialidades para poderem ser utilizados como métodos de separação de plásticos.

**Palavras-chave:** Plásticos; jigagem; flutuação por espumas; calibre das partículas.

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciências da Terra da FCTU, Centro de Geociências; fpita@dct.pt

**Abstract** – *The generality of the mineral processing techniques are ancient and they are based on different properties of minerals to separate. Plastics are the third most important component of municipal solid waste (MSW), contributing about 10% of its weight and about 20% of its volume. Although plastics are widely used, because of its excellent properties, they are bad to recycle because they are difficult to separate from each other.*

*In this work jigging and froth flotation separation of three bi-component plastics mixtures (PS/PMMA, PS/PET and PS/PVC) is compared. The effect of the particle sizes was studied in five grain-size fractions.*

*The quality of the separation by jigging and by froth flotation varies with the plastic mixture and depends on particle size.*

*For a PS/PMMA mixture, the quality of the separation by the two processes improves with particle size. Grain-size fractions lower than 2.8 mm have better results by jigging separation than by froth flotation. In the coarser fractions the two processes led to separations with the same quality.*

*PS/PET mixture presents the worst results of the three mixtures. The two processes led to similar separations. The influence of particle size in the two separation processes was not noticeable, because of the effects of PET particles shape.*

*In the PS/PVC mixture the froth flotation presents better results than the jigging process. This mixture presented also the best results. The jigging separation improves with particle size.*

*Jigging and froth flotation have proved to be reliable methods for the separation of plastics.*

**Keywords:** *Plastics; jigging; froth flotation; particle size.*

## 1 – Introdução

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) constituem uma preocupação ambiental mundial, pois se não forem corretamente tratados provocam a degradação do ambiente e têm efeitos diretos e indiretos na saúde. Porém, para o cidadão comum o problema dos resíduos acaba a partir do momento em que os colocam no contentor coletivo. Nada mais falso, pois começa ali um conjunto de preocupações e de problemas para as entidades responsáveis pela gestão dos RSU.

A correta gestão dos RSU deve obedecer a uma hierarquia de princípios, desde a redução da produção, a reutilização, a reciclagem, a valorização, a destruição e a sua colocação em aterro. A reciclagem é um excelente método de poupança de recursos quando não for possível assegurar a reutilização dos produtos ou, melhor ainda, evitar a produção do resíduo. Mas há algumas limitações ao seu êxito, nomeadamente a separação eficaz dos diferentes tipos de constituintes dos resíduos.

O crescimento demográfico das últimas décadas, a concentração da população nos grandes centros urbanos, a alteração dos hábitos de consumo e o desenvolvimento económico e industrial, têm conduzido à produção de elevadas quantidades de resíduos. Em Portugal a produção de RSU tem aumentado cerca de 3% ao ano. Em 2010 a produção foi 5 183 569 toneladas, correspondendo a uma capitação de 1,4 kg/habitante.dia. Naquele ano, 64,3% dos resíduos foram colocados em aterro, 18% sofreram valorização energética, 7,6% sofreram valorização orgânica e 10,1% foram reciclados.

Nas últimas décadas os plásticos adquiriram uma grande importância no dia-a-dia, contribuindo para a melhoria do nível de vida das pessoas. A sua ampla utilização nos mais diversos fins resulta da sua versatilidade e excelentes propriedades. Em Portugal a contribuição dos plásticos nos RSU é de 10% em peso, representado cerca de 20% do seu volume.

Ao longo do tempo os plásticos ganharam uma reputação negativa, dada a dificuldade de se decompor. Porém, tal como a maioria dos constituintes dos RSU também os plásticos podem ser valorizados através da sua reciclagem. Mas para serem reciclados eles têm de ser separados dos restantes constituintes e também têm de ser separados entre si, o que constitui uma dificuldade.

Com o objetivo de facilitar a separação de misturas de plásticos através da utilização de meios mecânicos, têm vindo a ser desenvolvidos estudos com vista à aplicação de técnicas de separação utilizadas na indústria mineira (SHEN *et al.*, 1999, 2001, 2002; SHIBATA *et al.*, 1996, FERRARA, 2000; AGANTE *et al.*, 2004; FRAUNHOLCZ, 2004; TSUNEKAWA, 2005; DODBIBA *et al.*, 2005; PASCOE, 1999, 2006; ITO *et al.*, 2010; KANGAL, 2010; GENT *et al.* 2009, 2011; KUWAYAMA, 2011). Com efeito, muitas dessas técnicas estão perfeitamente desenvolvidas e são testadas em larga escala desde há muito tempo, como os processos de separação hidrogravítica (mesas, meios densos, jigagem, hidrociclones), que se baseiam em diferenças de densidade; o processo de flutuação por espumas, que se baseia na hidrofobicidade das partículas, e os processos elétricos, que se baseiam nas propriedades elétricas dos materiais a separar.

No presente estudo aplicam-se duas destas técnicas (jigagem e flutuação por espumas) à separação de três misturas de plásticos. Simultaneamente faz-se também a análise da influência do calibre e da forma das partículas.

## 2 – Materiais e Métodos

Para este estudo utilizaram-se quatro tipos de plástico: PS (Poliestireno), PMMA (Polimetil metacrilato) PET (Polietileno tereftalato) e PVC (Policloreto de vinilo), cujas densidades são representadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Densidade dos plásticos utilizados.

Tipos de plástico	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
PS	1047
PMMA	1204
PET-S	1372
PVC-M	1326

De modo a verificar a influência do calibre das partículas no processo de separação, analisou-se o comportamento de cinco frações granulométricas (1-1,4; 1,4-2; 2-2,8; 2,8-4 e 4-5,6 mm), cuja forma foi descrita pelo fator forma  $F = D_{\min} / D_{\max}$  (onde  $D_{\min}$  e  $D_{\max}$  representam o diâmetro mínimo e máximo das partículas).

As partículas de PMMA têm uma forma mais regular, similar a pequenas esferas, enquanto que as partículas de PET apresentam uma forma menos regular, semelhantes

a pequenas lamelas, o que pode condicionar o seu comportamento nos processos de separação, em particular na jigagem, dificultando a sua penetração no leito de jigagem (Fig. 1).

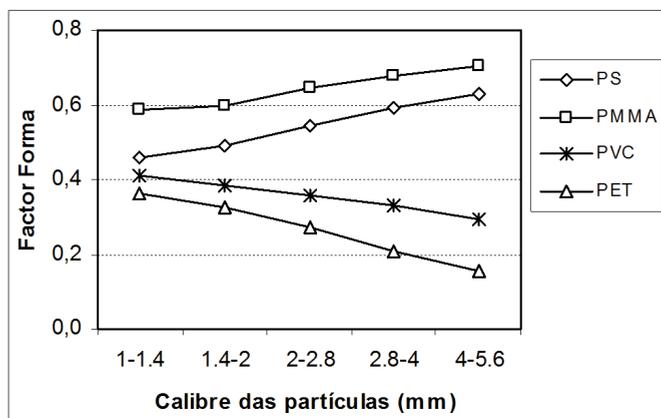


Fig. 1 - Factor forma dos quatro tipos de plásticos e das cinco frações granulométricas.

As separações por jigagem e por flutuação por espumas foram realizadas sobre misturas bicomponente: PS/PMMA, PS/PET, PS/PET e PS/PVC, contribuindo cada plástico com 50% do peso. As misturas utilizadas tinham proporções idênticas de todas as frações granulométricas referidas (entre 1 e 5,6 mm).

Os ensaios de jigagem foram realizados numa jiga Denver com secção retangular (10x15x10 cm). Os ensaios foram conduzidos de modo a obter um afundado o mais expurgado possível de PS, pois este tem menor densidade que os outros três plásticos. O plástico PS saiu por transbordo (“*overflow*”), constituindo o flutuado, e os outros plásticos ficaram retidos na célula de jigagem. Os ensaios de jigagem foram prologados no tempo de modo a fazer sair por transbordo (flutuado) quase todo o PS.

Os ensaios de flutuação por espumas foram realizados numa célula Denver com uma capacidade de 3 dm<sup>3</sup>. A velocidade de rotação do impulsor foi de 600 rpm e os reagentes químicos utilizados foram o metilisobutilcarbinol (MIBC), como espumante, e o ácido tânico como depressor dos plásticos. A concentração ideal de ácido tânico, que conduziu a separações mais eficientes de cada mistura bicomponente de plásticos, foi selecionada a partir de ensaios previamente realizados. A duração de cada ensaio foi de 8 minutos.

Para comparar a qualidade de separação dos dois processos foi determinada a eficiência de separação definida por SCHULZ (1970) pela expressão  $\eta = R_{p1} - R_{p2}$ , (onde  $\eta$  é a eficiência,  $R_{p1}$  é a recuperação do plástico 1 no flutuado e  $R_{p2}$  é a recuperação do plástico 2 no flutuado).

Nos dois processos o controlo da separação foi realizado a partir da recuperação e do teor de cada tipo de plástico no flutuado e no afundado. Estes parâmetros foram obtidos após separação manual e pesagem dos dois tipos de plásticos presentes no flutuado e afundado, pois eles apresentam cores diferentes.

### 3 – Resultados e discussão

#### 3.1 – Mistura PS/PMMA

363

A recuperação e o teor de cada um dos dois plásticos da mistura PS/PMMA no flutuado e afundado dos dois processos de separação e das cinco frações granulométricas são representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da separação por jigagem e por flutuação da mistura PS/PMMA para cinco frações granulométricas.

	Fracções (mm)	Recuperação				Teor			
		Flutuado		Afundado		Flutuado		Afundado	
		PS	PMMA	PS	PMMA	PS	PMMA	PS	PMMA
Jigagem	1,0 - 1,4	99,60	32,57	0,40	67,43	75,36	26,64	0,59	99,41
	1,4 - 2,0	99,63	27,64	0,37	72,36	78,28	17,72	0,51	99,49
	2,0 - 2,8	99,62	17,78	0,38	88,22	89,43	11,57	0,42	99,58
	2,8 - 4,0	99,66	7,34	0,34	92,66	93,14	6,86	0,37	99,63
	4,0 - 5,6	99,66	5,48	0,34	94,58	94,84	5,16	0,36	99,64
Flutuação	1,0 - 1,4	97,34	88,42	2,66	11,58	52,40	47,60	18,69	81,31
	1,4 - 2,0	96,85	66,43	3,15	33,57	59,32	40,68	8,59	91,41
	2,0 - 2,8	95,75	29,60	4,25	70,40	76,38	23,62	5,69	94,31
	2,8 - 4,0	94,76	5,02	5,24	94,98	94,97	5,03	5,23	94,77
	4,0 - 5,6	93,41	0,00	6,59	100,00	100,0	0,00	6,18	93,82

Para as três frações finas, a jigagem apresenta melhores resultados do que a flutuação, ela conduziu a maiores recuperações de PS no flutuado e também maiores recuperações de PMMA no afundado, originando um flutuado mais enriquecido em PS e um afundado mais enriquecido em PMMA. Para a fracção fina (1-1,4 mm) a jigagem permitiu obter um flutuado com um teor de 75,36% em PS, enquanto que na flutuação o flutuado tem um teor de apenas 52,4% em PS, semelhante ao da mistura inicial (50%). Relativamente ao afundado, para aquela fracção a jigagem permitiu obter um concentrado de PMMA com um teor de 99,4%, enquanto que na flutuação o afundado apresenta um teor de 81,3% em PMMA.

Para as duas frações grosseiras os dois processos conduziram a separações com semelhante qualidade. Para a fracção 4-5,6 mm na jigagem obteve-se um flutuado com 94,8% em PS e um afundado com um teor de 99,6% em PMMA enquanto por flutuação se obteve um flutuado puro de PS e um afundado com 93,8% em PMMA. Assim, para aquela fracção, enquanto na jigagem se consegue um afundado quase puro em PMMA, na flutuação consegue-se um flutuado puro em PS.

Nos dois processos de separação, esta melhora com o aumento do calibre das partículas. Para as cinco frações granulométricas, o afundado da jigagem é um produto quase

### 3.2 – Mistura PS/PET

Nesta mistura, os dois processos de separação conduziram a resultados semelhantes. Verifica-se que o calibre das partículas não apresenta uma significativa influência na qualidade da separação (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados da separação por jigagem e por flutuação da mistura PS/PET para cinco frações granulométricas.

	Fracções (mm)	Recuperação				Teor			
		Flutuado		Afundado		Flutuado		Afundado	
		PS	PET	PS	PET	PS	PET	PS	PET
Jigagem	1,0 - 1,4	99,69	31,02	0,31	69,98	76,86	23,14	0,44	99,56
	1,4 - 2,0	99,45	26,28	0,55	73,72	79,10	20,90	0,74	99,26
	2,0 - 2,8	99,47	26,11	0,53	73,89	79,21	20,79	0,71	99,29
	2,8 - 4,0	99,64	25,77	0,36	74,23	79,45	20,55	0,48	99,52
	4,0 - 5,6	99,57	28,30	0,43	71,70	77,87	22,13	0,60	99,40
Flutuação	1,0 - 1,4	96,34	25,62	3,66	74,38	78,99	21,01	4,69	95,31
	1,4 - 2,0	96,48	24,01	3,52	75,99	80,08	19,92	4,43	95,57
	2,0 - 2,8	95,48	23,34	4,52	76,66	80,36	19,64	5,57	94,43
	2,8 - 4,0	94,87	21,05	5,13	78,95	81,84	18,16	6,10	93,90
	4,0 - 5,6	93,43	22,23	6,57	77,77	80,78	19,22	7,79	92,21

Nos dois processos de separação obtêm-se flutuados com aproximadamente 80% de PS. Para as cinco frações a jigagem permitiu obter afundados quase puros em PET e flutuados com cerca de 78% de PS. No processo de flutuação obtiveram-se flutuados com um teor em PS ligeiramente superior, mas afundados com teor em PET ligeiramente inferior (aproximadamente 95%).

### 3.3 – Mistura PS/PVC

Na Tabela 4 apresentam-se as recuperações e teores do flutuado e afundado da separação por jigagem e por flutuação por espumas para as cinco frações granulométricas da mistura PS/PVC. Em ambos os processos a separação melhora ligeiramente com o aumento do calibre das partículas, sendo este comportamento mais significativo para a jigagem. A recuperação de PVC no flutuado diminui com o aumento do calibre das partículas.

Tabela 4 – Resultados da separação por jigagem e por flutuação da mistura PS/PVC para cinco frações granulométricas.

	Fracções (mm)	Recuperação				Teor			
		Flutuado		Afundado		Flutuado		Afundado	
		PS	PVC	PS	PVC	PS	PVC	PS	PVC
Jigagem	1,0 - 1,4	99,71	21,23	0,29	78,77	82,45	17,55	0,37	99,63
	1,4 - 2,0	99,55	16,75	0,45	83,25	85,60	14,40	0,54	99,46
	2,0 - 2,8	99,49	13,09	0,51	86,91	88,37	11,63	0,58	99,42
	2,8 - 4,0	99,48	11,51	0,52	88,49	89,63	10,37	0,58	99,42
	4,0 - 5,6	99,38	9,61	0,62	90,39	91,18	8,82	0,68	99,32
Flutuação	1,0 - 1,4	97,69	6,75	2,31	93,25	93,54	6,46	2,41	97,59
	1,4 - 2,0	98,04	3,45	1,96	96,55	96,60	3,40	1,99	98,01
	2,0 - 2,8	96,90	1,69	3,10	98,31	98,29	1,71	3,06	96,94
	2,8 - 4,0	96,25	1,20	3,75	98,80	98,77	1,23	3,66	96,34
	4,0 - 5,6	93,59	0,55	6,41	99,45	99,42	0,58	6,05	93,95

Para as cinco frações granulométricas, a flutuação permitiu obter separações ligeiramente superiores, fundamentalmente nas frações finas. Para a fração fina na flutuação obteve-se um flutuado com um teor de 93,5% em PS e um afundado com um teor de 97,6% em PVC, enquanto que na jigagem se obteve um flutuado com um teor de 82,4% em PS e um afundado com um teor de 99,6% em PVC.

Para a fração grosseira (4-5,6 mm) obteve-se um flutuado quase puro de PS (99,4%) na flutuação e um afundado com um teor de 94% em PVC e na jigagem obteve-se um flutuado com um teor de 91,2% em PS e um afundado com um teor de 99,3% em PVC.

### 3.4 – Eficiência de separação

Nos dois processos, a mistura PS/PET é a que apresenta a menor eficiência de separação (Fig. 2). A eficiência da separação de mistura PS/PMMA melhora com o aumento do calibre das partículas, em particular na flutuação, como consequência do aumento da massa das partículas, que torna menor o seu arrastamento. Na célula de flutuação a polpa (mistura de plásticos + água) é sujeita a agitação e as partículas finas de PMMA são mais facilmente arrastadas e recolhidas no flutuado, penalizando a qualidade da separação. A jigagem permite obter melhores resultados para as três frações finas.

Na mistura PS/PET o calibre das partículas tem uma influência mínima na qualidade da separação. Para as três frações intermédias obtém-se uma eficiência de separação de aproximadamente 73%, valor inferior ao obtido para as outras duas misturas de plásticos. A não melhoria da qualidade de separação com o aumento do calibre das partículas, é consequência da forma lamelar das partículas de PET.

Para a mistura PS/PVC a eficiência de separação, em particular na jigagem, aumenta com o calibre das partículas. A flutuação permite obter uma eficiência de separação ligeiramente superior à da jigagem (aproximadamente 95%).

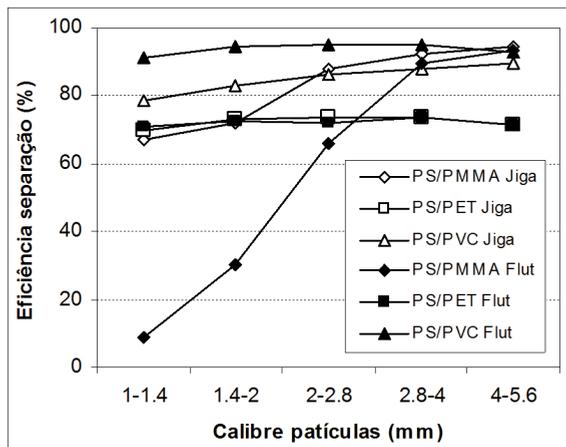


Fig. 2 - Influência do calibre das partículas na eficiência de separação.

Uma vez que a jigagem é um processo hidrogravítico, que se baseia na diferença de densidade dos materiais a separar, esperavam-se os melhores resultados para a mistura PS/PET e os piores resultados para a mistura PS/PMMA, pois o PET tem a maior densidade e o PMMA tem a menor densidade (Tabela 1). Porém, a jigagem da mistura PS/PET apresenta os piores resultados. Assim, este comportamento não pode ser explicado pela diferença de densidades, devendo ser consequência da forma lamelar das partículas de PET. Este tipo de partículas tem maior dificuldade em penetrar o leito de jigagem, saindo mais facilmente por transbordo, e gerando fluviados menos puros em PS. Este comportamento é mais evidente para as frações grosseiras, sendo os fluviados menos puros em PS.

#### 4 – Conclusões

A qualidade da separação operada na jigagem e na flutuação por espumas depende do tipo de mistura e do calibre e forma das partículas.

Para partículas de forma mais regular (isométrica) a qualidade da separação melhora com o aumento do calibre das partículas. Para partículas lamelares essa relação é menos evidente.

Na mistura PS/PMMA, a jigagem permitiu obter melhores resultados, em particular para as frações finas. Para as duas frações grosseiras os dois processos conduziram a resultados semelhantes. A qualidade de separação, em particular na flutuação, melhorou claramente com o aumento do calibre das partículas. Das três misturas analisadas a separação por flutuação da mistura PS/PMMA, das partículas com calibre inferior a 2 mm, apresenta os piores resultados.

Para os lotes inferiores a 2,8 mm a jigagem conduziu a melhores resultados.

Na mistura PS/PET, não se observou a predominância de um dos dois métodos de separação. Também não se observou uma clara influência do calibre das partículas nos dois processos de separação. A qualidade da separação desta mistura é pequena, sendo a eficiência de separação inferior a 75%.



A mistura PS/PVC apresenta os melhores resultados. Para as cinco frações granulométricas a flutuação por espumas conduziu a melhores resultados do que a jigagem. A separação por jigagem melhorou ligeiramente com o aumento do calibre das partículas.

A forma das partículas tem um papel importante, em particular na jigagem. Verificou-se que para partículas de forma regular, a separação melhora com o aumento do calibre das partículas e, para partículas de forma lamelar (PET), a influência do calibre das partículas é mínima. Apesar do PET ser o plástico de maior densidade, na jigagem a mistura PS/PET conduziu aos piores resultados. Neste processo as partículas lamelares de PET saem mais facilmente pelo flutuado (“*overflow*”) do que as partículas de forma regular de PMMA (na mistura PS/PMMA), apesar deste plástico ter menor densidade que o PET.

Os resultados obtidos mostram que estas técnicas mineiras de separação têm um bom potencial para poderem ser utilizadas na separação de plásticos, possibilitando assim a sua reciclagem.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

## Referências Bibliográficas

- AGANTE, E., CARVALHO, M. T., DURÃO, F. & BÁRTOLO, T. (2004) - Separation of PET, PVC and PS using gravity concentration and froth flotation. Proceedings of the Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology (REWAS'04), Madrid, Spain, p. 1691-1700.
- DODBIBA, G., SADAKI, J., OKAYA, K., SHIBAYAA, A. & FUJITA, T. (2005) - The use of air tabling and triboelectric separation for separating a mixture of three plastics. *Minerals Engineering*, 18, p. 1350-1360.
- FERRARA, G., BEVILACQUA, P., LORENZI, L. & ZANIN, M. (2000) - The influence of particle shape on the dynamic dense medium separation of plastics. *International Journal of Mineral Processing*, 59, p. 225-235.
- FRAUNHOLCZ, N., (2004) - Separation of waste plastics by froth flotation, Review, Part I. *Minerals Engineering*, 17, p. 261-268.
- GENT, M. R., MENENDEZ, M., TORANO, J., ISIDRO, D. & TORNO, S. (2009) – Cylinder cyclone (LARCOCEDMS) density media separation of plastic wastes. *Waste Management*, 29, p. 1819-1827.
- GENT, M. R., MARIO, M., JAVIER, T. & SUSANA, T. (2011) - Optimization of the recovery of plastics for recycling by density media separation cyclones. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, p. 472-482.
- ITO, M., TSUNEDKAWA, M., ISHIDA, E., KAWAI, K., TAKAHASHI, T., ABE, N. & HIROYOSHI, N. (2010) - Reverse jig separation of shredded floating plastics - separation of polypropylene and high density polyethylene. *International Journal of Mineral Processing*, 97, p. 96-99.
- KANGAL, M. O. (2010) – Selective flotation technique for separation of PET and HDPE used in drinking water bottles. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 31, p. 214-223.
- KUWAYAMA, Y., ITO, M., HIROYOSHI, N. & TSUNEDKAWA, M. (2011) - Jig separation of crushed automobile shredded residue and its evaluation by float and sink analysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, p. 1-7.
- PASCOE, R. D. e HOU, Y. Y. (1999) - Investigation of the importance of particle shape and surface wettability on the separation of plastics in a LARCOCEDMS separator, *Minerals Engineering*, 12, p. 423-431.
- PASCOE, R. D., (2006) - Investigation of hydrocyclones for the separation of shredded fridge plastics. *Waste Management*, 26, p. 1126-1132.

- SHEN, H., PUGH, R. J. & FORSSBERG, E. (1999) - A Review of plastics recycling and the flotation of plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, 25, p. 85-109.
- SHEN, H., FORSSBERG, E. H. & PUGH, R. J. (2001) - Selective flotation separation of plastics by particle control. *Resources, Conservation and Recycling*, 33, p. 37-50.
- SHEN, H. FORSSBERG, E. & PUGH, R. J. (2002) – Selective Flotation Separation of Plastics by Chemical Conditioning With Methyl Cellulose. *Resources, Conservation and Recycling*, 35, p. 229-241.
- SHIBATA, J., MATSUMOTO, S., YAMAMOTO, H. & LUSAKA, E. (1996) - Flotation separation of plastics using selective depressants. *International Journal of Mineral Processing*, 48, p. 127-134.
- SCHULZ, N. F., (1970) - Separation efficiency, *Transactions SME/AIME*. 247, p. 81-87.
- TSUNEKAWA, T., NAOI, B., OGAWA, S., HORI, K., HIROYOSHI, N., ITO, M. & HIRAJIMA, T. (2005) - Jig separation of plastics from scrapped copy machines. *International Journal of Mineral Processing*, 76, p. 67-74.

## SECÇÃO 6

### GEOLOGIA DE ENGENHARIA: CONSTRUIR COM A TERRA

“Agir, eis a inteligência verdadeira. Serei o que quiser. Mas tenho que querer o que for. O êxito está em ter êxito, e não em ter condições de êxito. Condições de palácio tem qualquer terra larga, mas onde estará o palácio se não o fizerem ali?”

Fernando Pessoa

(Página deixada propositadamente em branco)

## CARACTERIZAÇÃO DE ADOBES DA REGIÃO DO LUBANGO (ANGOLA)

## CHARACTERIZATION OF ADOBES FROM LUBANGO REGION (ANGOLA)

P. A. Dinis<sup>1</sup>, L. Catarino<sup>2</sup> & T. Pascoal<sup>3</sup>

**Resumo** – Com este trabalho analisaram-se as principais características das unidades produtoras de adobe na região do Lubango (Huíla, Angola) bem como as propriedades físicas dos tijolos em adobe obtidos a partir destes materiais. O estudo foi realizado sobre dez locais de fabrico de adobe. Para se alcançar os objetivos preconizados foram efetuados ensaios nos solos naturais (granulometria e mineralogia) e nos tijolos em adobe (perda de massa e contração) dos locais selecionados. Os trabalhos mostraram que os solos naturais possuem propriedades distintas que influenciam as características dos tijolos em adobe.

**Palavras-chave** – Adobe; Angola; propriedades dos solos; propriedades dos tijolos

*Abstract* – With this study the main features of the units used for adobe production in the Lubango region (Huila, Angola) as well as physical properties of the adobe bricks obtained from these units were analyzed. The study was performed in ten places where adobes are produced. In order to fulfil the intended objectives several tests were done on natural soils (grain-size analysis and mineralogy) and on adobe bricks (loss of weight and contraction) from the selected areas. The research showed that the studied soils have distinct natural properties that affect the characteristics of the adobe bricks.

**Keywords** – Adobe; Angola; soil features; brick features

---

<sup>1</sup> IMAR – CMA, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra; pdinis@dct.uc.pt

<sup>2</sup> Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra; lidiagil@dct.uc.pt

<sup>3</sup> tavalicpascoal@yahoo.com.br

## 1 – Introdução

372

Adobe é um tijolo de terra crua moldado em pequenos blocos, normalmente utilizando moldes em madeira, e desmoldado ainda no estado fresco seguido de secagem à temperatura ambiente. Como o solo argiloso tem tendência a criar fissuras quando seca, devido à retração do material, é costume reforçar o adobe misturando palha ou outras fibras vegetais para evitar este comportamento (JALALI & EIRES, 2008). A forma de construir em adobe é semelhante à construção com tijolo convencional, sendo a argamassa à base de terra. As designações “adobe” e “tijolo de terra crua” são sinónimos, dependendo a sua utilização do hábito local.

Segundo JALALI & EIRES (2008), Angola é um país com excelentes condições para a utilização da construção em terra crua. O clima é propício à durabilidade do material e a matéria-prima é abundante. Por outro lado, a redução ou mesmo a eliminação do uso de cimento é uma vantagem em países onde é difícil a sua obtenção e transporte. Além disso, a construção em terra pode ser feita de um modo industrializado, para obras de grande volumetria, mas também de modo artesanal no caso de construções particulares ou de cariz social, bastando apenas a formação de técnicos e pessoas interessadas em fazer as suas próprias casas neste tipo de construção.

Hoje, as construções em terra crua, em Angola, constituem a forma mais fácil de se adquirir uma casa com baixo custo e em pouco tempo. Daí a relevância ou o interesse de se desenvolverem estudos, para aprimorar a técnica, não só como técnica antiga, mas também como técnica que venha a contribuir para um ambiente saudável, sem comprometer as gerações futuras. Urge retomar técnicas de construção antigas, segundo novos métodos, que venham a contribuir para a diminuição dos recursos utilizados. Desta forma, não só estamos a caminhar para um desenvolvimento sustentado, como também despertamos o cidadão para o exercício da cidadania, acabando com o preconceito de que construir com tijolo de terra crua é sinónimo de pobreza, dando a todos a oportunidade de viverem com segurança apesar da sua condição social e económica.

Em Angola, antes da era colonial, vigoravam no Norte e no Sul as casas de pau a pique com terra crua e cobertas de capim, enquanto no centro do país predominavam as casas de terra ou adobe igualmente cobertas de capim. Com a chegada dos portugueses o país foi melhorando as técnicas de construção em terra tendo-se este processo iniciado pela zona norte. Na província da Huíla, com a chegada dos colonos, assistiu-se a um evoluir das técnicas de construção de terra aplicadas nas diferentes infraestruturas coloniais, seguidas de alguns empreendimentos comerciais no centro da cidade do Lubango (outroza Sá da Bandeira) e residências onde o capim da cobertura passou a ser substituído por telhas (Fig. 1a).

O desemprego e os baixos salários da maioria da população angolana fizeram com que a utilização do tijolo de terra crua como material de construção se tenha generalizado na atualidade. Dois motivos favorecem a sua utilização. Por um lado, o preço e a facilidade no acesso a esse material e, por outro, a falta de infraestruturas (fábricas de materiais como o tijolo cozido em forno e o bloco de cimento). Para além destes aspetos, há também falta de mão de obra especializada no que toca ao setor secundário. Assim, o adobe tornou-se o principal material de construção de residências (Fig. 1b).

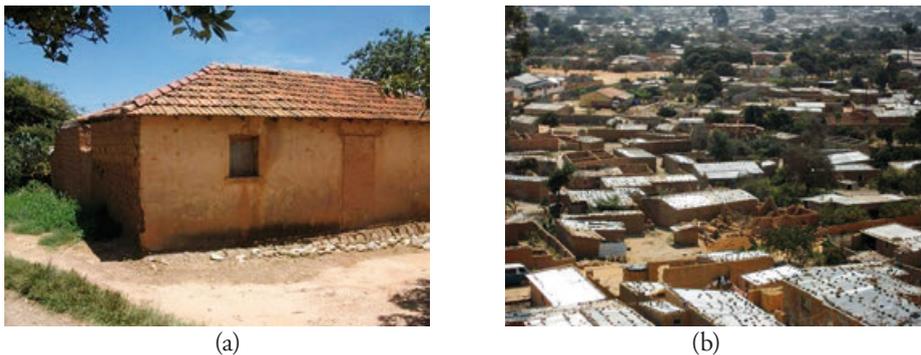


Fig. 1 – Casas em adobe na Província da Huíla. Exemplo de uma casa construída na década de 40 do século XX em Calumbiro (a) e construções atuais na Boca da Humpata (b).

O presente trabalho realizou-se na cidade do Lubango, que é a capital e constitui o principal centro urbano da Província da Huíla. O Lubango está localizado na zona sudoeste de Angola, numa região caracterizada por um conjunto de superfícies planálticas. A zona urbana do Lubango estende-se por duas das unidades morfológicas principais definidas por Jessen para Angola (FEIO, 1946): a superfície IV, equivalente ao Planalto Antigo de MARQUES (1966) e a superfície V, também designada de Planalto da Humpata, que se relaciona com a Cadeia Marginal de Montanhas de Marques (Op. Cit.). A superfície V alcança cotas da ordem de 2300 metros, enquanto a superfície IV, que se desenvolve para oriente, oscila geralmente entre os 1600 e os 1800 metros.

As duas unidades IV e V, ou Planalto Antigo e Cadeia Marginal de Montanhas, também se associam a unidades geológicas distintas (DINIZ, 2006). A unidade topograficamente inferior é caracterizada por um domínio de rochas magmáticas (granitos, granodioritos, dioritos, sienitos, gabros, anortositos, etc.), enquanto a unidade superior é suportada por rochas sedimentares consolidadas do Grupo da Chela, que engloba espessas sucessões dominadas por quartzitos, bem como xistos, calcários dolomíticos e intrusões de doleritos sob a forma de soleiras ou filões (VALE, 1971, CARVALHO, 1983) (Fig. 2).

Em termos climáticos, ocorrem duas estações: a estação das chuvas, mais quente, entre meados de outubro a meados de abril, e a estação seca, mais fria, nos restantes meses do ano (DINIZ, 2006).

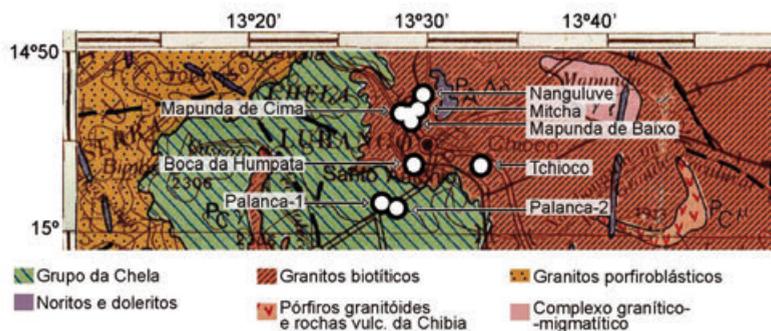


Fig. 2 – Excerto da carta geológica de Angola na escala 1/1.000.000 (CARVALHO, 1980) com indicação dos locais de amostragem.

## 2 – Metodologia

Foram seleccionados 10 locais na zona do Lubango em que se produzem tijolos em adobe (Fig. 2). Para cada local realizaram-se ensaios de caracterização física e mecânica dos tijolos e da textura e composição dos sedimentos usados para o seu fabrico.

A granulometria dos sedimentos foi determinada por crivagem (fração maior que 1 mm) e difração laser, usando um granulómetro Laser Coulter LS 230 (fração inferior a 1 mm). Com base nos resultados de granulometria foram determinados parâmetros estatísticos pelo método dos momentos (KRUMBEIN & PETTIJOHN, 1938; FRIEDMAN, 1979). A composição mineralógica foi obtida por difração de raios X num difratómetro Philips PW 3710. Com base nas áreas de reflexões características, foram avaliadas as percentagens de quartzo, feldspatos e filossilicatos. Os resultados para a ilite-mica (10Å), interstratificados, clorite e montmorilonite foram somados para se obter o conteúdo em filossilicatos.

A observação à vista desarmada dos adobes utilizados na Província da Huíla permite constatar que, apesar da proximidade geográfica que os caracteriza, apresentam algumas diferenças. De modo a elaborar uma comparação entre os vários locais de fabrico de adobe foram realizadas entrevistas aos produtores de cada um dos locais estudados. As principais dúvidas diziam respeito aos materiais e processos utilizados. Nos materiais era necessário perceber as proporções de cada um, assim como o tipo e a percentagem dos aditivos (areia, brita, bosta, capim, água).

Utilizando adobes de cada um dos produtores foi avaliada, após a moldagem ou conformação, a contração e perda de humidade ao longo de 9 dias, de modo a determinar a estabilidade do produto aquando da venda (ao 3º dia de secagem) e após esta data. Admite-se que toda a perda de massa resulta da evaporação da água contida no bloco de adobe.

## 3 – Caracterização das unidades produtoras

Os adobes de Palanca-1 e Palanca-2 (Fig. 2) são produzidos no Planalto da Humpata, onde aflora o Grupo da Chela. Ambos parecem estar associados a um manto de alteração



que se desenvolve sobre as diabases, ainda que só no caso da amostra Palanca-2 estas rochas se observem à superfície, sob a forma de blocos esferoidais. O adobe da Boca da Humpata é produzido num vale escarpado que drena do Planalto da Humpata para o Planalto Principal. Os materiais produtores são solos coluvionares que se desenvolvem sobre um manto de alteração nos granitos com mais de 3m de espessura.

Os locais de produção de Mapunda, Nanguluve, Calumbiro, Tchioco e Mitcha posicionam-se no Planalto Principal. Nos locais de amostragem da Mapunda, Calumbiro e Nanguluve, ocorre um manto de alteração pouco espesso, observando-se blocos de granito (Mapunda de Cima, Calumbiro e Nanguluve) e de rochas básicas (Mapunda de Baixo) próximo da superfície. Os sedimentos nestes locais também apresentam fragmentos de outras rochas (xisto, quartzito, etc.), provavelmente oriundos dos relevos envolventes suportados pelas unidades do Grupo da Chela.

As zonas de produção do Tchioco e da Mitcha situam-se em áreas planas em que não afloram as unidades do substrato, mas cujas coberturas cartográficas anteriores sugerem tratar-se de granitoides (VALE, 1971; CARVALHO, 1983). No Tchioco, é usado para a produção de adobe um corpo sedimentar amarelado, com mais de 3 metros de espessura, formado por areias quartzosas de grão fino, envolvidas por uma massa argilosa. Na Mitcha o adobe é produzido a partir de um manto de alteração avermelhado e muito argiloso com grãos de quartzo dispersos.

As amostras de sedimentos estudadas têm granulometria variada. São tendencialmente grosseiras, com percentagens de areia e cascalho sempre superiores às de argila e silte (Fig. 3a). A fração arenosa é a mais bem representada (43 a 81%), geralmente seguida pela siltosa (17 a 39%). A componente cascalhenta nem sempre está presente, mas, nas amostras mais grosseiras, alcança mais de 10 % (até 35%). As quantidades de argila são relativamente baixas (3 a 9%). As amostras de grão mais grosseiro são as do Calumbiro (média de 0,3mm) e Tchioco (média de 0,2 mm), enquanto as de grão mais fino são as de Nanguluve-2 (média de 0,05 mm), Palanca-2 (média de 0,06 mm) e Mitcha (média de 0,08 mm). Todas as outras apresentam valores de dimensão média entre 0,1 e 0,2 mm. A amostra da Palanca-1 é a mais homogênea (desvio-padrão de 2,09) e a de Mapunda de Cima é a mais heterogênea (desvio-padrão de 3,39).

Os sedimentos amostrados apresentam uma mineralogia variada. Nota-se um pleno domínio do quartzo, na maior parte das amostras, e menores percentagens de filossilicatos e feldspatos (Fig. 3b). As amostras com maiores quantidades de quartzo são as Palanca-2 (95%), Palanca-1 (94%) e Mitcha (91%). Estas apenas possuem quartzo e filossilicatos, ao contrário das sete restantes que apresentam quantidades significativas de feldspato. As amostras que apresentam mais feldspato são as de Mapunda de Cima (16%), Mapunda de Baixo (9%), Tchioco (7%) e Nanguluve-1 (6%).

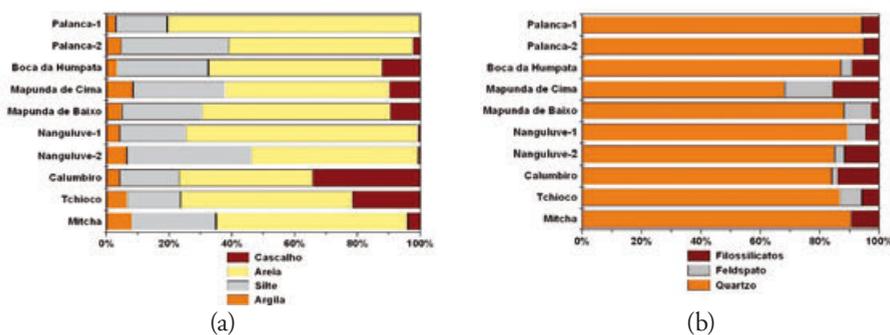


Fig. 3 – Granulometria (a) e mineralogia (b) das amostras estudadas.

#### 4 – Processo de fabrico e caracterização dos adobes

No fabrico do adobe, como em todas as atividades artesanais, a informação é genericamente passada de pai para filho ou pelo menos dentro do meio familiar. Este facto foi observado em todos os fabricantes de adobes por nós entrevistados.

Normalmente, o fabrico dos adobes na Província da Huíla é feito de forma sazonal. Devido à localização numa zona tropical existe um período quente e chuvoso e outro frio e seco, sendo a pluviosidade particularmente reduzida de junho a agosto. Assim, durante o período de cacimbo, correspondente aos meses frios e secos, os adobes são produzidos de uma forma imponderada, já que a época é demasiadamente curta para a produção satisfazer as encomendas. A secagem é normalmente feita ao ar livre devido ao baixo poder económico da maior parte das pessoas que estão imbuídas nesta prática e por ser a técnica que estes dominam. Assim, a secagem natural é feita à temperatura ambiente nos meses de junho, julho e agosto.

As proporções dos vários materiais utilizados para o fabrico do adobe, conforme opinião generalizada dos fabricantes entrevistados, não estão definidas por nenhuma regra, sendo a experiência e a forma de manuseamento do material que os leva a juntar à terra os aditivos necessários. Dos aditivos, a água é uma constante, sendo quase sempre adicionado um elemento leve, que permite diminuir o peso final, e se possível com carácter fibroso, para fornecer melhor coesão ao produto. O capim é um dos elementos preferenciais, mas os fabricantes de adobe da zona de Palanca, em vez do capim, fazem uso de bosta de boi depois de seca. Pensámos inicialmente que este aditivo era utilizado localmente por esta zona ter uma atividade agropecuária importante mas, na conversa com os produtores, foi-nos dito que a bosta apresenta vantagens porque fornece maior consistência ao produto final.

Na Boca da Humpata encontramos um fabricante que produzia os seus adobes fazendo o uso de brita ao invés de capim ou de bosta. Segundo a sua indicação, a adição de “pedras” torna o adobe mais resistente. No seu discurso dizia que a técnica era muito antiga e que a aprendeu com o seu pai.

O processo geral de produção de adobe (Fig. 4) consiste em amassar o solo barrento com a biomassa (capim ou bosta de boi seca) e água. Depois de bem amassados devem

ficar em repouso para melhor homogeneização da humidade (maceração) e diminuição de vazios no interior da massa, que podem vir a originar rachaduras nos tijolos durante o período de secagem.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4 – Processo de fabrico de tijolos de adobe: (a) solo a ser amassado; (b) mistura em repouso coberta por capim; (c) conformação em molde de madeira; (d) tijolos em cura/secagem.

Dado que o processo de secagem é fundamental para as boas características do adobe, fomos avaliar a perda de massa ao longo dos primeiros dias. A massa de cada adobe após conformação varia entre 34 e 35kg e após 9 dias de secagem perde de 7 a 10kg de água. As amostras utilizadas foram recolhidas entre julho e agosto de 2009.

Os valores da perda de massa no fim dos 9 dias são bastante aproximados entre si (Fig. 5) quando comparados com os resultados obtidos entre o 1º e o 3º dia. Podemos ainda observar que as amostras com maior perda de massa total não correspondem às amostras já estabilizadas (Mapunda de Cima, Nanguluve-1 e Nanguluve-2).

A variação da perda de massa é acompanhada de uma diminuição das dimensões dos tijolos de terra crua, ao longo dos vários dias (Fig. 6). É importante referir que as amostras de Nanguluve são as únicas que não apresentam variação dimensional entre o 3º e o 10º dia e que apresentam valor estabilizado da massa desde o 8º dia. As amostras de Mapunda de Cima, apesar da semelhança do valor da massa desde o 5º dia, continuam em contração até ao 10º dia.

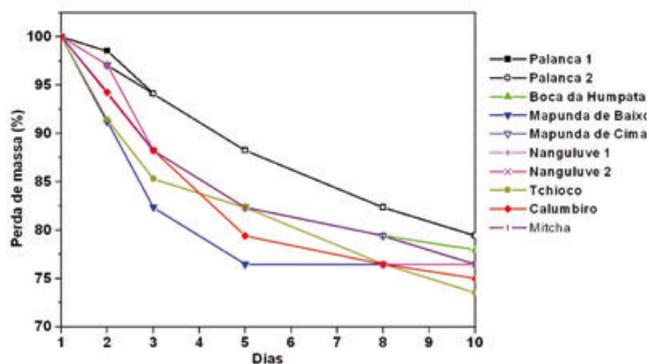


Fig. 5 – Variação da perda de massa ao longo do processo de secagem das amostras dos vários locais de produção.

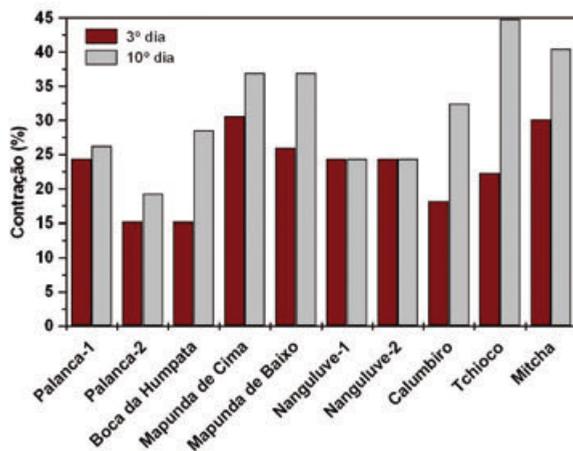


Fig. 6 – Contração dos tijolos de adobe observada ao 3º e 10º dias.

## 5 – Considerações finais

O adobe constitui uma técnica milenar que deve ser estudada e divulgada. Os solos selecionados apresentam características granulométricas e composicionais muito distintas que se podem refletir nas propriedades dos adobes. No caso das amostras de solo e de tijolo em adobe estudadas, sendo tão diversas as técnicas de produção e os aditivos utilizados, não se conseguiu estabelecer, com segurança, relações diretas entre as propriedades do solo e as características dos adobes. De qualquer maneira, estudos mais aprofundados, sobre um leque mais alargado de amostras, envolvendo as características

texturais e composicionais dos solos e as propriedades dos adobes, devem contribuir para um melhoramento do produto final. Os vários ensaios realizados sobre os tijolos em adobe mostraram-nos que o tempo de cura dos tijolos deve ser superior a cinco dias, pois passado este período os adobes continuam a perder humidade e, conseqüentemente, massa. Se o adobe não estiver devidamente seco antes de ser aplicado, ao secar contrai e podem aparecer fissuras. Já na antiguidade se tinha como referencia que os adobes devem ser fabricados com pelo menos dois anos de antecedência sob pena de perda de estabilidade das construções nestes materiais (Vitrúvio, *in* MACIEL, 2006).

### Referências Bibliográficas

- CARVALHO, H. (1980) – Geologia de Angola, escala 1:1.000.000, folha 3. Laboratório Nacional de Investigação Científica e Tropical.
- CARVALHO, H. (1983) - Notice explicative preliminaire sur la geologie de l'Angola. *Garcia Orta*, 6, p. 15-30.
- DINIZ, A.C. (2006) - Características mesológicas de Angola: descrição e correlação dos aspectos fisiográficos dos solos e da vegetação das zonas agrícolas angolanas. 2ª edição. Instituto de Apoio ao Desenvolvimento.
- FEIO, M. (1946) - O relevo de Angola, Segundo Jessen. *Boletim de Geologia de Portugal* 5, p. 295-306.
- FRIEDMAN, G.M. (1979) - Differences in the size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*, 26, p. 3-32.
- JALALI, S. & EIRES, R. (2008) Inovações científicas de construção em terra crua. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, Portugal. Conferência Internacional Angola ensino, investigação e desenvolvimento (EIDAO), 1, Braga, Portugal, 2008- “Angola ensino investigativo e desenvolvimento actas”, <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9104> (consultado em 2009.07.27).
- KRUMBEIN W.C. & PETTIJOHN F.J. (1938) - Manual of Sedimentary Petrography. Appleton-Century-Crofts: New York.
- MACIEL, M.J. (2006) – Vitrúvio Tratado de Arquitectura, IST PRESS, Lisboa, Portugal.
- MARQUES, M.M. (1966) - Les grandes unités geomorphologiques d'Angola. *Boletim de Serviços de Pedologia e Minas*, 13, p. 13-15.
- VALE, F.S. (1971) - Notícia explicativa da folha 336 da Carta Geológica de Sá da Bandeira na esc. 1:100.000. Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas, Angola.

(Página deixada propositadamente em branco)

## ESTUDO PRELIMINAR PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO FINOS COM ADIÇÃO DE CAL HIDRÁULICA NATURAL

### PRELIMINARY STUDY OF RECYCLING OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE WITH ADDITION OF NATURAL HYDRAULIC LIME

A. C. H. Antunes<sup>1</sup>, L. Catarino<sup>2</sup> & F. Figueiredo<sup>3</sup>

**Resumo** – A necessidade de evolução da civilização traz consigo várias descobertas e soluções, mas também gera problemas graves para o ambiente e, conseqüentemente, para o ser humano. A construção sustentável é neste momento uma emergência e, conseqüentemente, a reutilização e a reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) uma necessidade extrema. Neste artigo, pretende-se estudar os RCD recolhidos num aterro de resíduos inertes da zona centro de Portugal, de forma a avaliar as suas características e possíveis aplicações. Este artigo tem como objetivo contribuir para o sucesso da reciclagem dos RCD. O estudo dos RCD efetuado evidencia a sua previsível grande heterogeneidade. Os provetes obtidos por adição aos RCD de 10% de cal hidráulica natural, utilizada como ligante, apresentam uma baixa resistência à compressão uniaxial (0,08-0,5MPa), mas uma possível compatibilidade da sua utilização em construções de terra.

**Palavras-chave** – RCD, construção sustentável, aterro, reciclagem, ambiente

*Abstract* – Although progress carries many discoveries and solutions, it also has negative effects to the environment, and consequently to human beings. Nowadays, sustainable construction is seriously required, and the Construction and Demolition Waste (CDW) recycling is a huge priority. This paper is a preliminary study aimed for improving the recycling of the

---

<sup>1</sup> Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Largo Marques de Pombal 3000-272 Coimbra.

<sup>1</sup> celia.antunes@gmail.com

<sup>2</sup> lidiagil@dct.uc.pt

<sup>3</sup> fpedro@dct.uc.pt

*CDW. The main goal is to analyze the construction and demolition waste coming from a landfill in central Portugal, assessing their properties and potential applications. The CDW study carried out and described in this work confirms the waste heterogeneity. The uniaxial compressive strength obtained, in test specimen made with 10% of natural hydraulic lime used as binder, is low (0.08-0.5MPa) but compatible with the use of this material in earth construction.*

*Keywords – CDW, sustainable construction, landfill, recycling, environment*

## 1 – Introdução

A crescente evolução da população levou a um aumento exponencial do consumo de recursos naturais e energéticos, assim como do volume de resíduos sem utilização. Até às mais recentes décadas não existiam preocupações na atividade da construção civil que incluíssem a gestão dos resíduos produzidos (NENO, 2010). Segundo Evangelista (2007), esta despreocupação na reutilização de resíduos provenientes da construção civil deve-se às preocupações governamentais e/ou de fiscalização serem deficientes e permitirem a deposição deste tipo de resíduos em vazadouros ilegais, à relativa abundância de matéria-prima em Portugal e à fase precoce em que se encontram os conhecimentos científicos sobre os temas da reciclagem e reutilização dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

Apesar de já se usar RCD na antiguidade, só em 1928 é que estes materiais começaram a ser estudados. O seu uso na Europa só se iniciou, de uma forma mais séria, depois da II Guerra Mundial, devido à necessidade de reconstrução de várias cidades que ficaram totalmente destruídas. Atualmente a Europa desperdiça cerca de 200 milhões toneladas de resíduos de cimento e pedra por ano. Esta quantidade de material é suficiente para construir uma estrada de seis faixas entre Londres e Roma (MYMRIN & CORREA, 2005).

A necessidade de implementar medidas de redução de detritos na indústria da construção é tão ou mais importante que nas restantes indústrias, uma vez que a capacidade dos aterros é cada vez mais escassa, sendo necessário integrar métodos alternativos de deposição e tratamento dos detritos. Dado que a existência de aterros controlados pressupõe o uso do solo como recurso e comporta custos inerentes bastante elevados, a reciclagem poderá contribuir para a redução destes problemas, minimizando as quantidades de materiais depositados e reduzindo, em paralelo, a despesa de deposição. Desta minimização resultam não só redução de custos como também a redução do volume de extração de matérias-primas, garantindo a preservação de recursos naturais limitados. Por outro lado, quer a incorporação de resíduos na produção de materiais, quer a reutilização de materiais traduzem-se numa poupança energética e diminuição da contaminação atmosférica (SALINAS, 2002).

A quantidade de RCD produzida na UE é de cerca de 33% do total dos resíduos (KAZMIERCZYK & REICHEL, 2010). Estes têm um grande potencial para serem reutilizados, sendo apenas necessário a criação de condições adequadas para lidar com o problema de deposição de RCD, ou seja, aumentar o tempo de vida destes resíduos, possibilitando uma melhor gestão de recursos naturais e, conseqüentemente, reduzir o impacto ambiental. Estas razões levaram a Comissão Europeia a apontar os RCD como uma prioridade. A diretiva 2008/98/CE (Waste Framework Directive - WFD) requer que os estados membros da UE tomem as medidas necessárias de forma a atingir um mínimo de 70%, em massa, de RCD preparados para reutilizar, reciclar e outros fins até 2020 (MONIER *et al.*, 2011).



Os RCD necessitam de uma solução adequada para se obter uma construção sustentável em Portugal. Como tal, deverão pôr-se em prática estratégias que possam prevenir a sua produção, como também avaliar o ciclo de vida dos materiais aquando a sua utilização, minimizando as quantidades produzidas por meio da redução, reutilização e reciclagem até ao seu destino final (BARANDAS, 2009).

As preocupações ambientais com que se confronta a sociedade atual fazem com que seja urgente repensar as atuais tecnologias construtivas tornando imperativas novas e mais sustentáveis formas de habitação (TORGAL & JALALI, 2010).

Tendo como base a hipótese, por nós formulada, de que os RCD podem ser utilizados na construção de blocos semelhantes aos de adobe, adquirindo assim semelhanças com as construções em terra, decidimos realizar alguns testes. Para isso foi necessária a escolha de um ligante que respondesse às necessidades dos RCD. O ligante escolhido neste estudo inicial foi a cal hidráulica natural, devido às suas características físicas, químicas e mecânicas compatíveis com a heterogeneidade dos RCD recolhidos e ainda a capacidade de adquirir presa na presença de água.

Este trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento da investigação existente no domínio da gestão dos Resíduos de Construção e Demolição, através do estudo de formas alternativas da utilização deste material. Neste sentido, espera-se que este estudo auxilie na sustentabilidade da indústria da construção, uma vez que os resíduos por ela gerados são, nos últimos anos, uma preocupação a nível nacional e internacional. Assim sendo, será estudada a hipótese da produção de material de construção a baixo custo através da exploração das potencialidades dos resíduos, nomeadamente, aplicação dos RCD com dimensões inferiores a 4,0mm, sem qualquer tratamento prévio ou diferenciação dos vários componentes.

Para que seja possível fundamentar este trabalho, foram analisadas diferentes amostras recolhidas em vários locais do aterro de resíduos inertes de Portunhos, e foi avaliado o comportamento mecânico deste material quando misturado com 10% de cal hidráulica natural.

## 2 – Métodos experimentais

Foram recolhidas quatro amostras (Fig. 1) em diferentes locais do aterro de resíduos inertes, situado em Portunhos, Cantanhede.

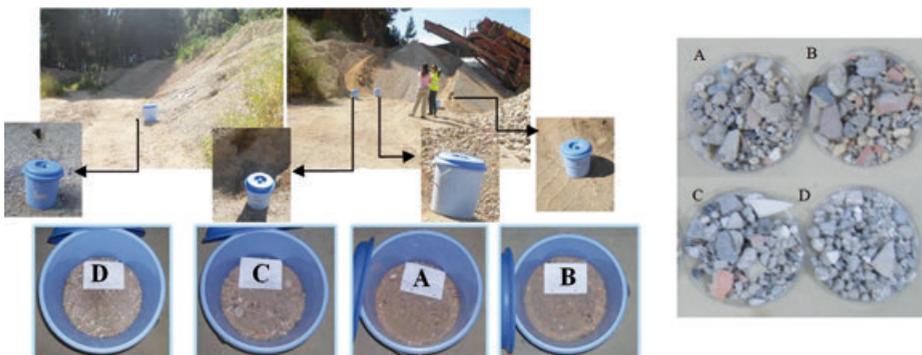


Fig. 1 – Amostras recolhidas no aterro de resíduos inertes de Portunhos.

O procedimento experimental foi dividido em duas fases. Inicialmente procedeu-se à caracterização das amostras de RCD recolhidas no aterro (amostras A, B, C, D) e na segunda fase definiram-se seis grupos de provetes (grupos PG, PH, PI, PJ, PL, PM), três destes constituídos pela mistura das amostras A e B (PH, PJ, PM) e os restantes pela mistura das amostras C e D (PG, PI, PL), que foram submetidos ao ensaio de ultrassons e ao ensaio de resistência à compressão uniaxial.

Após classificação granulométrica constatou-se que a fração inferior a 4,0mm constituía a maioria da amostra pelo que foi decidido utilizar apenas essa fração para os ensaios a efetuar.

Os ensaios realizados às amostras de RCD foram a análise granulométrica (método por peneiração e granulometria a laser) e a análise mineralógica por difração de raios X de lâmina sedimentada, para além da sua observação macroscópica e ao microscópio estereográfico.

Na segunda fase deste trabalho realizaram-se grupos de provetes prismáticos (4,0x4,0x16,0cm) constituídos por conjuntos de amostras de RCD, denominados por PG, PH, PI, PJ, PL, PM (Fig. 2). Cada grupo é constituído por seis provetes cuja obtenção obedeceu às mesmas condições.

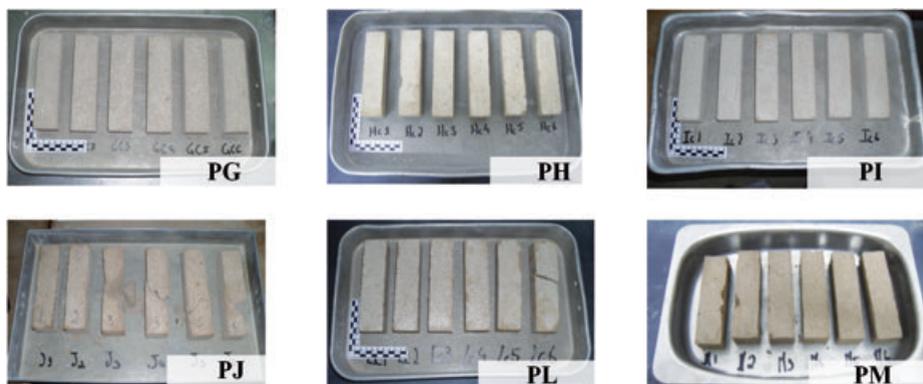


Fig. 2 - Grupo de seis provetes prismáticos (4,0x4,0x16,0cm) de RCD com cal hidráulica natural.

Os provetes foram preparados com a fração das amostras de RCD inferior a 4,0mm, 10% de cal hidráulica natural e misturados com água de maneira a obter uma mistura trabalhável.

Foram realizados grupos de provetes com dois tipos de amostra diferentes e dois tipos de cura (Fig. 3).

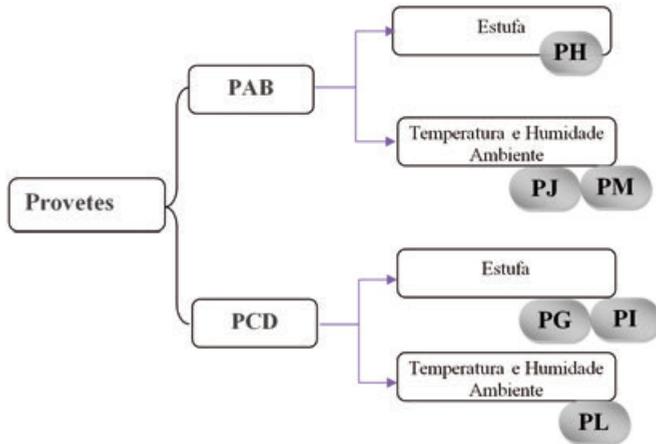


Fig. 3 – Esquema dos diferentes grupos de provetes (PAB – provetes realizados com a junção das amostras A e B (grupos PH, PJ e PM); PCD – provetes realizados com a junção das amostras C e D (grupos PG, PI e PL)).

Foram efetuados ensaios aos provetes dos diferentes grupos: o ensaio de ultrassons (Fig. 4) para determinar o módulo de Young e o ensaio de resistência à compressão uniaxial (Fig. 5).

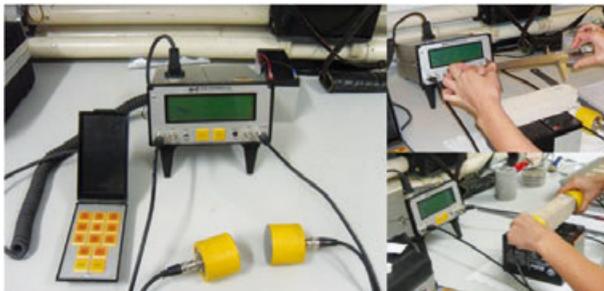


Fig. 4 – Equipamento V-Meter MarkII, utilizado para medir a velocidade das ondas de compressão.



Fig. 5 – Equipamento MicroTest modelo PB/20 onde foi realizado o ensaio de resistência à compressão uniaxial.

A velocidade de propagação de ultrassons nos provetes prismáticos foi avaliada de forma direta, através do posicionamento dos transdutores nas extremidades dos provetes, e no registo da velocidade das ondas de compressão (ou ondas P) que percorreram os provetes com uma extensão longitudinal de 16cm. Após a recolha dos valores da velocidade das ondas P foi calculado o Módulo de Young (equação1).

onde,

$$(1) \quad E = \frac{Vc^2 \times \rho \times (1+\mu) \times (1-2\mu)}{(1-\mu) \times 10^7}$$

E = Módulo de Young (MPa);

$Vc^2$  = Quadrado da velocidade da onda de compressão (onda p) (cm/s);

$\rho$  = Densidade (g/cm<sup>3</sup>);

$\mu$  = Coeficiente de Poisson

O ensaio de determinação da resistência à compressão uniaxial foi realizado sobre meios provetes (4,0x4,0x8,0cm), centrados entre os pratos inferior e superior do equipamento. De seguida aplicaram-se forças gradualmente crescentes até que se atingisse o ponto de rotura, registando o respetivo valor da força.

A tensão de rotura à compressão uniaxial é dada pelo quociente entre a carga máxima e a área da secção transversal onde foi aplicada a força (equação 2).

onde,

$$(2) \quad \sigma_{\text{compressão}} = \frac{F_{\text{máx}}^c}{A_c}$$

$\sigma_{\text{compressão}}$  = Tensão de rotura à compressão uniaxial (MPa);

$F_{\text{máx}}^c$  = Carga máxima (N);

$A_c$  = Área da secção transversal onde foi aplicada e força (mm<sup>2</sup>).

### 3 – Discussão de resultados

#### 3.1 – Caracterização das amostras de RCD recolhidas

Através da observação das curvas granulométricas (Fig. 6) das diferentes amostras, constata-se que, a nível granulométrico, as amostras A e B são semelhantes e o mesmo acontece com as amostras C e D.

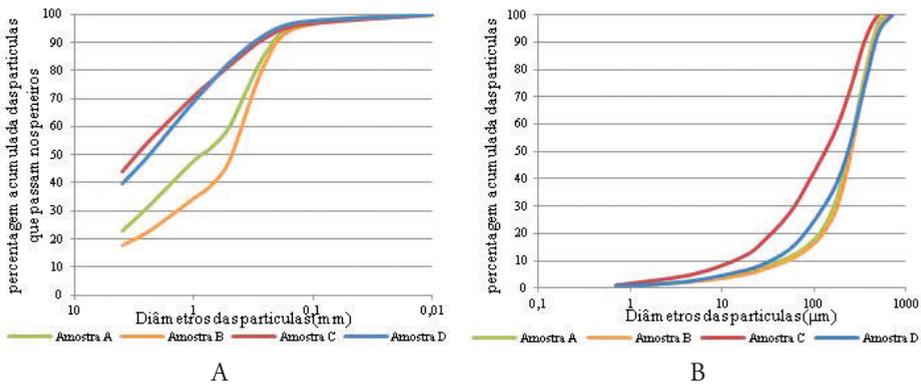


Fig. 6 – Curvas granulométricas. A – Método de peneiração, B – Granulometria a laser.

Nos diferentes difractogramas (Fig. 7) podemos observar a constituição mineralógica principal das amostras. Embora os resultados sejam avaliações qualitativas é possível verificar que as amostras A e B contêm maior quantidade de quartzo e de moscovite do que de calcite, enquanto as amostras C e D têm quantidades idênticas destes dois minerais. Todas as amostras têm na sua composição calcite, quartzo, caulinite, moscovite, ilite e feldspato potássico (feldspato K), feldspato sódico-cálcico (feldspato Na-Ca). A amostra C contém também vestígios de gesso. Os difractogramas de todas as amostras são bastante semelhantes, sendo as maiores intensidades correspondentes ao mesmo tipo de minerais, quartzo, moscovite e calcite.

Verificou-se que as amostras recolhidas eram semelhantes duas a duas (A e B, C e D), em relação à sua tonalidade, à sua constituição e às curvas granulométricas. Por essa razão, para a elaboração dos provetes decidiu-se juntar as amostras duas a duas e formar dois grupos de provetes distintos em relação à sua constituição.

Pela análise feita às amostras suspeita-se que duas delas (amostras A e B) sejam originárias da demolição de construções com terra, pois estas tinham uma tonalidade amarelada/acastanhada e na sua constituição, verificada macroscopicamente, tinham grande quantidade de adobe, e conseqüentemente, maiores quantidades de argila. As outras duas amostras tinham uma tonalidade acinzentada, e na sua constituição tinham grande quantidade de betão e tijolo, e não se observou adobe, suspeitando-se então, que estas duas últimas sejam originárias de construções mais recentes efetuadas com betão e tijolo.

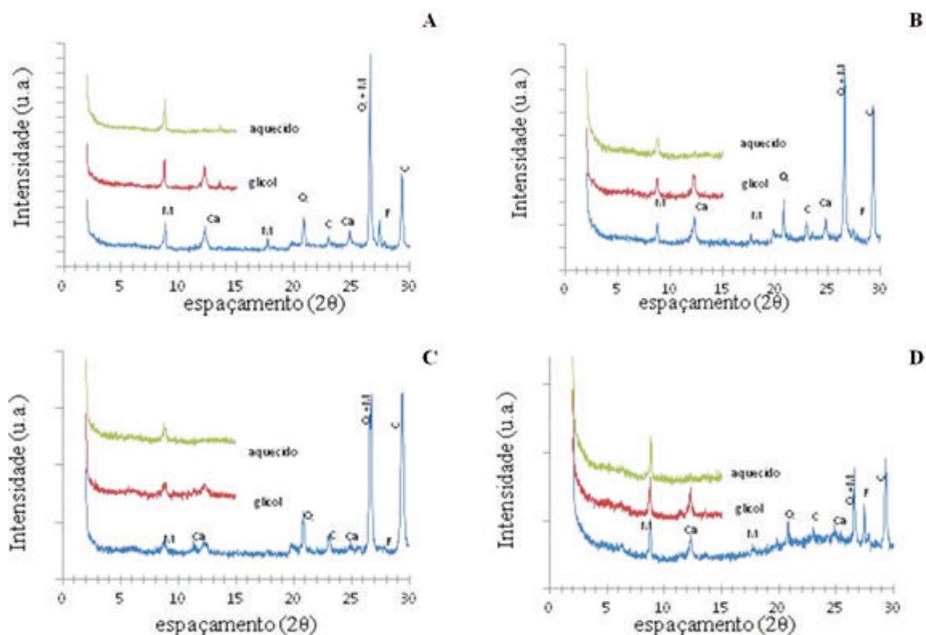


Fig. 7 – Difratogramas das diferentes amostras (C–Calcite, Ca–Caulinite, F–Feldspato, M–Moscovite, Q–Quartzo).

### 3.2 – Análise dos provetes

Após a realização dos ensaios de caracterização dos provetes, verificou-se que as amostras que apresentavam maior quantidade de betão (amostras C e D), são mais resistentes que as amostras que possuem maiores quantidades de argila (Tabela 1).

Tabela 1 - Propriedades dos diferentes grupos de provetes.

Amostras de RCD	CD			AB		
Grupos de provetes	PG	PI	PL	PH	PJ	PM
Tipo de cura	Estufa 40°C	Estufa 40°C	55%-65% de humidade; 19°-23°C de temperatura	Estufa 40°C	55%-65% de humidade; 19°-23°C de temperatura	55%-65% de humidade; 19°-23°C de temperatura
Tempo de cura (dias)	41	27	20	36	20	11
Módulo de Young (MPa)	1081,8	743,7	1155,4	349,5	552,1	458,7
Tensão de rotura à compressão (MPa)	0,472	0,241	0,366	0,084	0,083	0,120

Verificou-se ainda que as amostras que estiveram a secar nas condições de temperatura e humidade ambiente (temperatura de 19-23°C e a humidade entre 55%-65%) apresentam módulos de elasticidade e tensões de rotura à compressão maiores que as amostras que estiveram na estufa a aproximadamente 40°C, exceto o grupo de provetes PG, que apresentou os maiores valores de tensão de rotura à compressão e esteve à temperatura de 40°C na estufa. Estes resultados poderão justificar-se com a quantidade de água adicionada na preparação dos provetes PG, que foi inferior à dos restantes grupos de provetes, com a compactação que sofreram e ao tempo de cura, que foi superior ao dos restantes grupos de provetes.

#### 4 – Conclusão

Com a pesquisa efetuada sobre os RCD para a elaboração deste trabalho, ficou patente a urgência de valorizar e utilizar este tipo de resíduos.

Perante todas as razões apresentadas neste artigo e com base nos resultados obtidos é possível concluir que, apesar dos baixos valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão uniaxial que foram realizados às amostras de RCD (0,08 - 0,5MPa), o estudo de aplicações para este material é, de facto, muito importante e acredita-se que estes resíduos têm um elevado potencial de utilização na indústria de construção, podendo para isso proceder-se à modificação dos ligantes e dos teores de água utilizados.

**Agradecimentos** – À empresa J. Batista Carvalho - Aterro de Resíduos Inertes pela cedência dos materiais necessários, em particular à Eng.<sup>a</sup> Liliana Monteiro pela disponibilidade prestada e aos Eng. Silvino Capitão e Jorge Lourenço, e ao Sr. António Amaral (ISEC), pela disponibilidade e pelo apoio técnico na fase experimental. Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

#### Referências Bibliográficas

- BARANDAS, R. (2009) - *Gestão de Resíduos de Construção e Demolição*. Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real - Portugal: s.n. p 1-96, Dissertação de mestrado
- EVANGELISTA, L. (2007) - *Betões executados com agregados finos reciclados de betão*. Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: s.n. p. 1-178, Dissertação de mestrado.
- KAZMIERCZYK, P. e REICHEL, A. (2010) - *The European Environment. State And Outlook 2010. Material Resources And Waste*. European Environment Agency, Copenhagen, 2010. p. 1-46.
- MONIER, V., MUDGAL, S.; HESTIN, M.; TRARIEUX, M. e MIMID, S. (2011) - *Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste – SRI*. Paris: Bio Intelligence Service. p. 1-240.
- MYMRIN, V. e CORREA, S. M. (2005) - New construction from concrete production and demolition wastes and lime production waste. *Construction and Building Materials*, 21, p. 578-582.
- NENO, C. (2010) - *Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão*. Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: s.n. p. 1-128, Dissertação de mestrado.
- SALINAS, L. (2002) - *Gestão de resíduos de construção e demolição*. Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra. Coimbra: s.n. p. 1-273, Dissertação de mestrado
- TORGAL, F. e JALALI, S. (2010) - Ensaios de avaliação da durabilidade das construções em terra. *Terra em seminário 2010*. 9º Seminário Ibero-Americano de Arquitectura e Construção com terra. Ed. Maria Fernandes, Mariana Correia, Filipe Jorge. Argumentum, p. 138-141

(Página deixada propositadamente em branco)



ZONAMENTO GEOTÉCNICO DE UM TERRENO COM  
ESTRUTURAS ARQUEOLÓGICAS NO MOSTEIRO DE LORVÃO,  
PENACOVA, PORTUGAL

GEOTECHNICAL ZONING OF A TERRAIN CONTAINING  
ARCHAEOLOGICAL STRUCTURES AT THE LORVÃO MONASTERY,  
PENACOVA, PORTUGAL

M. Quinta-Ferreira<sup>1,2</sup>, J. Henriques<sup>2</sup>, J. Velho<sup>3</sup> & M. A. Oliveira<sup>2</sup>

**Resumo** – Apresenta-se a metodologia utilizada no zonamento geotécnico de um terreno adjacente aos Claustros do Mosteiro de Lorvão, Penacova, Portugal, com vista à caracterização da fundação para a construção de um passadiço metálico sobre as estruturas arqueológicas. No local encontram-se essencialmente solos residuais e aterros sobre rocha xistenta com alteração variável e estruturas arqueológicas dispersas. Efetuou-se o reconhecimento geológico das superfícies escavadas por entre as antigas estruturas de alvenaria, antes enterradas, foram executados ensaios não destrutivos com os equipamentos GeoGauge e densímetro nuclear, tendo também sido utilizada a classificação geomecânica “Rock Mass Rating – RMR” de Bieniawski. Foram definidas três zonas geotécnicas: xisto alterado, correspondente ao firme rochoso de melhor qualidade (ZG1); xisto decomposto (ZG2); e solos/aterros (ZG3). Recomenda-se a execução das fundações na ZG1 e excepcionalmente na ZG2.

**Palavras-chave** – Zonamento geotécnico; Xistos; GeoGauge; Gamadensímetro; Classificação geomecânica RMR.

*Abstract* – The work presents the methodology used in the geotechnical zoning of a terrain close to the Cloisters of the Lorvão Monastery, Penacova, Portugal, in order to characterize the foundations for the construction of a metal catwalk over the archaeological

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra, Portugal; mqf@uct.uc.pt

<sup>2</sup> Instituto Pedro Nunes, IPNlabgeo, Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal; jp.quintela@gmail.com; maoliveira@ipn.pt

<sup>3</sup> Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal; javelho@ua.pt

structures. The *in situ* materials mainly consist of residual soils and fills over bedrock schist with a wide range of weathering. A geological reconnaissance of the exposed ground surface, after the excavation through the buried structures, was made. Tests with the GeoGauge and the nuclear moisture-density gauge, together with the Bieniawski geomechanical classification “Rock Mass Rating - RMR” were used. Three geotechnical zones were defined: weathered schist, corresponding to the best rock quality material (ZG1); decomposed schist (ZG2), and soil/landfill (ZG3). The foundations are recommended to be done on ZG1 and exceptionally on ZG2.

**Keywords** – Geotechnical zoning; Schist; GeoGauge; Nuclear Gauge; Geomechanical classification RMR.

## 1 – Introdução

O presente estudo teve como principal objetivo a identificação e caracterização das condições geológicas e geotécnicas do terreno exposto após as escavações efetuadas no pátio adjacente aos claustros do Mosteiro do Lorvão em Penacova, Portugal, em que se pretendia projetar e construir um passadiço metálico sobre as estruturas arqueológicas encontradas nas escavações. Procurou-se efetuar uma avaliação das características dos terrenos com vista a definição da sua capacidade de suporte como terreno de fundação. Procurou-se uma abordagem tanto quanto possível não destrutiva, nem invasiva dos terrenos, face às características arqueológicas do local. A zona estudada é assinalada na Figura 1, utilizando uma vista de satélite retirada do Google Earth.

O Mosteiro do Lorvão situa-se a cerca de 16 km de Coimbra e 7 km de Penacova, sendo atribuída a sua possível fundação durante o século VI, ou com mais certezas ao século IX após a reconquista cristã de Coimbra, em 878. Depois de uma fase inicial na posse dos monges eremitas de Santo Agostinho, o mosteiro adotou, em meados do século XI, a Regra Beneditina, que se manteve até 1200, quando passou para a Ordem de Cister. O Mosteiro foi sofrendo diversas remodelações ao longo dos tempos, tendo a atual igreja sido remodelada entre 1748 e 1761. O claustro renascentista está rodeado por 13 capelas datadas do século XVII (IGESPAR, 2012).



Fig. 1 - Localização do terreno estudado, situado a oeste do claustro do Mosteiro do Lorvão, Penacova, Portugal (modificado sobre imagem de satélite do GOOGLE EARTH, 2012).

## 2 – Metodologia de trabalho

Tendo em vista os objetivos a concretizar foram executados os seguintes trabalhos:

- a) reconhecimento geológico do local e da zona envolvente e estudo geológico da superfície do terreno exposto pelas escavações arqueológicas;
- b) leituras com os equipamentos GeoGauge (SSG - Soil Stiffness Gauge) e densímetro nuclear (nuclear moisture-density gauge ) na superfície do terreno exposto após as escavações arqueológicas, seguindo uma malha de ensaios pré definida;
- c) interpretação da informação obtida, recorrendo à delimitação de zonas geotécnicas;
- d) apresentação das condicionantes geológicas e geotécnicas para a execução das fundações do passadiço metálico.

Os trabalhos foram realizados de acordo com um programa de trabalhos pré-estabelecido e acordado com o projetista do passadiço metálico, a construir sobre as ruínas arqueológicas QUINTA-FERREIRA & HENRIQUES (2011).

## 3 – Enquadramento geológico

De acordo com a Carta Geológica de Portugal, na escala 1:500 000 (Fig.2), o substrato rochoso na área em estudo é constituído por xistos pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico, Super Grupo do Douro-Beiras, de idade câmbrica/pré-câmbrica média, constituídos por turbiditos da Formação de Perais ( $C_{BP}$ ).

## 4 – Trabalhos de reconhecimento e de caracterização

Para se entender o quadro geológico local e as suas condicionantes para a execução da obra pretendida, face às estruturas arqueológicas existentes, constituídas essencialmente por muros em alvenaria de pedra e pelas capelas enterradas encostadas ao claustro, houve que efetuar alguns ajustamentos no plano de trabalhos. Uma das principais condicionantes foi a difícil acessibilidade às várias zonas de escavação, devido à compartimentação do terreno resultante das paredes de alvenaria postas a descoberto pelas escavações arqueológicas (Figura 3). Esta situação impedia a utilização de equipamentos pesados ou volumosos, não sendo também adequada a realização de ensaios destrutivos que pudessem danificar ou destruir vestígios arqueológicos importantes, quer expostos quer enterrados.

Nas superfícies expostas foi observada a distribuição dos materiais geológicos, quer na soleira deixada pelas escavações, quer nos muros e suas bases. A análise teve como objetivo determinar a distribuição dos materiais, com vista ao zonamento dos terrenos tendo em conta as suas características geotécnicas. Com este mesmo objetivo foram também realizados 23 pontos de leitura, em locais escolhidos considerados representati-

vos, utilizando quer o GeoGauge quer o densímetro nuclear (Figura 3). Enquanto com o Geogauge se obteve a rigidez, que foi convertida no módulo de Young (QUINTA FERREIRA et al., 2008), com o densímetro nuclear foi determinado o peso volúmico seco e o teor em água dos materiais.

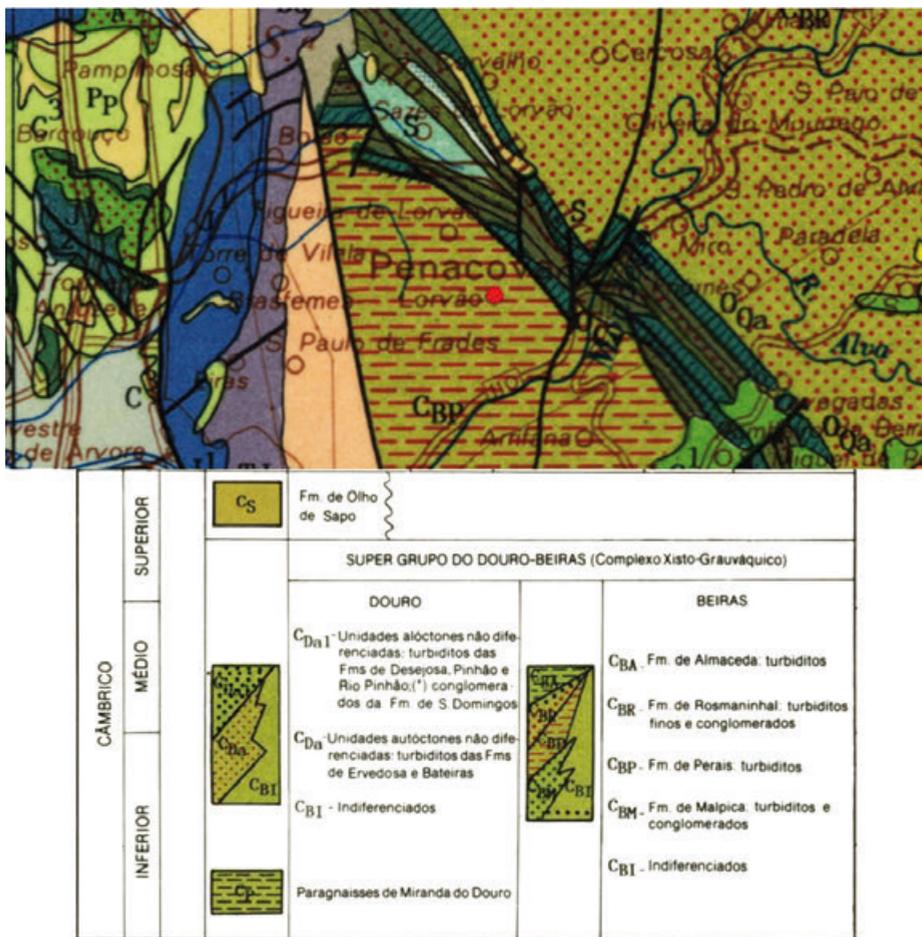


Fig. 2 - Enquadramento geológico da zona em estudo em extrato da Carta Geológica de Portugal, escala 1:500 000 (OLIVEIRA et al., 1992). ● Localização do Lorvão.

Procurou-se em particular avaliar os locais com características consideradas mais adequadas para a execução das fundações do passadiço metálico que se encontrava em fase de projeto, evitando os locais que pudessem apresentar maiores problemas, essencialmente constituídos por solos de aterros ou por xisto decomposto. Procurou-se também identificar os locais em que os muros assentavam em solos, e que ficaram expostos pelas escavações arqueológicas, de modo a avaliar os riscos de estabilidade desses muros.



Fig. 3 – Aspetto geral da zona estudada, sendo evidente a forte compartimentação do terreno resultante da escavação entre os muros, e execução de uma leitura com o GeoGauge.

### 5 – Classificação geomecânica de Bieniawsky (RMR)

Para a área em questão, constituída por xisto argiloso de cor castanha, aplicou-se a classificação geomecânica “*Rock Mass Rating – RMR*” proposta por BIENIAWSKI (1989).

Na análise efetuada foram estimados os parâmetros: resistência à compressão uniaxial da rocha intacta; condição das discontinuidades; influência da água. Por uma questão de segurança foram consideradas as situações mais desfavoráveis, nomeadamente as condições saturadas. A orientação das discontinuidades foi medida nos afloramentos xistosos.

Nas Tabelas 1 e 2 apresentam-se os parâmetros considerados no cálculo do RMR. Os resultados permitem antecipar as características a considerar para os terrenos e taludes que na generalidade são verticais ou subverticais. Na tabela 1 apresentam-se os cálculos para os xistos alterados e na Tabela 2 para os xistos decompostos, de modo a possibilitar a obtenção das características a considerar no projeto das fundações.

Com base nos resultados obtidos com a aplicação da Classificação RMR de Bieniawski, quer o xisto decomposto quer o xisto alterado são classificados na classe IV (Tabelas 1 e 2), que corresponde a maciços rochosos de qualidade fraca, a que podemos associar os parâmetros geotécnicos apresentados no final das tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Aplicação do RMR para os xistos alterados, com propriedades de uma rocha pouco resistente.

RMR em condições saturadas	Valor	Peso
Resistência da rocha intacta (MPa)	5-25	2
RQD (%)	< 25	3
Espaçamento das descontinuidades (m)	< 0,06	5
Condições das descontinuidades:		
Comprimento (m)	3-10	2
Abertura (mm)	0,1-1,0	4
Rugosidade	aplanadas	1
Enchimento (mm)	brando < 5mm	2
Alteração	alterado	3
Água no terreno	molhado	7
Ajustamento da orientação das descontinuidades (para fundações)	razoável	-2
RMR=		27
Conclusões da aplicação do RMR nos xistos alterados:		
- Maciço de classe IV. Rocha fraca.		
- Coesão da rocha 100 kPa a 200 kPa		
- Ângulo de atrito do maciço 15° a 25°		
- Instalar o suporte quando da escavação		

Tabela 2 - Aplicação do RMR para os xistos decompostos, com propriedades de uma rocha branda.

RMR em condições saturadas	Valor	Peso
Resistência da rocha intacta (MPa)	1-5	1
RQD (%)	< 25	3
Espaçamento das descontinuidades (m)	< 0,06	5
Condições das descontinuidades:		
Comprimento (m)	3-10	2
Abertura (mm)	0,1-1,0	4
Rugosidade	aplanadas	1
Enchimento (mm)	brando < 5mm	2
Alteração	decomposto	0
Água no terreno	molhado	8
Ajustamento da orientação das descontinuidades (para fundações)	razoável	-2
RMR=		23
Conclusões da aplicação do RMR aos xistos decompostos ( $W_r$ ):		
- Maciço de classe IV. Rocha fraca.		
- Coesão da rocha 100 kPa a 200 kPa.		
- Ângulo de atrito do maciço 15° a 25°		
- Instalar o suporte quando da escavação		

## 6 – Interpretação dos resultados - zonamento geotécnico

Com base na cartografia geotécnica e nos resultados dos ensaios não destrutivos realizados no local, foi possível interpretar a distribuição e características dos terrenos presentes, com vista à realização do projeto de recuperação dos claustros do Mosteiro de Lorvão, definindo o seu zonamento geotécnico, tendo sido consideradas três zonas (Fig. 4).

### ZG1) zona geotécnica de xisto alterado

A zona geotécnica 1 compreende o xisto muito compartimentado, de cor variável, em geral acastanhada ou amarelada acinzentada, sendo a zona que apresenta melhores características como terreno de fundação.

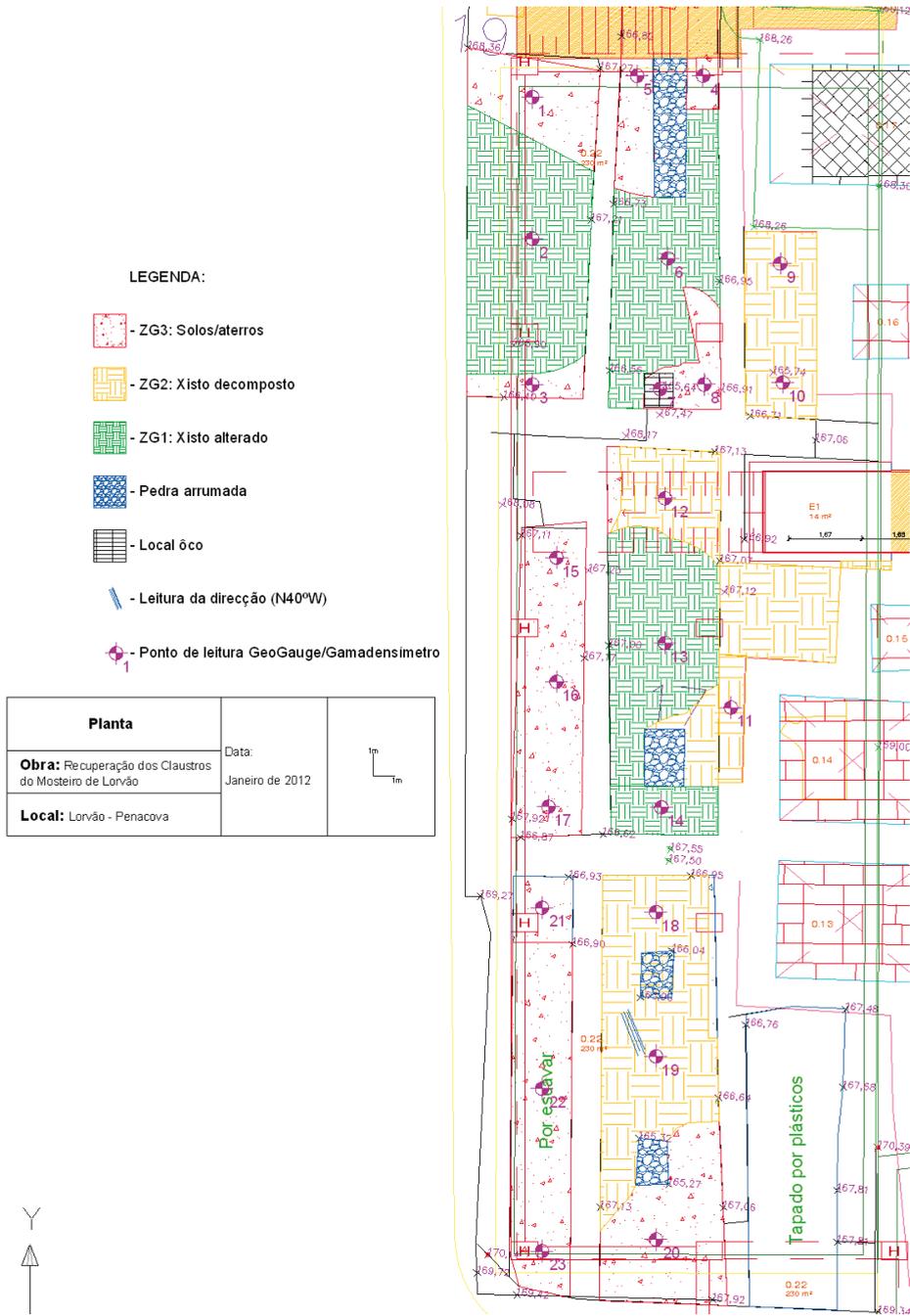


Fig. 4 – Planta de zonamento geotécnico dos terrenos, após as escavações arqueológicas que puseram a descoberto os muros.

A espessura atribuída a esta zona é elevada pois constitui a unidade do firme rochoso mais profundo. Os afloramentos desta zona encontram-se essencialmente na parte no-roeeste da área estudada. Na Tabela 3 é apresentado um breve resumo dos dados obtidos com os equipamentos GeoGauge e Densímetro Nuclear para a ZG1.

Tabela 3 – Resumo das medições com o GeoGauge e com o Densímetro Nuclear na ZG1.

	Módulo de Young (MPa)	Peso volúmico Seco (kN/m <sup>3</sup> )	Peso volúmico aparente (kN/m <sup>3</sup> )
Média	219,54	16,89	18,42
Desvio Padrão	89,38	1,55	1,61
Coefficiente de Variação (%)	40,71	9,19	8,75

A aplicação do RMR nos xistos alterados da ZG1 permitiu antecipar que se trata de um maciço de classe IV, com rocha fraca, possuindo coesão rondando os 100 kPa a 200 kPa, com um ângulo de atrito do maciço entre 15° a 25°. Recomenda ainda que seja instalado suporte quando da escavação. Para o xisto alterado (ZG1) admitiu-se um valor de 0,5 MPa para a tensão admissível. Considera-se para a formação xistenta um valor de peso volúmico aparente variável entre os 17 e os 24 kN/m<sup>3</sup>, sendo os valores determinados superficialmente mais baixos.

### ZG2) zona geotécnica de xisto decomposto e solo residual xistento

A zona geotécnica 2 compreende o xisto decomposto e o solo residual xistento, de cor variável, em geral acastanhada ou amarelada. O xisto decomposto presente nesta unidade ainda apresenta alguma estrutura xistosa, apesar de completamente alterado. É a unidade que exibe um comportamento intermédio entre a ZG1 (xisto alterado) e a ZG3 (aterros). A espessura não foi determinada, por ser muito variável.

Na Tabela 4 é apresentado um breve resumo dos dados obtidos com os equipamentos GeoGauge e Gamadensímetro.

Tabela 4 – Resumo das medições com o Geogauge e com o densímetro nuclear na ZG2.

	Módulo de Young (MPa)	Peso volúmico Seco (kN/m <sup>3</sup> )	Peso volúmico aparente (kN/m <sup>3</sup> )
Média	214,72	15,87	17,95
Desvio Padrão	83,62	1,20	1,22
Coefficiente de Variação (%)	38,94	7,56	6,81

A aplicação do RMR aos xistos decompostos permitiu identificar um maciço de classe IV, constituído por rocha fraca. A coesão da rocha será entre os 100 kPa e os 200 kPa, com um ângulo de atrito do maciço entre 15° a 25°, devendo ser instalado o suporte aquando da escavação. Quanto à tensão admissível, considerou-se um valor de 0,25 MPa para a ZG2.

### ZG3) zona geotécnica de aterros

Consideram-se englobados na zona geotécnica de aterros todos os solos superficiais remexidos pelo homem. Os materiais desta zona encontram-se soltos e descomprimidos,



constituindo uma zona com fracas características mecânicas, devido à baixa resistência e elevada deformabilidade, apesar de já terem sofrido alguma estabilização, devido aos muitos séculos de permanência após a sua colocação. Apresentam níveis negros carbonosos e fragmentos de pedras e de tijolo. Na Tabela 5 é apresentado um resumo dos dados obtidos para a ZN3 com os equipamentos GeoGauge e densímetro nuclear.

Tabela 5 – Resumo das medições com o GeoGauge e com o densímetro nuclear na ZG3.

	Módulo de Young (MPa)	Peso volúmico Seco (kN/m <sup>3</sup> )	Peso volúmico aparente (kN/m <sup>3</sup> )
Média	92,65	14,77	16,18
Desvio Padrão	48,49	1,64	1,91
Coefficiente de Variação (%)	52,33	11,12	11,78

Para os materiais que se encontram na ZG3, constituída por solos e aterros, considera-se uma tensão admissível de 0,10 MPa, devido à sua heterogeneidade.

## 7 – Considerações finais

A utilização de técnicas de ensaio in situ não destrutivas e a cartografia geológica permitiram identificar três zonas geotécnicas: uma constituída por xisto alterado, correspondente ao firme rochoso de melhor qualidade (ZG1); outra constituída por xisto decomposto (ZG2) e uma terceira zona de aterros (ZG3).

Dadas as fracas características apresentadas pela zona geotécnica 3 (ZG3) não se recomenda a sua utilização como terreno para a fundação do passadiço metálico. A fundação deverá ser feita na Zona Geotécnica 1 (ZG1) e, quando tal não for possível, na Zona Geotécnica 2 (ZG2).

É de realçar que o xisto alterado é muito evolutivo, comportando-se como solo argiloso quando sujeito a escavação e colocação em obra. Na preparação do terreno de fundação recomenda-se o saneamento dos materiais de alteração superficial menos resistentes, que possam vir a ser encontrados nos locais de fundação. Como as fundações do passadiço metálico deverão ser encastradas no terreno, poderá haver variações das características do maciço em profundidade, pelo que o zonamento superficial apresentado poderá não ser coincidente com as características existentes a maior profundidade, havendo necessidade de confirmar as características dos terrenos após a realização das escavações para as fundações, apesar de as propriedades dos terrenos tenderem a melhorar em profundidade.

Considera-se imperioso proceder também à estabilização e confinamento dos solos de aterros (ZG3) e mesmo de alguns casos do xisto decomposto (ZG2), que servem de fundação aos muros de alvenaria de pedra, pois que a desagregação progressiva destes terrenos com a ação da água e os fenómenos de secagem e molhagem, reduzem-lhes a capacidade de suporte, acabando por ocasionar a queda dos muros, com a sua destruição.

Realça-se finalmente que foi essencialmente caracterizada a superfície do terreno exposto, em resultado da escavação arqueológica, tendo todo o trabalho sido desenvolvido sem que fossem realizados trabalhos de prospeção mecânica ou ensaios invasivos ou destrutivos do terreno de modo a preservar a integridade arqueológica do local.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

400

## 8 – Referências Bibliográficas

BIENIAWSKI, Z.T. (1989) - Engineering Rock Mass Classification”. New York, *John Wiley*, 215p.

GOOGLE EARTH (2012) Tele Atlas.

IGESPAR (2012) Mosteiro de Lorvão – detalhe (consultado 2012.02.06). <http://www.igespar.pt/pt/patrimonio/pesquisa/geral/patrimonioimovel/detail/70694/>

QUINTA FERREIRA, M., SANTARÉM ANDRADE, P. & OLIVEIRA, M.A. (2008) - Caracterização da deformabilidade com o Geogauge. *IV Cong. Luso-Brasileiro de Geotecnia*, 7 de Abril, pp 129-136. Coimbra. (ISBN: 978-989-95740-1-4)

QUINTA-FERREIRA, M. & HENRIQUES, J. (2011) - Recuperação dos Claustros do Mosteiro de Lorvão, Lorvão – Penacova. Estudo Geológico-Geotécnico. Relatório PN/LABGEO/2011/006. Trabalho solicitado pela empresa Veiga Lopes, Lda. para o IGESPAR.

OLIVEIRA et al. (1992) Carta Geológica de Portugal. Escala 1:500 000. LNEG.

## ALTERAÇÃO E ALTERABILIDADE DE ROCHAS XISTOSAS / VANTAGENS PARA OS PROJETOS GEOTÉCNICOS

## WEATHERING AND WEATHERABILITY OF SCHIST ROCKS / ADVANTAGES FOR GEOTECHNICAL DESIGN

P. A. Ferreira<sup>1</sup> & F. L. Ladeira<sup>2</sup>

**Resumo** – A quantificação da alterabilidade de xistos é obtida a partir de índices físicos utilizando a lixiviação contínua num alterador apropriado para o efeito. Deste modo esta quantificação servirá como um alerta para o projetista, permitindo usar fatores de segurança adequados para a obra a construir, impermeabilizar ou impregnar a rocha de forma que esta não fique exposta aos agentes de meteorização a fim de reduzir a sua alterabilidade.

**Palavras-chave** – quantificação da alterabilidade, taxa de alteração natural, fatores de segurança.

*Abstract* – The weatherability quantification of schist rocks is obtained from physical parameters using continuous lixiviation in an appropriate apparatus. This quantification will be useful as an alarm to the designers, allowing the use of adequate security factors during construction, by sealing or impregnating the rocks, in order to avoid internal or external exposure to the weathering agents, reducing its weatherability.

*Keywords* – weatherability quantification, natural rate of weathering, security factors

### 1 – Introdução

O objetivo principal deste trabalho prende-se com a quantificação da alterabilidade de rochas xistentas. Através do processo de alteração acelerada de rochas xistentas, baseado numa lixiviação contínua, demonstra-se a possibilidade de obter a quantificação da

---

<sup>1</sup> Centro de Geologia da Universidade do Porto; paulo.ferreira@fc.up.pt

<sup>2</sup> Professor jubilado da Universidade de Aveiro; deltatau.lda@gmail.com

alterabilidade dessas rochas e incluir a tempo esses valores no projeto de qualquer obra (LADEIRA & FERREIRA, 2002). Paralelamente, esta quantificação pretende alertar para que o dimensionamento de diferentes obras de engenharia deverá ter em atenção a evolução da degradação dos maciços rochosos, como consequência da alteração dos minerais constituintes das rochas, em que essas obras forem implantadas.

O facto do estado de alteração modificar significativamente o comportamento geotécnico das rochas e dos maciços rochosos é bem conhecido (PINHO *et al.*, 2006).

Não é muito frequente que os processos de alteração sejam suficientemente uniformes para produzir modificações graduais e previsíveis das propriedades geotécnicas, ao longo dos perfis de alteração dos maciços rochosos. Os perfis de alteração são, em regra, heterogéneos, pois os maciços rochosos são formados por materiais com diferentes níveis de alteração. Esta complexidade depende de vários fatores tais como a litologia, a fracturação, a topografia, o clima e a oscilação do nível de água (PINHO *et al.*, 2006).

A experiência mostra que em poucas dezenas de anos, algumas vezes meses e, por vezes, em casos particulares e com condições especiais, em poucas semanas ou mesmo dias, uma rocha pode passar de um material bastante duro e compacto a um material friável e desprovido de qualquer coesão (RODRIGUES, 1975 & LADEIRA, 1984).

A alterabilidade pode afetar a segurança não só por via da estabilidade, como é mais corrente, mas também por intermédio de outras características da obra tais como a estanqueidade, no caso de reservatórios ou barragens, ou em certas qualidades da superfície, ligadas aos pavimentos rodoviários (NASCIMENTO, 1970).

Quanto maior for o grau de precisão na quantificação da alterabilidade, mais razoáveis poderão ser os fatores de segurança utilizados no dimensionamento das obras, o que resultará, na maioria dos casos, em custos finais mais baixos. Assim, através do conhecimento da evolução dos parâmetros geotécnicos do maciço, será possível utilizar fatores de segurança mais adequados, tendo em conta o tempo de vida útil das obras, evitando gastos excessivos e/ou acidentes desagradáveis, por não ter sido levada em linha de conta a evolução da alteração (alterabilidade), a qual se irá refletir na diminuição dos valores da resistência dos materiais onde são implantadas essas obras (FERREIRA, 2000).

Para alcançar o objetivo citado foram utilizadas amostras de xistos do Grupo das Beiras (ex. Complexo Xisto-Grauváquico), colhidas na zona envolvente à estrada Águeda-Talhadas, na vertente noroeste da Serra do Caramulo (carta topográfica 1:25000, folha 186).

Deve salientar-se que, os resultados obtidos e as ilações retiradas servirão apenas como guia para a evolução da alteração do tipo litológico referido e para regiões com características climáticas semelhantes.

## 2 – Metodologia utilizada

Realizou-se o reconhecimento da área de estudo tendo sido definidos os locais de amostragem de acordo com os objetivos que a seguir se descrevem.

Colheita de seis grupos de amostras distribuídas do seguinte modo: uma série de três grupos de três amostras de xistos, para cada um de três estágios visuais de alteração distintos  $W_1$ ,  $W_2$  e  $W_3$  (ISRM, 1981). Estas foram colocadas a alterar aos agentes atmosféricos na área de estudo - *amostras de campo*. Outra série idêntica foi colhida para ser colocada a alterar em laboratório, - *amostras de laboratório*. Na Fig. 1, apresentada na

página seguinte, representa--se, de forma esquemática, o equipamento onde se realizaram os ensaios de alteração laboratorial acelerada sendo cada uma das partes referenciadas através dos respectivos números.

À torneira da rede de água pública (1) ligou-se uma mangueira, de  $\frac{3}{4}$  de polegada em borracha flexível (2) a qual vertia a água fria para o interior de um depósito de 200 litros, em fibrocimento (3) o qual possuía uma válvula acionada por uma boia de nível. Desta forma, foi possível manter uma carga hidráulica aproximadamente constante, à entrada do esquentador (5) a qual era feita através de uma mangueira semelhante à referida anteriormente (4). Através de uma carga hidráulica constante foi possível regular os tempos dos ciclos de carga e de descarga do alterador.

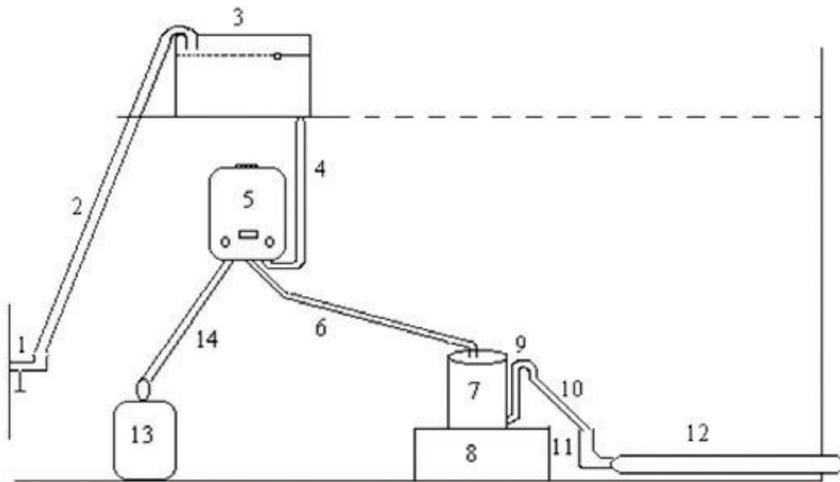


Fig. 1 – Montagem laboratorial para obtenção da alteração acelerada.

A saída de água quente do esquentador foi efetuada através de uma mangueira, de borracha flexível, de  $\frac{1}{2}$  polegada (6) a qual vertia diretamente no alterador (7). Este, por sua vez, encontrava-se sobre um suporte elevado (8) para tornar viável o escoamento da água de descarga, por gravidade, após expulsão do alterador por sifonamento, através do tubo sifão do aparelho (9). Ligado a este tubo sifão existia uma mangueira, de borracha flexível, de  $\frac{1}{2}$  polegada (10) a qual estava, com a outra extremidade, inserida num tubo de plástico rígido, em forma de “L” (11). Este, por sua vez, vertia para uma meia-cana, em plástico rígido (12) com uma inclinação de aproximadamente 3%, que lançava a água com lixiviados para a rede de águas pluviais. A fonte energética que alimentava o esquentador, para aquecimento da água, era uma garrafa de gás butano (13) ligada através de um tubo de borracha próprio para o transporte de gás (14).

Todas as amostras foram levadas para o laboratório onde se procedeu à sua serragem e determinação dos índices físicos.

Os índices físicos determinados, peso volúmico aparente ( $\gamma_a$ ), porosidade aparente ( $\eta_a$ ) e absorção de água ( $A$ ), foram calculados através dos métodos sugeridos pelo comité para testes de laboratório (ISRM, 1972), através dos valores dos pesos seco, saturado e submerso das amostras, utilizando-se, para tal, as seguintes relações matemáticas:

$$\gamma_a = (P_1 / (P_2 - P_3)) * \gamma_w \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (1) \quad \eta_a = ((P_2 - P_1) / (P_2 - P_3)) * 100 \text{ (\%)} \quad (2)$$

$$A = ((P_2 - P_1) / P_1) * 100 \text{ (\%)} \quad (3) \quad \begin{array}{l} P_1 - \text{Peso da amostra seca; } P_2 - \text{Peso da amostra saturada;} \\ P_3 - \text{Peso da amostra submersa; } \gamma_w - \text{Peso específico da} \end{array}$$

404

Determinaram-se os valores iniciais, ou primeiros valores, para cada índice, os quais se encontram registados como primeiros valores, 0 dias na Tabela 1 e 0 ciclos na Tabela 2. Todas estas amostras foram divididas em dois grupos.

Um dos grupos, designado por *amostras de campo*, foi colocado a alterar aos agentes atmosféricos na zona de estudo, na povoação de Cadaveira - Valongo do Vouga, e foi recolhido para determinar a evolução dos índices físicos, com uma periodicidade próxima aos três meses. A evolução desses valores no tempo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Evolução, no tempo, dos três índices físicos determinados:  $\gamma_a$  (kN/m<sup>3</sup>),  $\eta_a$  (%) e  $A$  (%) das amostras de xisto expostas aos agentes atmosféricos

Amostras		X1C	X2C	X3C	X4C	X5C	X6C	X7C	X8C	X9C
Dias	Índices									
0	$\gamma_a$	24,46	24,27	23,46	25,17	24,97	25,27	24,01	22,72	23,64
	$\eta_a$	8,06	9,01	9,37	4,40	5,52	4,80	7,96	15,18	11,32
	$A$	3,22	3,63	3,91	1,71	2,16	1,86	3,24	6,53	4,68
68	$\gamma_a$	24,39	24,21	23,29	25,14	24,91	25,21	23,98	22,67	23,61
	$\eta_a$	8,28	9,20	10,14	4,47	5,82	4,88	8,07	15,36	11,41
	$A$	3,32	3,71	4,25	1,74	2,28	1,89	3,29	6,62	4,72
152	$\gamma_a$	24,39	24,21	23,30	25,14	24,89	25,21	23,98	22,66	23,61
	$\eta_a$	8,36	9,25	10,17	4,59	6,04	4,92	8,13	15,42	11,45
	$A$	3,35	3,74	4,27	1,78	2,37	1,91	3,31	6,65	4,74
213	$\gamma_a$	24,40	24,21	23,26	25,12	24,87	25,21	23,98	22,65	23,62
	$\eta_a$	8,42	9,33	10,27	4,73	6,19	4,96	8,24	15,48	11,46
	$A$	3,38	3,77	4,32	1,84	2,43	1,92	3,36	6,68	4,74
282	$\gamma_a$	24,39	24,20	23,26	25,12	24,85	25,21	23,97	22,53	23,62
	$\eta_a$	8,48	9,44	10,30	4,81	6,33	4,99	8,29	16,07	11,50
	$A$	3,40	3,81	4,33	1,87	2,49	1,94	3,39	6,98	4,76
362	$\gamma_a$	24,37	24,18	23,06	25,09	24,82	25,18	23,95	22,49	23,59
	$\eta_a$	8,53	9,49	10,81	4,96	6,38	5,03	8,35	16,12	11,55
	$A$	3,42	3,84	4,58	1,93	2,52	1,95	3,41	7,01	4,78
448	$\gamma_a$	24,35	24,61	23,01	25,06	24,79	25,15	23,92	22,46	23,56
	$\eta_a$	8,56	8,00	10,92	5,11	6,56	5,07	8,41	16,19	11,58
	$A$	3,43	3,18	4,64	1,99	2,58	1,97	3,43	7,04	4,80
520	$\gamma_a$	24,37	24,53	23,00	25,07	24,80	25,17	23,93	22,45	23,57
	$\eta_a$	8,62	8,42	11,07	5,18	6,63	5,15	8,47	16,31	11,63
	$A$	3,46	3,36	4,71	2,02	2,61	2,00	3,46	7,10	4,82

Um outro grupo de amostras, designado por *amostras de laboratório*, foi colocado a alterar no alterador laboratorial, sujeitando-o a uma lixiviação contínua através de ciclos de carga/descarga do alterador com a temperatura da água aproximadamente constante, próxima a 60°C. Os ciclos de carga/descarga tinham uma duração aproximada de

7 minutos, uma vez que o enchimento demorava cerca de 5 minutos e o esvaziamento cerca de 2 minutos. De referir que, o enchimento ocorria continuamente, mesmo quando estava a acontecer o esvaziamento por sifonamento. Assim, a quantidade de água que entrava no alterador por cada ciclo correspondia ao volume útil do alterador (volume total menos o volume das amostras) mais o volume de água que entrava enquanto estava a ocorrer a descarga. Pelos cálculos efetuados esse volume de água seria de, aproximadamente, 13 litros.

Ao fim de alguns ciclos (entre 1000 e 2000) as amostras foram retiradas do alterador para se determinarem os valores dos índices físicos. Na Tabela 2 apresenta-se a evolução desses valores ao longo do “tempo laboratorial”.

Tabela 2 – Evolução dos três índices físicos determinados:  $\gamma_s$  (kN/m<sup>3</sup>),  $\eta_s$  (%) e  $A$  (%), com os ciclos, das amostras de xisto sujeitas a alteração laboratorial acelerada

Amostras		X1L	X2L	X'2'L	X3L	X4L	X5L	X'6'L	X7L	X8L
Ciclos	Índices									
0	$\gamma_s$	25,19	25,12	25,35	24,37	24,54	24,96	25,31	22,35	22,47
	$\eta_s$	6,17	6,07	5,04	8,34	6,47	4,77	5,63	15,14	10,32
	$A$	2,39	2,36	1,95	3,35	2,58	1,87	2,18	6,62	4,49
928	$\gamma_s$	25,17	25,08	25,30	24,20	24,45	24,91	25,26	22,32	22,45
	$\eta_s$	6,27	6,14	5,24	8,94	6,75	4,86	5,72	15,20	10,39
	$A$	2,43	2,39	2,02	3,61	2,70	1,90	2,21	6,65	4,52
2250	$\gamma_s$	25,18	25,09	25,28	24,18	24,40	24,87	25,27	22,32	22,45
	$\eta_s$	6,31	6,22	5,43	9,10	7,04	5,05	5,82	15,25	10,46
	$A$	2,45	2,42	2,10	3,68	2,82	1,99	2,25	6,68	4,56
4224	$\gamma_s$	25,18	25,09	25,28	24,16	24,34	24,85	25,27	22,33	22,43
	$\eta_s$	6,34	6,26	5,46	9,21	7,33	5,19	5,86	15,25	10,53
	$A$	2,46	2,44	2,11	3,73	2,94	2,04	2,27	6,68	4,59
5946	$\gamma_s$	25,16	25,07	25,25	24,13	24,29	24,83	25,24	22,28	22,42
	$\eta_s$	6,36	6,30	5,54	9,30	7,48	5,30	5,91	15,31	10,60
	$A$	2,47	2,45	2,14	3,77	3,01	2,09	2,29	6,71	4,62
7948	$\gamma_s$	25,15	25,05	25,21	24,07	24,24	24,80	25,23	22,29	22,39
	$\eta_s$	6,38	6,32	5,67	9,53	7,64	5,41	5,96	15,37	10,67
	$A$	2,48	2,46	2,20	3,87	3,08	2,13	2,31	6,74	4,66
9460	$\gamma_s$	25,13	25,04	25,19	24,03	24,22	24,77	25,21	22,26	22,38
	$\eta_s$	6,42	6,36	5,72	9,72	7,72	5,50	6,03	15,46	10,74
	$A$	2,49	2,48	2,22	3,95	3,12	2,17	2,34	6,79	4,69
11467	$\gamma_s$	25,12	25,03	25,19	24,01	24,21	24,76	25,20	22,25	22,37
	$\eta_s$	6,45	6,39	5,75	9,96	7,81	5,55	6,10	15,52	10,81
	$A$	2,51	2,50	2,23	4,05	3,15	2,19	2,36	6,80	4,72

Para determinar as taxas de alteração natural anual dos xistos nas *amostras de campo* utilizou-se a seguinte metodologia, para cada amostra: (i) determinou-se a diferença entre os valores inicial e final (ou vice-versa, conforme o índice físico) para cada um dos índices determinados; (ii) esta diferença foi dividida por 520 para obter o valor da taxa de alteração natural diária, uma vez que as amostras estiveram 520 dias a alterar

no campo; (iii) o valor encontrado foi multiplicado por 365, para obter o valor da taxa de alteração natural anual (FERREIRA, 2000).

Os valores obtidos são apresentados na Tabela 3, tendo-se verificado que existiam taxas de alteração natural quase iguais e por isso se associaram imediatamente, para obter um valor médio.

Tabela 3 – Taxas anuais de alteração natural para cada propriedade física, das amostras de xisto expostas aos agentes atmosféricos (amostras de campo), durante 520 dias

Índices	Amostras									
	X1C	X2C	X3C	X4C	X5C	X6C	X7C	X8C	X9C	
$\gamma_a$ (kN/m <sup>3</sup> )	0,067	0,095	0,325	0,076	0,122	0,072	0,058	0,186	0,049	
$\eta_a$ (%)	0,391	0,485	1,193	0,550	0,778	0,246	0,357	0,792	0,219	
$A$ (%)	0,165	0,209	0,560	0,218	0,316	0,100	0,153	0,399	0,100	

Como existiam, para cada índice, taxas anuais de alteração natural relativamente próximas, agruparam-se algumas para apenas se obterem apenas três taxas de alteração natural bem distintas, as quais são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Taxas anuais de alteração natural agrupadas (mínima, média e máxima) para amostras de campo dos xistos para os diferentes índices físicos

	$\gamma_a$ ( $\Delta\gamma_a/\text{ano}$ )	$\eta_a$ ( $\Delta\eta_a/\text{ano}$ )	$A$ ( $\Delta A/\text{ano}$ )
$T_{\min}$	0,063	0,362	0,154
$T_{\text{med}}$	0,090	0,525	0,211
$T_{\max}$	0,187	0,734	0,353

O agrupamento das taxas de alteração natural das diferentes amostras não deixa dúvidas aos autores, contudo é um ponto que poderá ter alguma subjetividade e influenciar, de algum modo, os resultados finais da quantificação da alterabilidade (alteração no tempo).

A evolução de cada índice físico com a alteração das amostras sujeitas aos agentes atmosféricos, aqui designada por *alteração natural*, e com a alteração das amostras sujeitas aos ciclos do alterador, aqui designada por *alteração laboratorial*, encontra-se registada nas Tabelas 1 e 2. Se para a alteração laboratorial é possível produzir um gráfico que possa caber dentro do papel, o mesmo não é possível para a alteração natural. Apresentam-se, nas Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4, os gráficos obtidos por *alteração laboratorial* experimental para cada índice estudado.



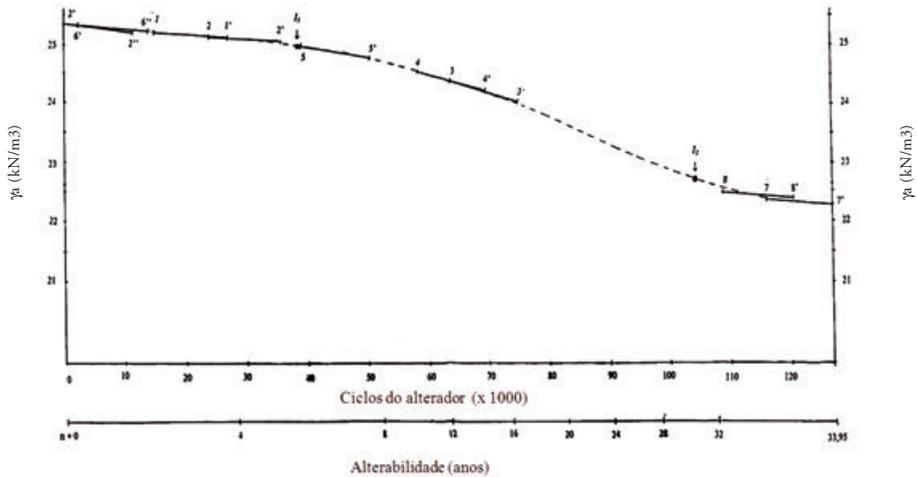


Fig. 2 – Curva de alteração experimental para xistos, relativa ao peso volúmico aparente ( $\gamma_a$ ) e respetiva quantificação da alterabilidade

Como cada amostra tem uma alteração específica, dependente do seu estágio inicial visual de alteração, projetou-se a evolução de cada propriedade de forma que no conjunto de todas as amostras ensaiadas para cada índice descrevesse uma curva, sem modificar (para cada índice e em cada amostra) o ângulo de inclinação entre o 1º valor (início do processo, ou seja no ciclo zero) e o 8º valor (ao fim de 11467 ciclos), com os valores intermédios a serem levados em consideração. Há alguma subjetividade relativamente aos ajustes realizados, os quais, por vezes, não foram perfeitos. Isso acontece devido às amostras não apresentarem exatamente a mesma composição química, mineralógica e textural e a evolução da alteração para um determinado índice físico poderá pertencer a uma outra curva paralela, ou seja, na construção da curva pressupõe-se que as diferentes amostras, com diferentes estágios visuais de alteração, sejam uma sequência contínua de estágios de alteração, quando na verdade isso não corresponde à realidade. Apesar disso e considerando que se trabalha com valores médios, esta definição da curva é bastante importante para se obter a quantificação da alterabilidade, como será referido mais adiante.

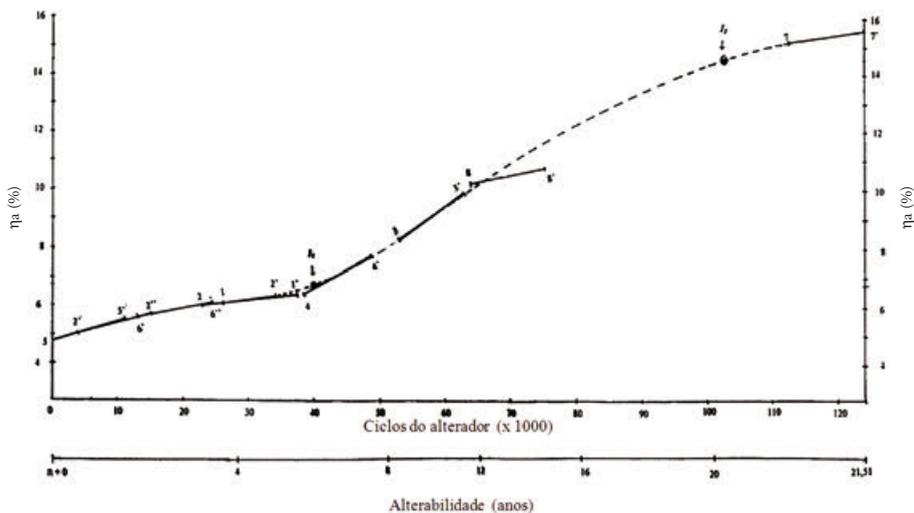


Fig. 3 – Curva de alteração experimental para xistos, relativa à porosidade aparente ( $\eta_a$ ) e respetiva quantificação da alterabilidade

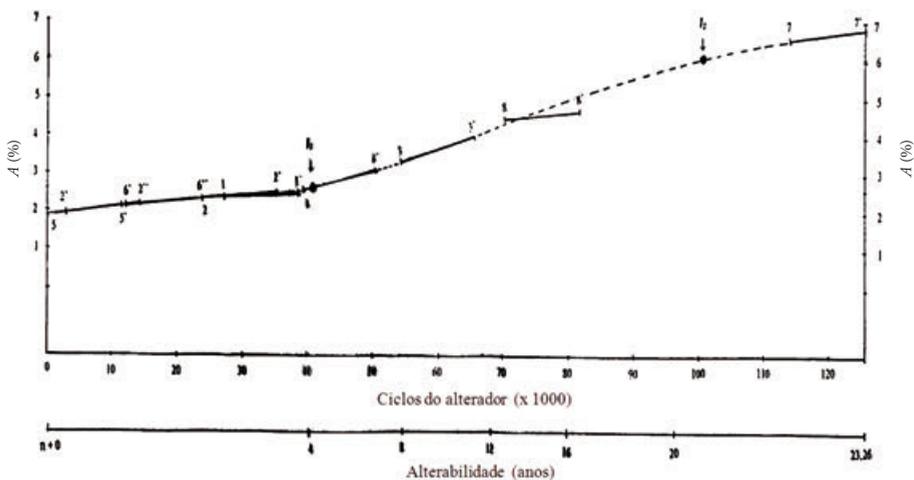


Fig. 4 – Curva de alteração experimental para xistos, relativa à absorção de água ( $A$ ) e respetiva quantificação da alterabilidade

### 3 – Quantificação da alterabilidade dos xistos

Para obter a quantificação da alterabilidade dos xistos para cada índice estudado, utilizou-se a metodologia usada por LADEIRA & MINETTE (1984 a e b) e LADEIRA & GOMES (1985). Assim, a partir de cada curva de alteração experimental determinaram-se os pontos de inflexão  $I_1$  e  $I_2$  de cada curva, que são de grande importância (ver Fig. 2,

Fig. 3 e Fig. 4). Como é sabido, cada valor da taxa de alteração natural ( $T_{\min}$ ,  $T_{\text{med}}$  e  $T_{\max}$ ) apresentado na Tabela 4, corresponde à variação média de um determinado índice físico num ano. No eixo dos YY, dos gráficos das referidas figuras, estão marcadas as variações dos respetivos índices. Se for marcada nesse eixo a variação anual desse índice e se seguir horizontalmente para a curva de alteração experimental, obtém-se o espaço de um ano no eixo dos XX. Será necessário verificar como varia o índice e de acordo com essa variação utilizar  $T_{\min}$ ,  $T_{\text{med}}$  ou  $T_{\max}$ . A  $T_{\text{med}}$  (taxa intermédia) foi sempre aplicada entre os pontos de inflexão  $I_1$  e  $I_2$ , sendo que as outras taxas foram aplicadas nos outros extremos. Contudo, atendendo à inclinação das curvas, talvez fosse conveniente utilizar entre os pontos de inflexão  $I_1$  e  $I_2$  a  $T_{\max}$ . Para que fique de fácil leitura deve marcar-se abaixo do eixo dos XX um outro eixo paralelo correspondente à alterabilidade em anos, como se apresentou nas Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4.

De salientar que, se tudo estiver bem marcado, a quantificação da alterabilidade, para um determinado tipo litológico, não deverá haver uma variação de mais de 10 a 20% entre os diferentes índice físicos utilizados. Na Tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos para as quantificações da alterabilidade do tipo litológico estudado.

Tabela 5 – Quantificação da alterabilidade dos xistos utilizando três taxas anuais de alteração natural

	Tempo médio de alteração (anos e dias)	Tempo médio de alteração (anos)
$\gamma_a$	n + 33 anos + 347 dias	33,95
$\eta_a$	n + 21 anos + 186 dias	21,51
$A$	n + 23 anos + 95 dias	23,26

#### 4 – Conclusões

O valor obtido para a quantificação da alterabilidade dos xistos utilizando o volume específico aparente foi significativamente diferente daquele obtido para os outros dois índices. As razões para este facto poderão dever-se às variações ocorridas num curto intervalo de tempo serem mais sensíveis para o volume específico aparente, fazendo com que pequenos erros acumulados, quer no decurso da aplicação do método para a determinação dos valores dos índices físicos, quer na projeção e utilização das curvas de alteração acelerada para a quantificação da alterabilidade, se fazerem sentir com maior acuidade para esse índice.

Deve-se realçar que com esta metodologia se pretende apenas alertar o projetista de uma determinada obra que as rochas xistentas, em condições climatéricas semelhantes às que se verificam na zona em que se desenvolveu esta investigação, poderão passar de pouco alteradas a muito alteradas em  $x$  anos, para que sejam tomadas as cautelas adequadas em função dessa informação. No caso presente, passam de aproximadamente 4,8% de porosidade aparente para 15,5% em cerca de 22 anos. Contudo, deve acrescentar-se que o maciço não estará tão fraturado como foram estas amostras e que este tempo terá sido substancialmente reduzido. Para o caso de ter sido utilizada a taxa natural de alteração mínima para toda a curva obter-se-iam cerca de 35 anos. Provavelmente, o primeiro valor poderá interessar mais por questões de segurança.

Esta investigação não sendo absolutamente conclusiva, serve no entanto como guia e poderá contribuir para que se adotem soluções tais como impermeabilizações ou impregnações das rochas para que não fiquem diretamente em contacto com os agentes atmosféricos e/ou sejam colmatados espaços vazios existentes no maciço rochoso.

## Referências Bibliográficas

410

- RODRIGUES, D. (1975) - "Alterabilidade de rochas em problemas de Geologia de Engenharia. Aplicação a casos portugueses". *Tese para especialista do LNEC* – Lisboa.
- FERREIRA, P. (2000) - "Alteração e alterabilidade das rochas. Implicações em obras de engenharia". *Tese de Mestrado*. Universidade de Coimbra, 246pp.
- ISRM (1972) - "Committee on laboratory Tests: Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties". Document nº 2, 36p.
- ISRM (1981) - "Basic geotechnical description of rock masses". *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 18, pp. 85-110.
- LADEIRA, F. (1984) - "Instabilidade em taludes rochosos provocado por rápido intemperismo". *4º Cong. Bras. de Geol. Eng.ª*, pp. 377-382 – Belo Horizonte.
- LADEIRA, F. e MINETTE, E. (1984a) - "Índices físicos de alteração na quantificação da alterabilidade de rochas". *4º Cong. Bras. de Geol. Eng.ª*, vol. 3 pp. 359-363 – Belo Horizonte.
- LADEIRA, F. e MINETTE, E. (1984b) - "A quantificação da alterabilidade das rochas". *Geotecnia* nº 40, pp. 27-36.
- LADEIRA, F. e GOMES, M. (1985) - "Quantificação da alterabilidade de um gnaíse". *Revista de Geociências, Aveiro*, vol. 1, pp. 61-66.
- LADEIRA, F. e FERREIRA, P. (2002) - "Alteração e alterabilidade das rochas/Implicações em obras de engenharia". *8º Congresso Nacional de Geotecnia, vol.1, pp. 471-481* – LNEC – Lisboa.
- NASCIMENTO, U. (1970) - "O problema da alterabilidade das rochas em engenharia civil". *Memória nº 363* – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- PINHO, A., CARVALHO, J., GOMES, C. e DUARTE, I. (2006) - "Overview of the evaluation of the state of rock weathering by visual inspection". IAEG, Paper number 260, 7pp. The Geological Society of London.

## CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE ZONAS DEGRADADAS NAS MARGENS DO RIO MONDEGO EM COIMBRA

### GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF DEGRADED RIVER BANKS IN THE MONDEGO RIVER IN COIMBRA

M. Quinta-Ferreira<sup>1,2</sup>, M. A. Oliveira<sup>2</sup> & J. Henriques<sup>2</sup>

**Resumo** – Apresentam-se a metodologia e os trabalhos realizados no estudo e zonamento geotécnico de zonas degradadas nas margens do rio Mondego, entre o Parque Manuel Braga e o Açude-Ponte em Coimbra, Portugal. Após a identificação das zonas mais problemáticas, foi efetuado o reconhecimento geológico e realizadas quatro sondagens em complemento de outras onze, mais antigas. As margens são essencialmente constituídas por terrenos artificiais, que englobam pavimentos, tout-venant, aterros heterogéneos e blocos calcários com argamassa hidráulica, que constituem os muros de suporte existentes na margem do rio. Os terrenos naturais são aluviões predominantemente arenosas com intercalações de lodo argilo-siltoso, passando em profundidade a cascalheira, seixos e areia. Foram consideradas duas zonas geotécnicas nas aluviões: uma constituída por areias e lodos, e a outra constituída por cascalheira. A cascalheira tende a apresentar melhores condições de resistência e menor deformabilidade, embora os valores do ensaio SPT sejam muito variáveis. As deficiências observadas nos muros e diques terão sido originadas quer pela consolidação das aluviões mais finas, quer pelos assentamentos e baixa resistência dos aterros soltos.

**Palavras-chave** – Margens do Mondego; Deformações; Estudo geotécnico

*Abstract* – *The methodology and the prospection works executed in the study and geotechnical zoning of degraded areas of the banks of the Mondego river, between the Manuel Braga Park and the Bridge-weir in Coimbra, Portugal are presented. After the definition of the most problematic areas, a geological reconnaissance and four boreholes were done, com-*

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciências da Terra, Centro de Geociências, Largo Marquês de Pombal, Universidade de Coimbra, 3000-272 Coimbra, Portugal; mqf@uct.uc.pt,

<sup>2</sup> Instituto Pedro Nunes, IPNlabgeo, Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal; maoliveira@ipn.pt; jp.quintela@gmail.com

plemented by other eleven boreholes already available. The banks are mainly constituted of artificial ground, including pavements, tout-venant, heterogeneous landfills and limestone blocks cemented with hydraulic mortar, belonging to the retaining walls of the riverbanks. The natural ground is predominantly sandy alluvium with interbedded silty-clay mud, changing in depth to gravel, pebbles and sand. Two geotechnical zones were considered in the alluvium: one constituted by sand and mud, and the other constituted by gravel. The alluvium of the lower zone tends to present higher strength, although the values of the SPT tests are quite variable. The deficiencies would be caused by the consolidation of the alluvium mud and by the settlement and low strength of the loose fills.

*Keywords – Mondego Banks; Deformations; Geotechnical Study.*

## 1 – Introdução

A existência de deficiências nos muros e diques de contenção, tais como fissuras sub-verticais e inclinação excessiva, assentamentos nos muros, escadas e rampas, justificaram o estudo das características geotécnicas das margens do rio Mondego, na cidade de Coimbra (QUINTA-FERREIRA et al., 2011). Estas anomalias, detetadas ao longo dos últimos anos, têm sofrido agravamento, o que induziu a tomada de algumas medidas de segurança por parte do Município de Coimbra, nomeadamente a interdição do estacionamento junto ao rio, entre a estação da comboio de Coimbra-A e o Açude-Ponte.

O objetivo do presente estudo foi identificar e caracterizar as condições geológicas e geotécnicas das zonas degradadas nas margens do rio Mondego, entre o Parque Manuel Braga e o Açude-Ponte, para seleção dos parâmetros geotécnicos a adotar no projeto de execução da estabilização das estruturas de contenção.

## 2 – Metodologia de trabalho

Tendo em vista os objetivos a concretizar foram executadas quatro sondagens à rotação com a realização de ensaios SPT - *Standard Penetration Test* (CIRIA, 1985) a cada 1,5m de profundidade.

Na seleção dos locais de prospeção teve-se em consideração as necessidades específicas do projeto, nomeadamente a recolha dos elementos geotécnicos necessários à caracterização das zonas mais afetadas, e as condições locais no que respeita à ausência de infraestruturas enterradas que pudessem ser danificadas com a realização das sondagens.

Foram ainda considerados os dados relativos a diversas sondagens realizadas no âmbito de outros projetos localizados na área em estudo, ou próximo dela:

- oito sondagens (S1 a S8) realizadas em março de 2009, para a empresa Águas do Mondego, S.A., no âmbito do projeto “Sistema Adutor da Boavista – Sector Central I – Traçado Comum com o Saneamento – Coimbra”, cedidas pela Câmara Municipal de Coimbra;
- três sondagens (S1 a S3) realizadas em março de 2010, pelo IPNlabgeo – Laboratório de Geotecnia do Instituto Pedro Nunes, no âmbito do projeto “Construção da Nova Escada de Peixes do Açude-Ponte de Coimbra”.

Na Figura 1 apresenta-se a localização das sondagens mencionadas, utilizando uma vista de satélite retirada do Google Earth.

### 3 – Enquadramento geológico

A área de estudo localiza-se na bacia hidrográfica do rio Mondego, no troço final da unidade hidromorfológica designada por Médio Mondego. A montante de Coimbra o rio percorre vales estreitos e encaixados que progressivamente se vão suavizando, começando o seu leito a alargar progressivamente para jusante da ponte da Portela, transitando definitivamente para um vale largo a partir do Açude-Ponte.

De acordo com a Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50 000, Folha 19-D, Coimbra – Lousã (SOARES et al., 2007), encontram-se cartografados nas margens do rio Mondego depósitos aluvionares do Quaternário (Holocénico). Na margem direita afloram ainda os depósitos designados por Areias Vermelhas do Estádio, igualmente datados do Quaternário (Holocénico), sendo depósitos terrígenos que traduzem a evolução recente da geologia de superfície.

O vale aluvionar encaixa no firme rochoso constituído por calcários e arenitos pertencentes, respetivamente, às Camadas de Coimbra, do Jurássico Inferior (Sinemuriano – Carixiano Inferior), e à Formação de Castelo Viegas, do Triásico Superior.



Fig. 1 – Localização das sondagens realizadas nas margens do rio Mondego, entre o Parque Manuel Braga e o Açude-Ponte, utilizando o Google Earth (2012). Sondagens: S1 a S4 (a vermelho) – sondagens realizadas no âmbito do presente estudo, em agosto de 2011; (S1\_EP a S3\_EP (a azul) – Escada de Peixe; S1\_SAB a S8\_SAB (a amarelo) – Sistema Adutor da Boavista.

As aluviões resultam da acumulação de materiais associados à dinâmica fluvial, correspondendo a depósitos terrígenos com estruturação interna que traduzem a evolução do leito aluvial do rio Mondego.

A montante do Açude-Ponte, as aluviões são constituídas por areias no topo e areias com seixos e calhaus na base, sendo as intercalações lenticulares de lodos e argilas menos significativas, quer em espessura quer em extensão.

A espessura das aluviões é variável, tendo sido determinado na zona da Quinta da Boavista, a montante da área a interencionar, uma espessura de 25 m e na zona do Açude-Ponte uma espessura rondando os 40 m.

As Camadas de Coimbra são essencialmente de natureza dolomítica, constituídas por dolomitos e calcários dolomíticos. A colina de Santa Clara, constituída pelos calcários das Camadas de Coimbra, encontra-se na margem esquerda do rio Mondego, enquanto na margem direita afloram calcários e arenitos.

A Formação de Castelo Viegas, uma das três maiores sequências do Grés de Silves, é constituída na base por terrenos de cor vermelha acastanhada, areno-conglomeráticos, sobre os quais assentam em descontinuidade corpos conglomeráticos, com calhaus de quartzito e de quartzo (SOARES *et al.*, 1985, 2007).

Na Figura 2 apresenta-se um extrato da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50 000, Folha 19-D, Coimbra-Lousã, com o enquadramento geológico parcial da zona em estudo.

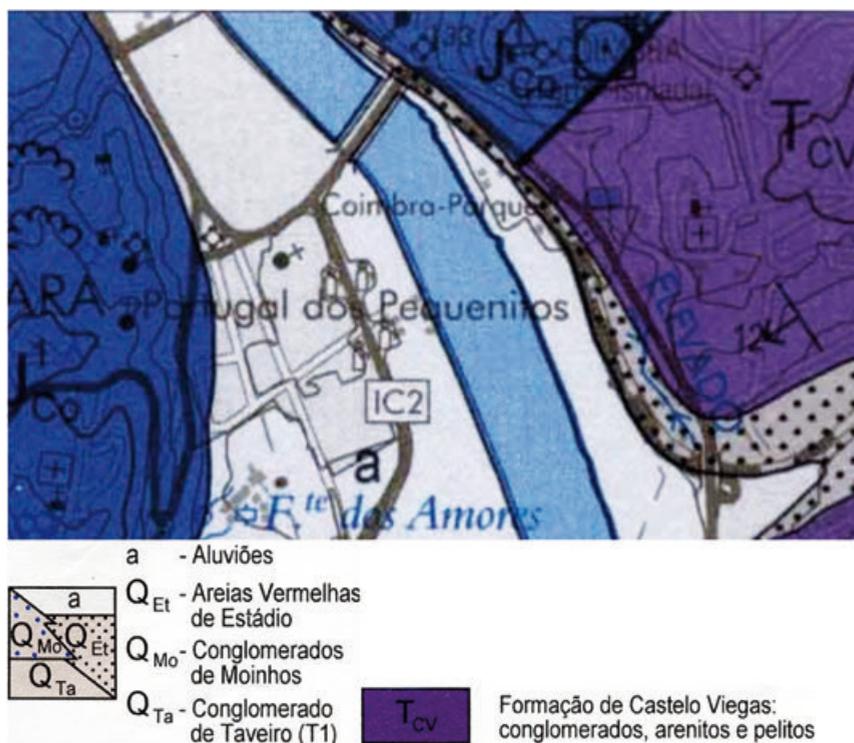


Fig. 2 – Enquadramento geológico da zona: extrato da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50 000, Folha 19-D, Coimbra-Lousã (extraído de SOARES *et al.*, 2007).



#### 4 – Trabalhos de prospeção

Na sequência da avaliação dos trabalhos de prospeção recentes, que foram coligidos sobre a zona em análise, foi decido realizar mais quatro sondagens, três na margem direita do rio Mondego, e uma na margem esquerda (Fig. 1). Todas as quatro sondagens foram realizadas com um equipamento APAFOR – 30D (Fig. 3), utilizando-se para a furação o caroteiro do tipo T2 de 76mm, com tubo de revestimento de 84/77mm de diâmetro externo/interno respetivamente, de modo a garantir a estabilidade do furo e permitir a execução dos ensaios SPT.

Para as zonas de constituição rochosa foi contabilizada a percentagem de recuperação simples (IR), embora não tenham sido contabilizados os valores de RQD (*Rock Quality Designation*) pois que os materiais rochosos amostrados não se encontravam “in situ”, por pertencerem às estruturas dos muros de contenção construídos nas margens do Mondego. Durante a execução dos trabalhos de prospeção houve o cuidado de tentar identificar vazios na base dos muros, no interior dos aterros ou dos aluviões, que pudessem indicar possíveis subscavações abaixo das fundações dos muros, vazios por efeitos de arco e eventuais erosões internas.



Fig. 3 - Equipamento utilizado na execução das sondagens, durante a realização da sondagem S4.

#### 5 – Interpretação e análise dos resultados

Com base na informação disponível interpretou-se a distribuição e as características geológicas e geotécnicas dos terrenos em estudo e definiu-se o seu zonamento em profundidade (Figura 4), tendo sido consideradas as seguintes unidades geotécnicas:

- a) terrenos artificiais;
- b) zona geotécnica 1 (ZG1) – Aluviões (areias e lodos);
- c) zona geotécnica 2 (ZG2) – Aluviões (cascalheira).

A zona definida como “terrenos artificiais” é muito heterogénea na constituição, englobando desde os pavimentos, o tout-venant e o coroamento dos aterros, os aterros heterogéneos e ainda os blocos calcários com argamassa hidráulica, que constituem os muros de suporte construídos na margem do rio. Os terrenos artificiais apresentam uma espessura de cerca de 3,5m junto ao Açude-Ponte, atingindo um máximo na zona entre as sondagens S3 e S4, onde a base da unidade se encontra a cerca de 6,5 m de profundidade. No Parque Manuel Braga, no local de realização da sondagem S1, a unidade de terrenos artificiais atinge os 5,0 m de espessura e na margem esquerda do rio Mondego, a norte da ponte de Santa Clara, apresenta 4,0 m (sondagem S2). A camada superficial de pavimentos, tout-venant e coroamento de pavimentos, com espessura a variar entre os 0,2 m e os 0,7 m, foi intersectada nas sondagens S2 e S5\_SAB a S7\_SAB. Os blocos de calcário com argamassa hidráulica, que constituem os muros de suporte construídos na margem do rio, foram detetados nas sondagens S3 e S4. A camada de aterro é heterogénea, constituída genericamente por areias de granulometria extensa, por vezes de natureza areno-siltosa ou argilosa, com fragmentos rochosos e, em alguns locais, resíduos de construção (entulho). Trata-se de um aterro mal compactado, com baixa resistência, com valores de SPT entre 2 e 9 pancadas.

Em algumas das sondagens realizadas na margem direita do rio foram detetados restos de madeira pertencentes às estruturas de estacas utilizadas no reforço da fundação dos muros de suporte das margens do rio, quando da sua construção. A profundidade a que foram encontrados varia, entre os 6,5 m e os 7,5 m, correspondendo localmente à transição entre os terrenos artificiais e as aluviões subjacentes.

Por baixo dos terrenos artificiais encontra-se a zona geotécnica 1 (ZG1) constituída por depósitos aluvionares, de natureza essencialmente arenosa e lodosa, que ocorrem até uma profundidade que varia entre os 9,5 m e os 15,0 m. Os valores de SPT obtidos variam em geral entre as 5 e as 11 pancadas, indicando a presença de solos pouco compactos. Nesta zona geotécnica há ainda a ter em consideração que os níveis lodosos surgem intercalados nas areias, e que os níveis lodosos são os menos resistentes e os mais compressíveis.

Considera-se como zona geotécnica 2 (ZG2) as aluviões constituídas por cascalheira, seixos e areia de granulometria média a grosseira, que se encontram a maior profundidade. Esta zona foi detetada apenas nas sondagens realizadas no âmbito deste estudo, em agosto de 2011, e que foram mais profundas. Assim, na margem direita do rio, encontra-se a ZG2 a partir dos 14,0 m ou 15,0 m de profundidade. Na margem esquerda esta zona foi identificada a partir dos 9,5 m de profundidade. As aluviões da ZG2 (cascalheira) tendem a apresentar melhores características de resistência, embora os valores do ensaio SPT sejam muito variáveis, de 7 a 60 pancadas.

Os parâmetros geotécnicos considerados adequados para as unidades anteriormente descritas são apresentados na Tabela 1, tendo sido estimados em função dos valores de N obtidos nos ensaios SPT e nas litologias atravessadas com base na experiência dos autores, em valores tabelados e em correlações propostas na bibliografia da especialidade (LOOK, 2007; VALLEJO, 2004).

Tabela 1 – Síntese dos parâmetros geotécnicos.

Unidade	Designação	Parâmetros Geotécnicos			
		SPT (nº de panc.)	Ângulo de atrito interno ( $\phi$ )	Coesão (c)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )
Terrenos Artificiais	Pavimento, tout-venant e coroamento de pavimentos	----	----	----	----
	Blocos calcários com argamassa hidráulica	60	----	----	----
	Aterro heterogéneo	2 – 9	29 – 30	0	< 18
ZG1	Aluviões – areias e lodos	5 – 11	29 – 30	0	16 – 18
ZG2	Aluviões – cascalheira	7 – 39	30 – 38	0	18 – 20
		56 – 60	----	----	----

## 6 – Considerações finais

Os dados obtidos com base no estudo geológico e na realização dos trabalhos de prospeção e ensaio permitiram elaborar diversos perfis geológico-geotécnicos interpretativos de que se apresenta um exemplo na Figura 4, sendo indicada a distribuição das unidades geotécnicas consideradas. O zonamento geotécnico constitui uma síntese e interpretação dos dados recolhidos durante o estudo, podendo no entanto ocorrer variações que não foram detetadas.

Embora a zona em estudo das margens do Mondego, entre o Parque Manuel Braga e o Açude-Ponte, seja extensa e a distância entre os pontos de prospeção considerável, foi possível elaborar o modelo geológico-geotécnico, verificando-se genericamente a existência de duas zonas distintas, uma constituída por terrenos artificiais e outra de aluvião, em ambas as margens do rio.

Os terrenos artificiais englobam pavimentos, tout-venant e coroamento de pavimentos, aterros heterogéneos e blocos calcários com argamassa hidráulica, que constituem os muros de suporte construídos nas margens do rio Mondego.

As aluviões mais superficiais são de composição predominantemente arenosa, possuindo intercalações de lodo argilo-siltoso. Em profundidade passam a apresentar granulometria mais grosseira, essencialmente cascalheira, seixos e areia. Esta variação justificou a consideração de duas zonas geotécnicas no terreno natural: a zona geotécnica 1 (ZG1), designada por aluviões – areias e lodos, e a zona geotécnica 2 (ZG2), designada por aluviões - cascalheira.

As aluviões da ZG2 tendem a apresentar melhores condições de resistência, mas com os valores do ensaio SPT muito variáveis.

O nível freático, medido após a conclusão das sondagens, foi detetado entre os 1,6m e os 4,0m de profundidade, correspondendo genericamente ao nível da água na albufeira do Açude.

Quanto às causas para os danos observados, vários fatores terão contribuído. As sobrecargas nas aluviões, provocadas pelos terrenos artificiais, que chegam a ter mais de 6 m de altura, provocaram a consolidação dos solos finos intercalados nas aluviões, originando assentamentos que se foram agravando no tempo. A deformação das fundações dos

muros das margens do Mondego e o impulso dos aterros no tardo, facilitaram o seu basculamento com a abertura de fendas em diversos locais.

Por outro lado a deformação dos próprios aterros soltos, com valores de SPT entre 2 e 9, permitiram a ocorrência de assentamentos, danificando pavimentos e passeios nas zonas adjacentes aos muros de alvenaria com um comportamento mais rígido.

Para se entender a evolução e comportamento das deformações no tempo, foram colocadas marcas superficiais nos muros e diques que apresentam maiores danos.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

## 7 – Referências Bibliográficas

GOOGLE EARTH ( 2012) - Google.

LOOK, B. (2007) - Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Taylor & Francis/Balkema. Taylor & Francis Group, London, UK.

VALLEJO, L. I. G. (2004) - Ingeniería Geológica. Pearson Educación, S.A. (Madrid).

QUINTA-FERREIRA, M., OLIVEIRA, M. A., PERES e SÁ, M. & HENRIQUES, J. (2011) - Estudo da Estabilidade das Margens do Mondego, entre o Parque Manuel Braga e o Açude-Ponte. Coimbra. Estudo Geológico-Geotécnico. Relatório IPN/LABGEO/2011/0055-R(1.0). Trabalho solicitado pela Câmara Municipal de Coimbra.

CIRIA (1985) - The Standard Penetration Test (SPT): Methods and Use. REPORT 143. CIRIA (Construction Industry Research and Information Association).

SOARES, A. F., *et al.* (2007) - Carta Geológica de Portugal, na escala 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 19-D, Coimbra-Lousã. INETI, Departamento de Geologia, Lisboa.

SOARES, A. F., MARQUES, J. F. & ROCHA, R. B. (1985) - Contribuição para o conhecimento geológico de Coimbra. Memórias e Notícias nº. 100, Publicação do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra.

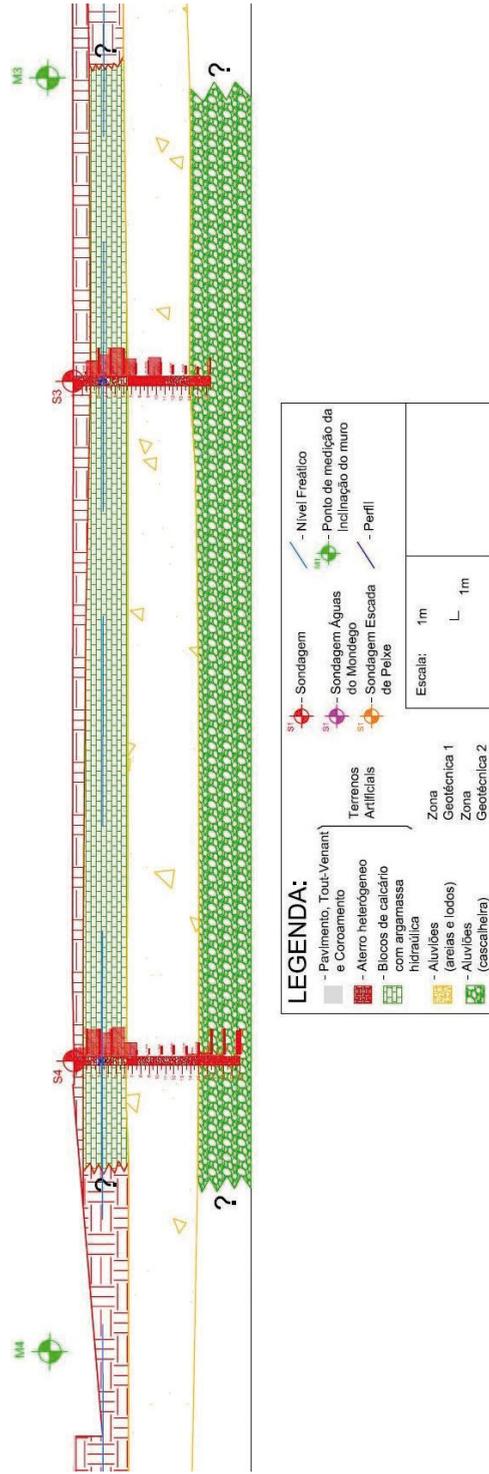


Fig. 4 – Perfil geológico-geotécnico interpretativo entre as sondagens S3 e S4.

(Página deixada propositadamente em branco)

SECÇÃO 7  
ESTABILIDADE DE TALUDES E DE VERTENTES:  
OS EQUILÍBRIOS SÃO TRANSITÓRIOS

“As dificuldades são o aço estrutural que entra na construção do carácter”.

Carlos Drummond de Andrade

(Página deixada propositadamente em branco)



CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO DE MASSA GRAVITACIONAL  
NA REGIÃO DA PRAINHA, ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO  
DO RIO DE JANEIRO (BRASIL)

CHARACTERIZATION OF GRAVITATIONAL LANDSLIDE  
IN THE REGION OF PRAINHA, URBAN AREA  
OF RIO DE JANEIRO CITY (BRAZIL)

R. Porto Jr.<sup>1</sup>, G. R. Gouveia<sup>2</sup>, B. P. Pires<sup>3</sup>, V. S. Brandão<sup>4</sup> & N. M. Coutinho<sup>5</sup>

**Resumo** – Em Maio de 2010, após intensas chuvas que perduraram por cerca de 24 horas, registrou-se um movimento de massa gravitacional de grandes proporções na região oeste da cidade do Rio de Janeiro na zona litorânea da região denominada de Prainha. Este trabalho apresenta as características geológico-geotécnicas deste acidente. O trabalho de campo realizado apontou para a existência de padrões estruturais, geomorfológicos e de variações litológicas que favoreceram a detonação e a amplitude do movimento. Dentre destes aspectos, podemos realçar a presença de juntas de alívio, fraturas de espaçamento considerável e forte processo de intemperismo químico, que, em conjunto, atuaram no enfraquecimento do maciço rochoso favorecendo o estabelecimento do acidente. Os resultados aqui apresentados foram obtidos através de um estudo sistemático que envolveu etapas de campo, análise estrutural, análise petrográfica (macro e microscópica) e testes em laboratório.

**Palavras-chave** – Movimento de massa; Geologia de engenharia, Geologia estrutural; Deslizamento de solo

---

<sup>1</sup> Dep. de Geociências, UFRuralRJ, BR-465, KM 7, Seropédica, 23890-000; rubempjr@gmail.com

<sup>2</sup> Dep. de Geociências, UFRuralRJ, BR-465, KM 7, Seropédica, 23890-000; gabriellargouveia@gmail.com

<sup>3</sup> Dep. de Geociências, UFRuralRJ, BR-465, KM 7, Seropédica, 23890-000; brunopgeo@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Dep. de Geociências, UFRuralRJ, BR-465, KM 7, Seropédica, 23890-000; vitorgeologia@yahoo.com.br

<sup>5</sup> GeoRio-SMO, Campo de São Cristóvão, 268, Rio de Janeiro, 20.921-440; nelsonmeirim@hotmail.com

*Abstract* – A geological and geotechnical characterization of a large landslide in Prainha region, located in the west part of the city of Rio de Janeiro, was carried out. The landslide occurred in May 2010, after 24 hours of intense rainfall. Structural, geomorphologic and lithologic conditions favorable to landslide were identified, such as release joints, wide spaced fractures and strong chemical weathering processes. The results and conclusions were obtained based on field work, structural and petrographic (macro and microscopic) analyses, and laboratory tests.

*Keywords* – Mass movement, Engineering geology, Structural geology, Soil landslide

## 1 – Introdução

A região litorânea correspondente às praias de Grumari e Prainha, entre os dias 5 e 6 de Abril de 2010, foi palco de um grande movimento de massa gravitacional. Verificou-se a queda de um bloco de cerca de 1000 m<sup>3</sup> que provocou um movimento de massa estimado em pelo menos 12.000 m<sup>3</sup> de material, constituindo este o maior movimento de massa local registrado nos últimos 25 anos na cidade. Devido a ter ocorrido numa área não habitada, as suas maiores consequências foram a interdição de uma estrada litorânea e a modificação do perfil da praia local. A geologia dessa região está caracterizada a partir de trabalhos de detalhe (mapeamentos geológicos em escala 1:10.000) realizados desde os anos 1990 (CORREA e PORTO Jr., 1999). Do ponto de vista geotécnico, a estrada que atravessa a região apresenta várias intervenções, muitas realizadas ainda durante a abertura da estrada na década de 1970. O local do movimento de massa corresponde a uma APA (Área de Proteção Ambiental) municipal.

## 2 – Objetivo e metodologia

O objetivo da pesquisa realizada foi caracterizar e avaliar os aspectos geológicos e geotécnicos envolvidos na situação de instabilidade, já que a geologia da região, pelas suas características, certamente contribuiu para a amplificação da instabilidade. Para o desenvolvimento da pesquisa, foi realizado trabalho de campo, onde amostras foram coletadas para a realização de análises petrográficas (macro e microscópicas) e de resistência. Realizou-se ainda a coleta de dados estruturais (foliações, lineações e fraturas) na área afetada e de seu entorno. A área estudada está localizada na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, nos contrafortes do Maciço da Pedra Branca (Fig. 1). A situação de instabilidade ocorreu na Avenida Estado da Guanabara nos limites do Parque Ecológico da Prainha, uma Área de Proteção Ambiental Permanente (APA). A ocorrência da instabilidade interrompeu a principal ligação entre os bairros limítrofes e a região de Grumari por um longo tempo, obrigando aos frequentadores a utilizar um caminho alternativo que aumentava o percurso em cerca de 20 km. O acesso à área instabilizada é feito a partir da Estrada do Pontal (Praia da Macumba) ou pela Estrada de Grumari a partir de Guaratiba.

### 3 – Características geomorfológicas da área afetada

No período de verão (dezembro a março), o fluxo de veículos na estrada afetada pelo movimento de massa é intenso devido à beleza cênica do local e à qualidade das praias da região. Quando de sua construção, boa parte da estrada foi implantada através de cortes e aterros no sopé da encosta do Morro Boa Vista, contornando a escarpa rochosa que se projeta diretamente sobre o mar. Especificamente na área afetada pelo movimento de massa, a presença de um conjunto de intervenções de engenharia, é indicativa da existência, desde a época da abertura da estrada, de problemas geotécnicos. A declividade média do terreno onde a estrada foi implantada é acentuada. As cotas mais elevadas são superiores a 300 m, alcançando valores acima de 400 m na confluência dos morros Boa Vista, Caeté e das Piabas (Fig. 2). Uma linha de cumeeada - no sentido leste-oeste - divide a área em duas bacias de captação de águas pluviais. Ao sul, onde as águas são direcionadas para o oceano, ocorre um divisor convexo - de sentido norte-sul - que forma a linha de cumeeada do Morro Boa Vista, separando os anfiteatros das bacias de drenagem da Praia de Grumari, a oeste, e da Prainha, a leste.

### 4 – Características geológicas da área afetada

As rochas da região estão divididas em dois conjuntos distintos: ortognaisses encaixantes que se enquadram nos litotipos da Série Inferior (HELMBOLD *et al.*, 1965) e por granitóides de composições e estruturas variadas (CORREA e PORTO Jr, 1999, PORTO Jr., 2004). Do ponto de vista estrutural as rochas encaixantes mostram direções preferenciais com caimento para SE / ( $155^{\circ}/25^{\circ}$ ). Esta direção preferencial pode estar flexionada para SW/S ( $220^{\circ}/20^{\circ}$ ). Os ortognaisses apresentam composição variável (diorítica a granodiorítica), e estão deformados e migmatizados (Fig. 3). As rochas de composição diorítica são rochas ricas em plagioclásio, biotita, hornblenda e quartzo, apresentando titanita. São rochas bandadas com texturas lepidoblásticas, deformadas e com foliação bem definida. As rochas ortoderivadas de composição granodiorítica apresentam ortoclásio, plagioclásio, quartzo e biotita. São rochas granoblásticas com bandamento metamórfico pouco desenvolvido. A descrição detalhada de cada um dos litotipos gnáissicos foi apresentada por PORTO Jr. *et al.* 1991. As rochas graníticas presentes correspondem a fácies do Granito Pedra Branca (PORTO Jr e VALENTE, 1988). Ocorrem formando corpos tabulares em contatos intrusivos com as rochas encaixantes gnáissicas ortoderivadas (Fig. 4), correspondem a rochas leucocráticas, de textura inequigranular que, na fácies predominante na área, apresenta textura levemente foliada, sendo que esta foliação está associada a fluxo magmático e não a processos tectônicos, sendo portanto, diferente das foliações encontradas na rocha gnáissica. A sua composição mineralógica revela a presença de microclina, plagioclásio, quartzo e muito pouca biotita.

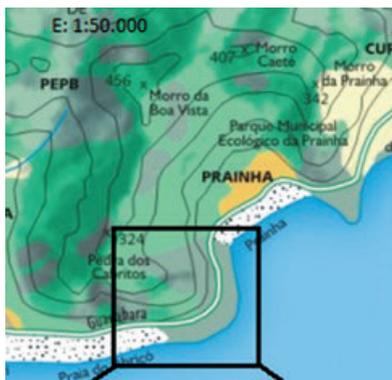


Fig. 1 - Localização da Área afetada pelo escorregamento.



Fig. 2 - Características topográficas do terreno. Linha cumeeada e quebra do perfil. morfológico.



Fig. 3 - Gnaisse de composição diorítica a granodiorítica.

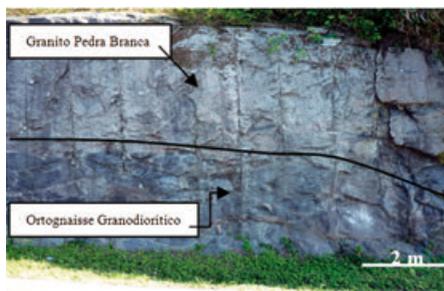


Fig. 4 - Corpos tabulares em contatos intrusivos com as encaixantes gnáissica.

## 5 – O movimento de massa gravitacional da Prainha: caracterização

Como consequência da intensa precipitação ocorrida na noite de 5 e madrugada de 6/4/2010, com um valor acumulado de 232,6 mm entre as 17:30h do dia 5 e as 17:30h do dia 6, e um pico de 33,6 mm numa hora, às 17:40h do dia 5 de acordo com os dados da estação pluviométrica da Grota Funda, Sistema Alerta-Rio, ocorreu um movimento de massa de grandes proporções, que mobilizou aproximadamente 12.000 m<sup>3</sup> de blocos de rocha e material terroso (Fig. 5). Parte da massa escorregada ultrapassou os limites da Av. Estado da Guanabara alcançando as águas do mar com o restante do material se espalhando numa área de aproximadamente 12.000 m<sup>2</sup>. Apesar da magnitude da situação de instabilidade, não houve vítimas nem danos materiais além da destruição da estrada no trecho atingido e de parte das obras de contenção previamente existentes (Fig. 6). Registre-se ainda que basicamente a quase totalidade do material movimentado corresponde a material granítico, já que os gnáisses se encontram ao nível dos cortes da estrada e sustentados por obras de contenção.

A partir dos levantamentos (geológico, geológico-estrutural, geotécnico) efetuados no local do acidente, logo após sua ocorrência, foi possível reconstituir a cronologia do evento:

- 1) o movimento teve início a partir do deslocamento de um gigantesco bloco de rocha granítica (cerca de 3.000 m<sup>3</sup>), que na queda se fragmentou em seis outros blocos de grandes dimensões;
- 2) este deslocamento ocorreu devido ao grande volume de águas pluviais registrado na tarde do 5 de abril e na madrugada do dia 6 de abril, que, levando à saturação do solo, provocou o aumento do impulso na camada do material terroso acumulado na fenda existente por trás do bloco;
- 3) a decomposição química na área de apoio do bloco movimentado, e a ação da força da gravidade, em consequência do deslocamento do centro de gravidade desse bloco, foram fatores importantes e decisivos na deflagração do movimento;
- 4) ao tombar, o bloco principal impeliu outro bloco de rocha, com cerca de 800m<sup>3</sup> de material também granítico, de forma arredondada, que se encontrava isolado na sua frente, projetando-o para o mar (Figs. 7 e 8);
- 5) esse processo iniciou um escorregamento que mobilizou enormes massas de material quase que totalmente de composição granítica e um considerável volume de solo, avaliado entre 10.000 a 12.000 m<sup>3</sup>;
- 6) toda a área passa por um forte processo de intemperismo químico, em associação com a fragmentação de parte considerável do material existente a meia encosta;
- 7) a investigação realizada comprovou que todo o movimento de massa se deu no domínio de ocorrência do Granito Pedra Branca. A totalidade dos blocos analisados é da rocha granítica;
- 8) ficou evidente, ainda, a existência de depósitos de blocos localizados a meia encosta, possivelmente associados a um movimento de massa anterior;
- 9) deve destacar-se a existência de um padrão estrutural bem definido, associado às fraturas presentes na rocha e inerentes aos litotipos encontrados facilitadora para a formação de blocos de tamanhos variados, mas com tendência a gerar blocos retangulares e/ou arredondados, que ocorrem na encosta (Fig. 9);
- 10) juntas de alívio e fraturas com espaçamento de até 10 cm (média de 4 cm) em associação às feições geradas pela foliação de fluxo, devem ser motivo de investigação mais detalhada e devem, necessariamente, ser consideradas quando da opção de solução de obra estabilizante para áreas com estas características.



Fig. 5 - Vista da área antes do escorregamento.



Fig. 6 - Vista da área após o escorregamento.



Fig. 7 - Bloco de granito lançado ao mar.



Fig. 8 - Estrutura de impacto ocasionada pelo bloco lançado ao mar.



Fig. 9 - Bloco apresentando o padrão ortogonal das estruturas.

## 6 – Condicionantes da situação de instabilidade

São aqui consideradas como condicionantes geológicas todos os fatores ligados a aspectos geológico/geomorfológicos observados na área que tenham tido influência direta ou indireta no desencadeamento do movimento de massa gravitacional como: 1) intervenções de engenharia pretéritas; 2) a alta declividade do terreno, que favorece a mobilização do material à meia encosta; 3) famílias (“Set”) de fraturas com direções ortogonais (N30E; N70E e N30W) que dão origem aos blocos cúbicos/quadrados e que são posteriormente arredondados pelo efeito do intemperismo. Isso ocorre porque a litologia dominante, caracterizada por uma composição granítica é uma rocha que apresenta relativa isotropia. Este fator condiciona uma alteração com desgaste relativo similar em todas as suas direções, gerando um padrão de arredondamento subordinado a estrutura da rocha; 4) alteração química, representada principalmente por sericitização e saussurização; 5) presença de juntas de alívio e foliação esferoidal; 6) presença de intemperismo químico e físico, nos litotipos identificados, evidenciado pela oxidação dos minerais ricos em ferro (biotita). Por se tratar de um íon de raio de pequena dimensão, este é assimilado no início da cristalização destes minerais e quando expostos a condições muito diferentes daquelas de sua formação em conjunto com ambientes propícios à hidratação, apresentam tendência para sofrerem lixiviação química.

Amostras de composição granítica coletadas na etapa de campo foram submetidas a ensaio para determinação de sua resistência. Esta etapa foi realizada no LAMAGE (Laboratório de Mapeamento Geológico) da UFRuralRJ (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro). O ensaio constou da utilização do martelo de Schmidt (Tipo L) ou esclerômetro de recuo para obtenção dos resultados referentes a sua resistência. Para realização do ensaio processou-se as amostras de forma que através de corte laminar obteve-se duas faces planares, uma para apoio e fixação da amostra, e outra para receber o choque com o esclerômetro. As amostras ensaiadas foram separadas em três tipos, de acordo com a alteração observada: *rocha sã*, onde os cristais euédricos de microclina estavam preservados e a biotita não se mostrava alterada; *rocha medianamente alterada*, onde os grãos de microclina apresentavam menor brilho do que os da rocha sã e, a vista desarmada, era possível observar a alteração nos grãos de plagioclásio e biotita; e *rocha muito alterada*, onde observou-se a presença de alteração intempérica, evidenciada pela presença de capa ferruginosa nos limites da amostra. Neste caso, a rocha apresentava menor coesão, com grãos bem mais alterados o que caracterizava maior fragilidade na porção amostrada. Foi possível ainda, nestas amostras, observar uma mudança na coloração dos grãos de microclina, que passaram a ter tons mais cinza/amarelados (Fig. 10).

Com a individualização das amostras nestes três segmentos, o ensaio foi realizado com um intervalo de 5 a 15 impactos por amostra, sendo assim possível a determinação da dureza superficial e consequentemente a resistência à compressão da rocha. O resultado representa a média dos resultados obtidos para cada conjunto de amostras. O ensaio realizado nos forneceu o valor da Dureza de Schmidt. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 1. A partir desses valores e da massa específica da rocha (no caso do litotipo estudado foi atribuído o valor de  $2,7 \text{ g/cm}^3$  obtido em AMARAL (1997) para este mesmo tipo de rocha), foi possível estimar a resistência à compressão em MPa relativa a cada uma das amostras analisadas através das correlações de DEERE e MILLER (1966) (Fig. 11).

Verificou-se uma diminuição dos valores de resistência à compressão uniaxial com o incremento do grau de alteração. Logo, temos que a *rocha sã* é, como esperado, a mais resistente, enquanto a rocha *muito alterada* é a de menor resistência, o que está de acordo com comportamento previsto em SCHWENCK *et al.* (2010). Assim, pode ser caracterizado que a situação de instabilidade estava associada à diminuição dos valores de resistência do maciço rochoso já que durante a realização dos trabalhos de campo observou-se que o material alterado correspondia, a maior parte do volume movimentado ( $\approx 60\%$ ) enquanto o material medianamente alterado e o material não alterado correspondiam a valores subordinados ( $\approx 25$  e  $15\%$  respectivamente).



Fig. 10: Esclerômetro e amostras ensaiadas.

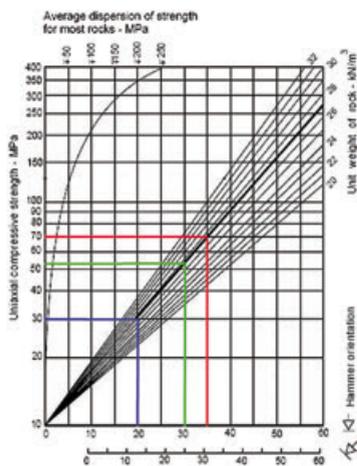


Tabela 1

GEPIGE OUFRARJ		
Análise de Rocha - Parâmetros Geotécnicos		
Rocha	Granito	
Densidade	2,7 g/cm <sup>3</sup>	
Amostra	Dureza Schmidt	Resist. Comp. Uniaxial
Rocha sã	35	70 MPa
Rocha alterada	30	53 MPa
Rocha muito alterada	20	30 MPa

Fig. 11 - Resultado do ensaio de compressão uniaxial, tabela de Schmidt.

### 8 – Recuperação da área

Durante todo o período de desmonte e recuperação da área afetada pelo movimento de massa, que durou oito meses, a Av. Estado da Guanabara foi mantida fechada por questões de segurança. O retorno à sua utilização somente se deu quando do término da realização da contenção da área com a construção de cortinas atirantadas e muros de novos contenção, e recuperação da estrada (Fig. 12). Como parte da recuperação da área e da solução de obra teve de ser levado em conta o fato de que o movimento de massa deixou dois grandes blocos, localizados na parte alta do local afetado pelo movimento de massa, muito instáveis e apresentando forte descalçamento em suas bases. Estes blocos, com volume de até 2.000 m<sup>3</sup> cada um, foram então desmontados a fogo e o material



lançado na parte da encosta que termina no mar dando mais segurança ao local. Como não havia local nas proximidades que pudesse servir para o recolhimento do material movimentado pelo escorregamento, optou-se por deslocar em direção ao mar um grande volume de material. Recomendou-se que deveria ser estabelecido um procedimento de constante avaliação com relação a eventuais impactos que este material lançado ao mar possa a vir provocar na sedimentação da Prainha mudando sua forma (perfil de praia) bem como a qualidade de suas ondas (Fig.13), já que trata-se de um local de forte apelo pela beleza da paisagem e pela qualidade das ondas, sendo um dos principais pontos da prática do surfe na área da cidade. Outro fator de relevância é que foram detectados, pelos estudos de campo realizados na região, situações geológico / geomorfológicas similares às que originaram o movimento de massa que foi descrito e estudado no presente trabalho. Recomenda-se, portanto, a manutenção de uma contínua observação da área do entorno do acidente, para que nela seja realizada uma contínua avaliação que permita a realização de intervenções que minimizem novas situações de instabilidade.



Figura 12 - Obra finalizada.



Figura 13 - Bloco rolado que pode modificar a morfologia da praia.

## 9 – Conclusões

Com base no apresentado, podemos concluir que a situação de instabilidade da encosta na região da Prainha-Grumari está associada a presença de material rochoso intemperizado física e quimicamente e relacionado a rocha de composição granítica. O início do movimento se associa a ocorrência de fortes e concentradas chuvas, fato que permitiu a rápida e intensa lixiviação do material alterado que sustentava os grandes blocos presentes. Estes blocos, localizados a meia encosta, têm sua formação subordinada a presença de uma família de fraturas que, combinadas, facilitaram a formação de blocos retangulares a arredondados de volumes variados que se mantêm em frágil equilíbrio no local. Com base nos dados obtidos, observou-se que a maior parte dos blocos movimentados apresentavam-se fortemente intemperizados e com baixa resistência. Observou-se ainda que o deslizamento ocorreu exclusivamente na área de domínio de rocha granítica e que, portanto, as contenções préteritas presentes na área foram capazes de sustentar as rochas gnáissicas presentes na base do talude e que, efetivamente, não contribuíram para este acidente. A realização das obras dá segurança ao local, entretanto, a não retirada

de parte dos depósitos ainda presentes nas partes laterais da encosta deve ser motivo de preocupação e de monitoramento permanente.

### Referências Bibliográficas

- AMARAL, C. (1997) - Escorregamentos no Rio de Janeiro: Inventário, Condicionantes geológicas e Redução de Risco. Tese de Doutorado. DEC-PUC-RJ. 286p.
- CORREA, R.P. & PORTO JR., R. (1999) - Modelamento geoquímico aplicado às rochas da região Prainha-Grumari, complexo granítico Pedra Branca (CGPB), Rio de Janeiro, RJ. *In: Anais V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*, Ed. SBGq, p. 476-478.
- DEERE, D.U. & MILLER, R.P. (1966) – Engineering classification and index properties for intact rock. Report AFWL-TR – 65 – 116. Air Force Weapons Laboratory (WLDC), Kirtland Air Force base, New Mexico.
- HELMBOLD, R., VALENÇA, J.G. & LEONARDOS JR., O.H. (1965) - Mapa geológico do Estado da Guanabara, esc. 1: 50000. 3 Folhas. MME/DNPM.
- PORTO JR, R. (2004) - Petrogênese das Rochas do Complexo Granítico Pedra Branca, Rio de Janeiro, RJ. IG-UFRJ, 224p.
- PORTO JR, R. & VALENTE, S.C. (1988) - As rochas granitóides do norte da Serra da Pedra Branca e suas relações com as encaixantes gnáissicas na região de Bangu, Rio de Janeiro, RJ. *In: Anais do 35 Congresso Brasileiro de Geologia*, Belém, 3, p. 1066-1079. PORTO JR, R., VALENTE, S.C e DUARTE, B.P. (1991) - Geologia do Pontal de Barra de Guaratiba: implicações petrogenéticas relacionadas ao Batólito da Serra da Pedra Branca, Rio de Janeiro, RJ. *In: Anais do 2º Simpósio de Geologia do Sudeste*. São Paulo, SP.
- PORTO JR., R., VALENTE, S. C. & DUARTE, B. P. (1991) - Caracterização do Magmatismo Brasileiro no Paleozóico Inferior: o exemplo do plúton Pedra Branca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.. *In: I Conferência Internacional Sobre el Paleozóico Inferior de Ibero-América.*, 1991, Mérida, Espanha.. *Anais da I Conferência Internacional Sobre el Paleozóico Inferior de Ibero-América*, v. 1. p. 103-105.
- SCHWENCK, V., PIRES, B. P., GOUVEIA, G. R. & PORTO JR, R. (2010) - Movimento de Massa na Região da Prainha-Grumari, Município do Rio de Janeiro: Caracterização Geológico-Geotécnica. *In: XX Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ*. Seropédica, RJ.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA DOS  
MOVIMENTOS DE MASSA OCORRIDOS NO VALE DO ITAJAÍ  
(ESTADO DE SANTA CATARINA) – BRASIL -  
EM NOVEMBRO DE 2008

CARACTERIZATION OF THE LANDSLIDES THAT OCCURRED  
IN ITAJAÍ VALLEY (SANTA CATARINA STATE) – BRAZIL -  
NOVEMBER 2008

E. R. Tomazzoli<sup>1</sup>

**Resumo** – Neste trabalho foram caracterizados os diversos tipos de movimentos de massa que ocorreram em novembro de 2008, no entorno do Morro do Baú, na região do Vale do Itajaí (Estado de Santa Catarina) e as suas relações com as características geológicas e geomorfológicas. Os escorregamentos translacionais, que muitas vezes evoluíram para fluxos de lama e detritos, foram os movimentos de massa mais frequentes e que ocorreram, preferencialmente, no domínio das rochas do Complexo Granulítico, onde há solos espessos associados a elevadas declividades das encostas de vales que estão balizadas por falhas e cobertas por densa vegetação. Escorregamentos rotacionais também foram numerosos, embora menos frequentes. De modo a reduzir os efeitos catastróficos destes desastres recomenda-se o mapeamento prévio de áreas susceptíveis. Na elaboração dos mapas de susceptibilidade é de fundamental importância a caracterização dos tipos de deslizamentos e suas relações com elementos geológicos e geomorfológicos, que muitas vezes, controlam os processos de desenvolvimento e direcionamento dos movimentos gravitacionais de massa.

**Palavras-chave** – Deslizamentos; Fluxos de lama e detritos; Vale do Itajaí

*Abstract* – This study characterizes the various types of mass movements that affected the Morro do Baú located in Vale do Itajaí (Santa Catarina State). The relations between the landslides and the geological and geomorphological characteristics were defined. The translational soil slides were the larger, and most frequent mass movements, showing greater

---

<sup>1</sup> Dep. de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil; edison@cfh.ufsc.br

*incidence in the Granulitic Complex rocks. This is due to the thick coverage soil and it is associated to very steep slopes of faulted valleys, covered by dense vegetation. Rotational soil slides were also numerous and important, but of smaller dimension. Previous mapping of landslide-prone areas must be carried out, in order to reduce landslide catastrophic consequences. In the preparation of the hazard mapping, it is very important to characterize the landslides types and their relations with geological and geomorphological elements, since these often control the development and direction of gravitational mass movements.*

**Keywords** – Landslides; Debris and mud flows; Itajaí Valley

## 1 – Introdução

Nos dias 22 e 23 de novembro de 2008 ocorreram intensas precipitações no Vale do Itajaí, estado de Santa Catarina, totalizando mais de 400 mm, segundo dados meteorológicos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Essas precipitações foram precedidas por um período de cerca de três meses de chuvas contínuas que provocaram a saturação do solo e culminaram em numerosos e catastróficos movimentos de massa, provocando 135 mortes e 2 desaparecimentos, centenas de feridos e milhares de desabrigados, além de grandes perdas materiais.

## 2 – Localização da área de estudo

Abrange parte dos municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves, no entorno do Morro do Baú (Fig. 1). Essa área foi uma das mais atingidas pelo evento de 2008 e exibe uma grande concentração de cicatrizes de deslizamentos.



Fig. 1 - Mapa de localização.

## 3 – Contexto geológico-geomorfológico local

Geologicamente, a área de estudo é constituída pelo Complexo Granulítico de Santa Catarina, de idade paleoproterozóica, pelo Grupo Itajaí, de idade neoproterozóica e por depósitos colúvio-aluvionares quaternários, como mostra a Fig. 2.

Complexo Granulítico é composto por rochas metamórficas da fácies granulito, retrometamorfisadas, em alguns locais, para as fácies anfibolito e xisto verde. Os litotipos mais comuns são gnaisses quartzo-feldspáticos com hiperstênio. Subordinadamente ocorrem também núcleos de rochas ultramáficas, gnaisses calcissilicáticos, kinzigitos anortositos, quartzitos e formações ferríferas (HARTMANN et al., 1979, in CALDASSO et al., 1995). Estas rochas apresentam na parte superficial um manto de intemperismo bastante espesso, atingindo profundidades muitas vezes superiores a 30 metros.

Numerosas falhas e zonas de cisalhamento seccionam o Complexo Granulítico, principalmente segundo as direções N80°E, N20°E e N30°W. Nestas estruturas estão encaixados vales fluviais profundos e retilíneos, com encostas de alta declividade, onde ocorreram grandes movimentos de massa condicionados pelo relevo acidentado associado a grandes espessuras no manto de intemperismo.

No Grupo Itajaí predominam rochas metassedimentares anquimetamórficas (com metamorfismo incipiente), representadas principalmente argilitos, siltitos e arenitos de natureza turbidítica, associadas com rochas vulcânicas e sub-vulcânicas de composição riolítica dominante ou básica, com raras camadas de tufo finos. Na porção basal da seqüência ocorrem arenitos arcoseanos e conglomerados petromíticos (Conglomerado Baú).

Os depósitos colúvio-aluvionares quaternários são constituídos por sedimentos argilosos, sílticos, arenosos ou cascalhos inconsolidados, depositados no fundo dos vales.

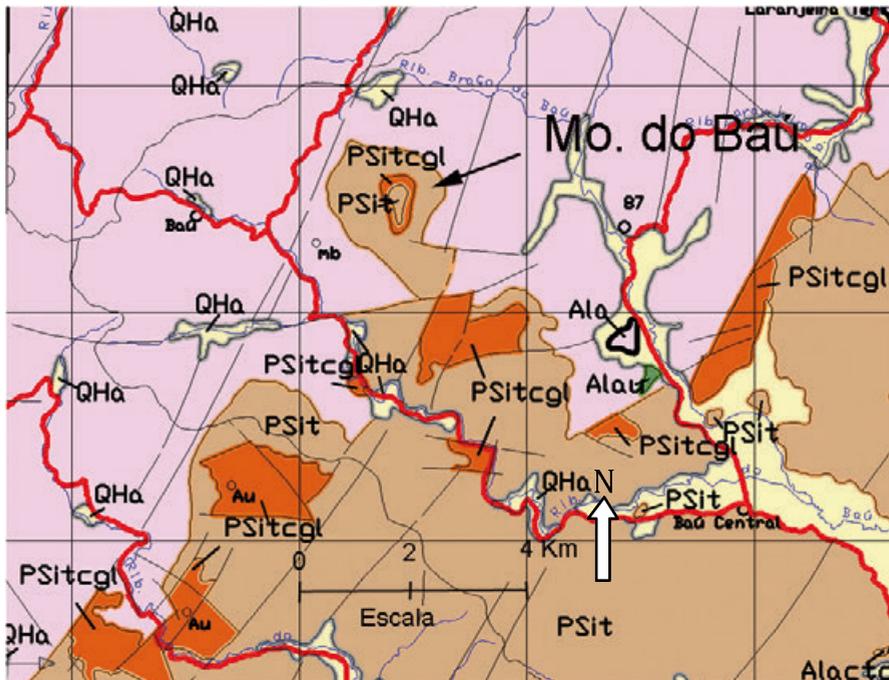


Fig. 2 - Mapa geológico da área de estudo. Legenda: cor lilás – Complexo Granulítico; PSitcgl – Grupo Itajaí/Conglomerado Baú; PSit – Grupo Itajaí/metassedimentos turbidíticos; QHa – depósitos colúvio-aluvionares quaternários.

#### 4 – Principais tipos de movimentos de massa

436

Segundo a classificação utilizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), por AUGUSTO-FILHO (1994), e pelo Manual de Desastres da Defesa Civil Nacional (CASTRO, 2003), os fenômenos relacionados a movimentos de massa podem ser classificados, genericamente, em 4 categorias principais: quedas de blocos (rock fall), escorregamentos (landslides), que podem ser divididos em translacionais e rotacionais, corridas (*flow*) e rastejos (*creep*), sendo que muitas vezes ocorrem combinações de dois ou mais processos. Na área de estudo ocorreram predominantemente movimentos de massa do tipo escorregamentos translacionais, rastejos, escorregamentos rotacionais e corridas de lama e detritos. Menos comumente ocorreram movimentos do tipo queda de blocos, principalmente em camadas de siltitos intercaladas com arenitos do Grupo Itajaí, especialmente quando essas mergulham no mesmo sentido da inclinação da encosta, facilitando assim o escorregamento de uma camada sobre a outra para fora do talude.

Rastejos como movimentos lentos de encosta que não apresentam, via de regra, uma superfície de ruptura definida (AUGUSTO-FILHO, 1994; CASTRO, 2003) e podem abranger grandes áreas e massas de materiais rochosos e solos. Eles são evidenciados pela inclinação de árvores e outros objetos fixos e pelo aparecimento de rachaduras no solo, designadas como fendas de abatimento. Essas rachaduras muitas vezes evoluem ou estão associadas a degraus de abatimento, isto é, blocos de solo escalonados, dispostos de forma rebaixada, junto às fendas, formando degraus de abatimento (Fig. 3). Na área de estudo, esse tipo de movimento foi muito comum e ocorreu em todas as unidades geológicas.



Fig. 3 - Fenda e degrau de abatimento ameaçando residência.

Por vezes formam-se feições de intumescência ou empolamento do solo na porção anterior de uma frente de rastejo, quando surgem elevações em áreas anteriormente aplanadas (Fig. 4).



Fig. 4 - Elevação de frente de rastejo em estrada, exibindo fendas de tração devido ao soerguimento.

Outras vezes, nos limites laterais da massa de solo em movimento de rastejo, observa-se o deslocamento direcional de cercas ou estradas como pode ser visto na Fig. 5.



Fig. 5 - Estrada deslocada lateralmente (ver setas) pelo movimento de uma massa de solo em rastejo. A massa que movimentou (movimento da direita para a esquerda) é a que está abaixo da linha de descontinuidade da estrada.

Escorregamentos rotacionais (*slumps*) apresentam uma superfície de ruptura côncava para cima, ao longo da qual ocorre um movimento rotacional do material acima da superfície de ruptura (FERNANDES & AMARAL, 2003). A presença de mantos de alteração espessos e homogêneos facilita sua ocorrência. A origem desse tipo de escorregamento está frequentemente vinculada a cortes na base das vertentes, sejam artificiais (implementação de estradas) ou naturais (erosão fluvial). Muitas vezes, o bloco que deslizou preserva a camada superficial do solo, com arbustos e árvores preservados, porém todos em posição levemente inclinada no sentido contrário ao caimento da encosta. Esses blocos escorregados estão rebaixados, formando degraus de abatimento, muitas vezes escalonados (Fig. 6). Outras vezes, dependendo das condições de saturação do solo, ocorre solifluxão, gerando corridas de lama e detritos (troncos, matacões e blocos de rocha) associadas ao deslizamento rotacional. Na área de estudo, esse tipo de movimento está frequentemente relacionado a problemas como cortes de taludes muito íngremes ou sobrecargas no topo da encosta e provou a destruição de um grande número de residências nas áreas mais urbanizadas.



Fig. 6 - Deslizamento rotacional em talude de corte que acabou destruindo completamente uma residência. Observar o degrau de abatimento.

Na área de estudo, observou-se que foram os deslizamentos translacionais (ou planares) os mais volumosos e também os de maior porte, deslocando os maiores volumes de solo, rochas e detritos.

Deslizamentos translacionais rasos mobilizam quase que exclusivamente o horizonte superior de solos, logo abaixo das raízes das plantas, conforme a descrição de SANTOS (2004), ao abordar esse tipo de deslizamento na Serra do Mar, sudeste do Brasil. Somente na sua cabeceira, designada como raiz por ser o local de sua origem ou início, há a mobilização de horizontes mais profundos, conforme o autor. Esse tipo de movimento tem início sempre na porção superior de vertentes com declividades superiores a  $30^\circ$  e costuma evoluir sob a forma de vigorosas corridas de lama e detritos (troncos, blocos e matacões de rocha) que, na área de estudo, apresentam espessuras pouco consideráveis mas alcançaram extensões lineares com vários quilômetros de comprimento, atingindo, muitas vezes, as áreas planas no sopé dos morros.

Devido às grandes espessuras de solo presentes em quase toda a região, alguns deslizamentos translacionais alcançaram níveis mais profundos e esses não podem, portanto,



ser classificados com translacionais rasos. Por vezes grandes camadas de solo indeformadas e com sua cobertura vegetal original foram translacionadas encosta abaixo por várias dezenas ou centenas de metros, levando consigo árvores na posição vertical (posição de vida) e até mesmo casas inteiras (Fig. 7).



Fig. 7 – Residência inteira, transportada por dezenas de metros, sobre uma camada de solo translacionada.

## 5 – Análise preliminar dos deslizamentos

Grande parte dos deslizamentos que ocorreram em novembro de 2008 na área de estudo está representada na imagem do satélite Landsat de janeiro de 2009 da Fig. 8. Embora essa imagem (composição colorida RGB 431) não seja a mais adequada a esse tipo de estudo, visto que sua resolução espacial (*pixels* de 30 m x 30 m) não permite a visualização dos movimentos de massa de menor porte, ela se mostra bastante eficiente na visualização dos movimentos maiores, principalmente os escorregamentos translacionais associados a fluxos de lama e detritos. Esses escorregamentos aparecem na imagem como linhas ou faixas brancas, com até dois quilômetros de extensão; quatro deles estão destacados por setas. Situam-se, preferencialmente, no Complexo Granulítico, cujo terreno é marcado por vales retilíneos profundos, encaixados em falhas e fraturas de direções predominantes N40°E, N80°E, N60°W, com encostas íngremes de elevadas declividades. Foi nas encostas íngremes desses vales que ocorreu a maior parte dos grandes escorregamentos translacionais, dos quais, alguns seguiram num curso retilíneo, alcançando a base da encosta segundo sua máxima direção de declividade. Em outros casos, o fluxo de lama e detritos sofreu desvios significativos, encaixando-se em talvegues secundários antes de chegar ao fundo do vale (seta 2 da Fig. 8). Outras vezes, o fluxo de lama e detritos ao atingir o pé da encosta, prosseguiu para jusante do vale principal, fluindo mesmo sob declividades mais baixas (seta 4 da fig. 8). Em situações mais catastróficas, o fluxo de lama e detritos avançou pelo vale, alimentado por deslizamentos translacionais rasos em ambas encostas, soterrando casas e causando diversas vítimas, como esse, na localidade de Alto Baú, mostrado pela seta 1 da Fig.8.

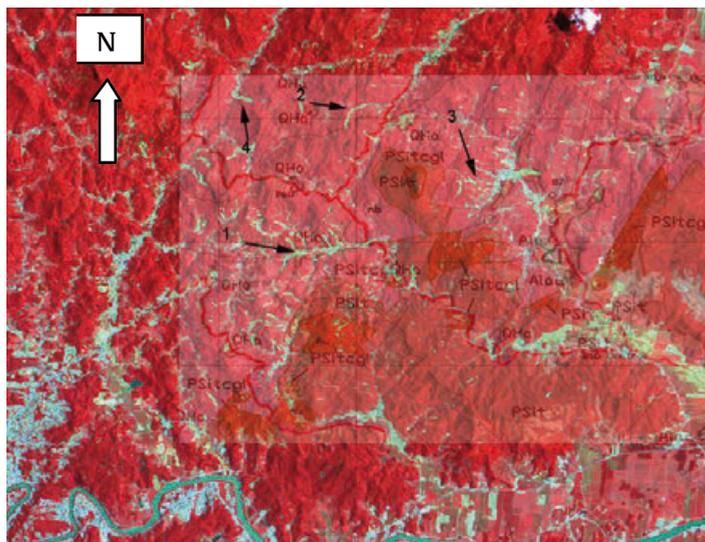


Fig. 8 - Imagem Landsat de janeiro de 2009 (RGB 431), com o mapa geológico da Fig. 2 superposto sob forma de imagem semitransparente. Observam-se os deslizamentos sob formas lineares de cor branca. Quatro deslizamentos translacionais rasos estão marcados com setas. Nessa imagem, a cor vermelha corresponde a áreas vegetadas.

## 6 – Conclusões e recomendações

Os movimentos de massa mais frequentes e de maior volume que ocorreram no entorno do Morro do Baú, no episódio de novembro de 2008 foram os escorregamentos translacionais ou planares. Apesar de ocorrer em praticamente todas as unidades geológicas, esse tipo de movimento mostrou uma maior incidência no domínio do Complexo Granulítico, devido ao fato dessa unidade possuir coberturas pedogenéticas muito espessas e estar associada às elevadas declividades das encostas de vales encaixados em falhas e fraturas. Embora possam ter sido em parte induzidos por procedimentos antrópicos como a agricultura em encostas, o desmatamento ou a retirada seletiva de árvores de maior porte da mata, considera-se aqui que esses movimentos tiveram causas naturais, tendo em atenção a sua numerosa incidência em áreas de floresta densa, sem evidências de nenhuma ação humana. Por outro lado, observou-se também que muitas vezes a porção distal desses escorregamentos assenta-se sobre extensos depósitos coluviais, no pé da encosta, formados provavelmente por deslizamentos pretéritos, anteriores ao início da colonização da área. Essa é outra evidência de que se trata de um processo natural.

Embora menos volumosos e com menores dimensões, os escorregamentos rotacionais constituem também movimentos de massa importantes. Ocorreram quase sempre relacionados com ações antrópicas como cortes de talude inadequados, ou sobrecarga da encosta devido ao peso de construções, principalmente nas áreas mais urbanizadas.

Trabalhos posteriores, já em execução, estão direcionados à determinação de áreas com maior susceptibilidade a deslizamentos, com base as características geológicas geomorfológicas e geotécnicas do terreno, associadas ao uso do solo.

## Referências Bibliográficas

- AUGUSTO-FILHO, O. (1994) - Cartas de risco a escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CALDASSO, A. L. S., KREBS, A. S. J., SILVA, M. A. S., CAMOZZATO, E. & RAMGRAB, G. E. (1995) - Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Brusque, Folha SG 22-Z-D-II-1, Santa Catarina, Escala 1:50.000. CPRM. Brasília, 272p.
- CASTRO, A. L. C. (2003) - Manual de Desastres. Volume 1: Desastres Naturais. Brasília: MPO, 177 p.
- FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. (2003) - Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. (eds.). Geomorfolgia e meio ambiente. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 123-194.
- HARTMANN, L. A., SILVA, L. C. & ORLANDI Fº, V. (1979) - O Complexo Granulítico de Santa Catarina: Descrição e Implicações Genéticas. *Acta Geológica Leopoldensia*, 3(6), p 93-112.
- SANTOS, A. R. (2004) - A Grande Barreira da Serra do Mar – da Trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Bandeirantes. O Nome da Rosa Ed. São Paulo, 122p.

(Página deixada propositadamente em branco)

## CARACTERIZAÇÃO DA INSTABILIDADE DE UMA VERTENTE NA ÁREA URBANA DO LUBANGO, ANGOLA

### A SLOPE INSTABILITY CHARACTERIZATION ON LUBANGO'S URBAN AREA, ANGOLA

G. N. Gonçalves<sup>1</sup>, P. S. Andrade<sup>2</sup> & M. Quinta-Ferreira<sup>2</sup>

**Resumo** – Efetuou-se um estudo sobre as condições da instabilidade de uma vertente na área do bairro “A Luta Continua”, situado na cidade do Lubango em Angola. Analisaram-se as diferentes situações de instabilidade, designadamente as quedas de blocos rochosos. Na área estudada verifica-se a presença de depósitos de vertente e, nas cotas mais elevadas, afloram quartzo-arenitos de cores esbranquiçadas e arenitos de tonalidades cinzentas e avermelhadas. Caracterizaram-se os blocos rochosos relacionados com as situações de instabilidade, em termos de volumetria e de litologia. Definiram-se as trajetórias de queda dos blocos rochosos através da utilização do programa informático RocFall. Procedeu-se à definição de medidas de proteção ou de mitigação face aos processos de instabilização.

**Palavras-chave:** Processos de instabilidade; Vertentes; Queda de blocos; Quartzo-arenitos, Lubango; Angola.

*Abstract* – A study of the slope instability conditions of the quarter “A Luta Continua”, in the city of Lubango in Angola, was carried out. The slope movements, namely rockfalls, were analysed. Debris deposits occur on the studied area; quartz-sandstones and grey and reddish sandstones outcrop on the upper part of the slope. The volume and the lithology of the rockfall blocks were determined. The rockfall paths were analyzed using the RocFall software. Some stabilization and remediation procedures were defined.

*Keywords* – Instability processes; Slopes; Rockfalls; Quartz-sandstones; Lubango; Angola.

---

<sup>1</sup> Mestre pela Universidade de Coimbra e Universidade Privada de Angola; ndaendelao@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Ciências da Terra. Centro de Geociências. Largo Marquês de Pombal. Universidade de Coimbra. 3000-272 Coimbra. Portugal; pandrade@dct.uc.pt; mqf@dct.uc.pt

## 1 – Introdução

444

Os estudos dos fenómenos de instabilidade de taludes e vertentes apresentam-se como de grande importância, tornando-se necessário conhecer os aspetos morfológicos e as respetivas dimensões das situações de instabilidade. Para que se possa efetuar a sua previsão e prevenção, devem compreender-se os mecanismos que originam as instabilidades.

A província da Huíla, onde se localiza a cidade de Lubango, corresponde a uma região planáltica em que as cotas podem atingir mais de 2000 metros. Os movimentos nos taludes com consequências nefastas estão, muitas vezes, relacionados com a ocorrência de chuvas e com as modificações originadas pela ação humana. A área urbana do Lubango, devido às suas características morfológicas e condições geológicas e geotécnicas, apresenta zonas de declive elevado, que podem ser geradoras de situações de instabilidade. Na cidade do Lubango existem muitas construções que se localizam nas vertentes, podendo verificar-se movimentos que provoquem prejuízos consideráveis e eventuais vítimas.

Na área de estudo (Figs 1 e 2), localizada no Bairro “A Luta Continua” podem observar-se diversas situações de instabilidade, designadamente as quedas de blocos rochosos, que tendem a ser mais intensas na época de maior precipitação.

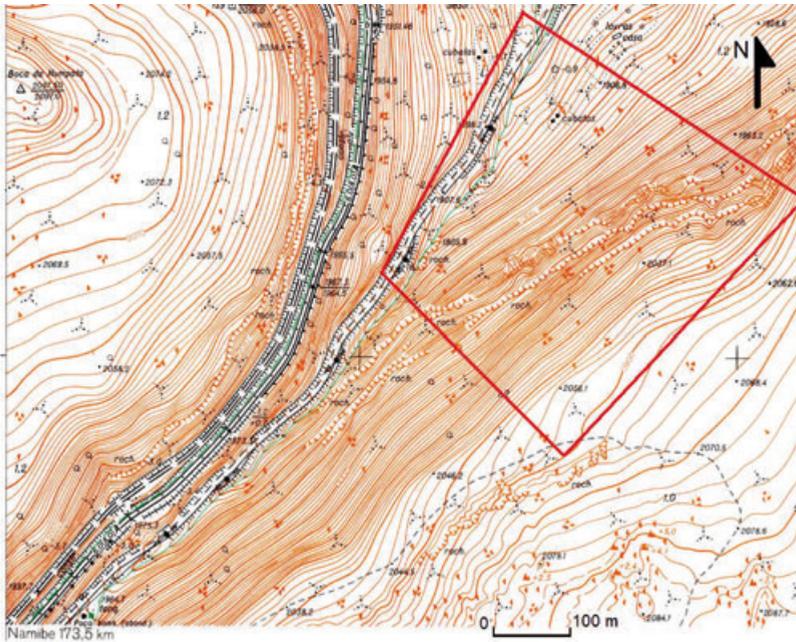


Fig. 1 – Localização da área estudada.

## 2 – Enquadramento geográfico e geológico

A cidade do Lubango situa-se na província da Huíla, que por sua vez se localiza no sudoeste do território Angolano. Verifica-se a existência de duas estações: a das chuvas

e a seca. A primeira ocorre entre os meses de Outubro e Abril e corresponde ao período de temperaturas mais elevadas. Nesta estação as temperaturas médias diárias variam entre 18° e 21°C e a precipitação apresenta valores entre os 600 e os 1200 mm. A estação seca decorre entre Maio e Setembro, durante a qual os valores de precipitação são reduzidos ou mesmo nulos (SINFIC, 2007).



Fig. 2 - Panorâmica da vertente estudada e do bairro "A Luta Contínua".

Na área de estudo verifica-se a existência de depósitos de vertente, bem como de quartzo-arenitos e arenitos pertencentes ao Grupo Chela de idade precâmblica. Observaram-se nas imediações da área estudada e, a uma cota mais baixa, a presença de granitos, quase sempre, com um grau de alteração elevado e de aspeto arenizado, os granitos são subjacentes às formações do Grupo Chela e de idade anterior.

Os depósitos de vertente ou de cobertura que se situam na área de trabalho encontram-se na base da encosta estudada. A origem destes depósitos está associada aos processos erosivos e aos movimentos de instabilidade das formações rochosas que se encontram a cotas mais elevadas. Os depósitos são constituídos por material de granulometria e composição muito variada, desde quartzo-arenitos, vulcano-arenitos, arenitos a conglomerados. Os blocos rochosos de maior dimensão apresentam-se envolvidos numa matriz de material arenoso a argiloso.

Os depósitos de vertente podem sofrer processos erosivos muitas vezes relacionados com escavações que são realizadas na base da vertente.

Os quartzitos, de acordo com VALE (1971) ou quartzo-arenitos segundo CORREIA (1976), da formação Tundavala, correspondem a materiais rochosos de elevada resistência, de cores esbranquiçadas a acinzentadas e de idade precâmblica. Os quartzo-arenitos são constituídos na sua quase totalidade por quartzo, sendo a percentagem de feldspatos e de outros minerais menor que 5%. Os arenitos possuem tonalidades rosadas, acastanhadas ou avermelhadas e correspondem a arenitos feldspáticos e líticos, diferenciando-se dos quartzo-arenitos em termos de composição, maturidade textural e consequente grau de resistência. Constata-se que as formações quartzo-areníticas revelam, de modo

geral, uma maior resistência do que as formações areníticas. Verifica-se também a presença de rochas vulcanoclásticas.

Os processos de instabilidade estão também muito relacionados com a estratificação de pendor horizontal a sub-horizontal e pela fracturação existente, verificando-se essencialmente a queda de blocos rochosos.

### 3 – Metodologia

Para a execução do presente trabalho, procedeu-se à identificação, na área urbana de Lubango, de um local em que se verificam, de modo frequente, situações de instabilidade como a queda de blocos.

Elaborou-se um questionário dirigido à população do bairro “A Luta Continua” abordando as situações de instabilidade de vertentes e de outras situações de risco. O inquérito teve como objetivos definir o grau de exposição, conhecimento e consciência relativamente às situações de ocorrência de instabilidades, por parte dos habitantes da área estudada, tendo sido apresentados em GONÇALVES (2011).

Efetuuou-se a caracterização de 105 blocos rochosos instabilizados, que se encontravam na vertente adjacente ao bairro “A Luta Continua”. A caracterização incluiu a identificação e a localização dos blocos rochosos, a determinação do tipo litológico e a definição volumétrica. Os blocos rochosos foram enquadrados nas seguintes classes volumétricas ( $m^3$ ):  $<0,05$ ;  $0,05-0,1$ ;  $0,1-0,5$ ;  $0,5-1,0$ ;  $1,0-5,0$  e  $>5,0$ .

A análise de queda dos blocos rochosos foi efetuada recorrendo ao programa informático RocFall, desenvolvido pela ROCSCIENCE (2002), que possibilita a definição do trajeto de queda de blocos rochosos. Na utilização do programa informático RocFall há que definir os perfis da vertente ou do talude a estudar, o ponto de origem de queda dos blocos e os parâmetros das superfícies dos materiais envolvidos nas situações de instabilidade.

### 4 – Avaliação da blocometria

As dimensões dos blocos rochosos quartzíticos que resultaram de situações de instabilidade podem ser superiores a  $5 m^3$ , no entanto as dimensões mais comuns variam entre  $0,1$  e  $0,25 m^3$  (Fig. 3).

Os blocos rochosos areníticos que estão associados aos movimentos de instabilidade, apresentam uma dimensão mais frequentes entre  $0,05$  e  $0,1 m^3$ , sendo também relativamente comuns os volumes entre  $0,25$  a  $0,5 m^3$ , registando-se a ausência de blocos de arenitos para as classes  $1,0 - 5,0 m^3$  e  $>5 m^3$ .

Verificou-se a presença de um maior número de blocos de quartzo-arenitos em relação aos blocos de arenitos. A volumetria dos blocos quartzo-areníticos tende a ser mais elevada que a dos blocos areníticos, o que se pode relacionar com a maior resistência dos quartzo-arenitos, pois os arenitos tendem a fragmentam-se mais facilmente no decorrer das trajectórias de queda. É também de salientar que o espaçamento das descontinuidades nos quartzo-arenitos é maior do que nos arenitos.



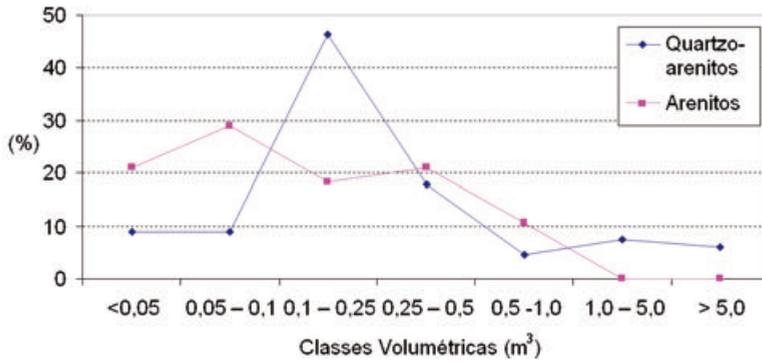


Fig. 3 – Representação dos valores percentuais das classes volumétricas dos blocos rochosos dos quartzo-arenitos e dos arenitos, em relação ao total de blocos.

### 5 – Utilização do Rocfall

Na análise efetuada com o RocFall utilizaram-se 4 perfis topográficos (AB, CD, EF e GH) de orientação NW-SE, com um afastamento entre perfis, na perpendicular, de aproximadamente 129 metros (Fig. 4). Nos perfis, do topo para a base, afloram os arenitos, os quartzo-arenitos que correspondem às zonas com maiores declives (Figs. 5 e 6), e os depósitos de vertente na base.

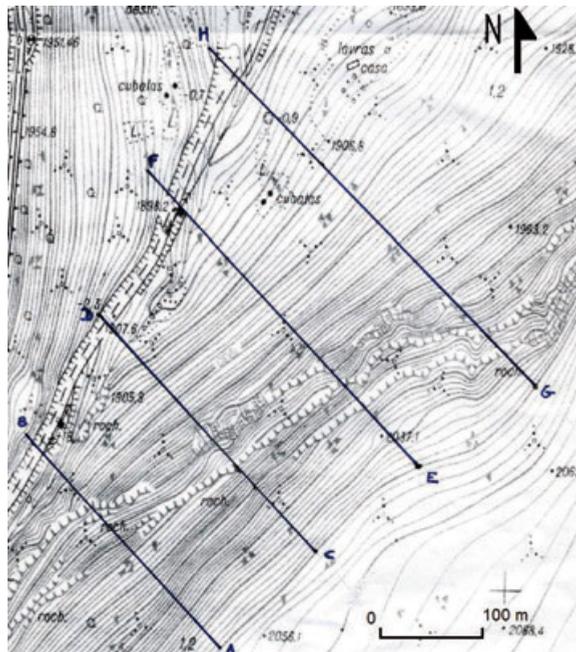


Fig. 4 – Localização dos perfis topográficos (AB, CD, EF e GH).

Nos diferentes perfis observou-se que a parte superficial dos depósitos de vertente é tendencialmente côncava e tem pendores compreendidos entre 15° a 40°, respectivamente no perfil GH e no perfil AB.

Definiram-se vários locais de origem da queda de blocos rochosos, quer para os arenitos, quer para os quartzo-arenitos, de maneira a estabelecer as possíveis trajetórias de queda dos blocos rochosos.

De acordo com os pesos específicos e as volumetrias mais comuns considerou-se para os blocos de arenitos e de quartzo-arenitos, respetivamente, a massa de 240 kg e de 500 kg.

Na Tabela 1 são apresentados os valores utilizados para os diferentes parâmetros necessários no programa Rocfall, nomeadamente o coeficiente de restituição normal (Rn), o coeficiente de restituição tangencial (Rt) e o ângulo de atrito ( $\phi^\circ$ ) para os diferentes materiais litológicos existentes no local (arenitos, quartzo-arenitos, depósitos de vertentes e materiais aluvionares).

Tabela 1 - Valores de Rn, Rt e  $\phi^\circ$  dos materiais presentes na área estudada.

Material	Rn	Rt	$\phi^\circ$
Arenito	0,4	0,9	32
Quartzo-arenito	0,42	0,92	35
Depósitos de vertente	0,4	0,85	28
Depósitos aluvionares e solo	0,3	0,6	30

Nas Figs. 5 e 6, apresenta-se o perfil topográfico AB utilizado no RocFall, de modo a estabelecer as trajetórias prováveis da queda de blocos rochosos, respetivamente de arenito e de quartzo-arenito. Verificou-se que as trajetórias dos blocos têm aproximadamente as mesmas distâncias na horizontal, ultrapassando ligeiramente, em ambas as situações, a base da encosta, onde se situa uma linha de água. O pendor elevado da vertente no perfil AB influencia de modo determinante as trajetórias.

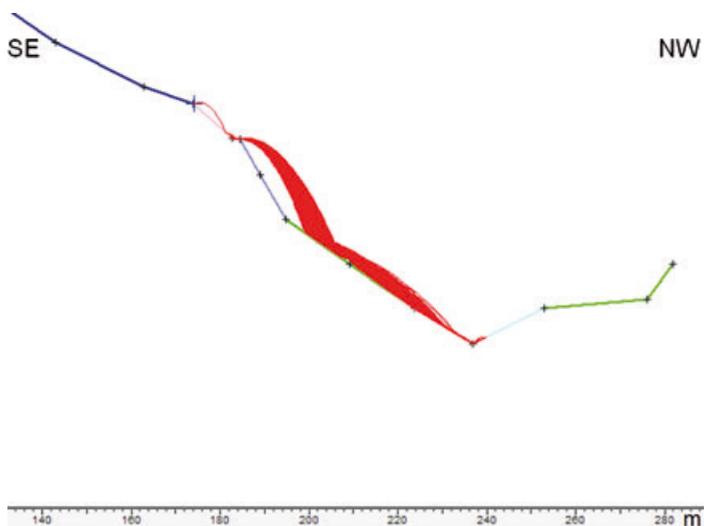


Fig. 5 - Trajetória dos blocos de arenito no perfil AB.

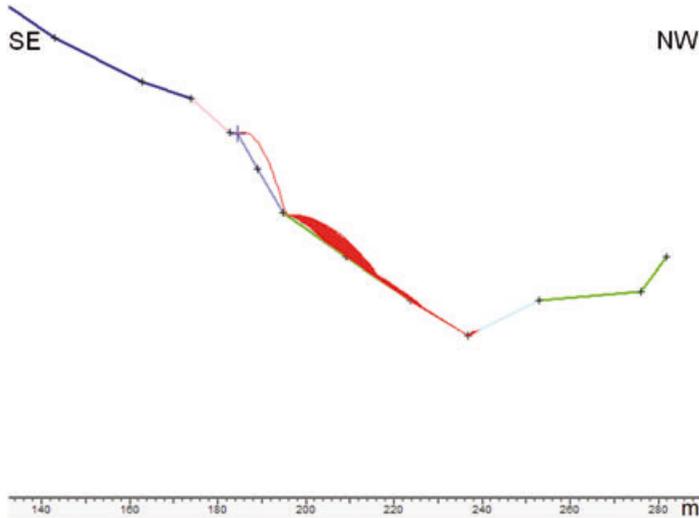


Fig. 6 - Trajetória dos blocos de quartzo-arenito no perfil AB.

Nos perfis de pendores mais elevados e de menor extensão horizontal, como os perfis AB (Figs. 5 e 6) e CD, verificou-se que os blocos rochosos podem intersectar ou ficarem muito próximos da linha de água, podendo atingir construções pertencentes ao bairro “A Luta Continua”.

Verifica-se que as situações de instabilidade em resultado da queda de blocos rochosos colocam em perigo as habitações e as pessoas na zona estudada, designadamente junto aos perfis AB e CD.

## 6 – Considerações finais

Efetuuou-se a caracterização litológica e volumétrica de 105 blocos rochosos que sofreram instabilização na vertente onde se localiza o bairro “A Luta Continua”, no Lubango, em Angola. Cerca de 63,8% dos blocos caracterizados correspondem quartzo-arenitos. A volumetria destes últimos é tendencialmente superior à dos blocos areníticos. Estes últimos têm, apesar de uma dispersão considerável, uma maior concentração na classe volumétrica de 0,05-0,1 m<sup>3</sup>. Os quartzo-arenitos possuem um maior número de blocos na classe volumétrica de 0,1-0,25 m<sup>3</sup>.

Procedeu-se à utilização do programa informático RocFall em 4 perfis da área estudada. Nos perfis que se localizam na parte Sul da área considerada (AB e CD), verificou-se que o pendor da vertente é mais acentuado e constatou-se que as trajetórias de queda dos blocos rochosos alcançam, ou ficam muito próximas, da linha de água situada na base da vertente, podendo deste modo atingir as habitações existentes nesta zona do bairro “A Luta Continua”.

De modo a permitir a ocupação humana na zona urbana de Lubango, nas áreas adjacentes às vertentes, devem estabelecer-se medidas protetoras ou de estabilização de vertentes tais como a colocação de redes de proteção metálicas e a utilização de

pregagens ou ancoragens. Estas medidas podem ser complementadas com muros de contenção dinâmicos.

O estabelecimento de políticas de ordenamento de território, com a regulamentação da ocupação dos terrenos em função dos riscos existentes, e a eventual proibição da ocupação humana das áreas mais vulneráveis, adjacentes às vertentes com fortes evidências de instabilidade, é fundamental para um desenvolvimento equilibrado das zonas urbanas.

É igualmente importante a realização de ações pedagógicas e de sensibilização das populações, de modo a fomentar a auto proteção, pois que a escassez de recursos, a falta de habitações e o desconhecimento dos riscos, contribui para a ocupação indevida de áreas de elevada vulnerabilidade.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

### Referências Bibliográficas

- CORREIA, H. (1976) - O Grupo Chela e a formação Leba como novas unidades litoestratigráficas resultantes da redefinição da "Formação da Chela" na região do planalto da Humpata (Sudoeste de Angola). *Boletim da sociedade Geológica de Portugal*, vol. XX (I-II), p. 65- 130.
- GONÇALVES, G.N. (2011) – Avaliação dos processos de instabilização da vertente do bairro "A Luta Continua". Tese de Mestrado em Geociências – Ambiente e Ordenamento de Território. DCT, Universidade de Coimbra.
- ROCSCIENCE (2002) – RocFall software for risk analysis of falling rocks on steep slopes. RocScience Inc.
- SINFIC (2007) - Plano de desenvolvimento da província da Huíla, Caracterização Ambiental. Sistemas de Informação Industriais e Consultoria (SINFIC).
- VALE, F.S. (1971) - Folha 336 – Sá da Bandeira, escala 1: 100 000. Direcção provincial dos Serviços de Geologia e Minas, Luanda.

ESTUDO DE TALUDES INSTÁVEIS  
NA ESTRADA LUBANGO-HUMPATA, SW DE ANGOLA

STUDY OF UNSTABLE SLOPES  
IN THE LUBANGO-HUMPATA ROADWAY, SW ANGOLA

P. S. Andrade<sup>1</sup>; G. Prego<sup>2</sup> & M. Quinta-Ferreira<sup>1</sup>

**Resumo** – No presente trabalho caracterizam-se as situações de instabilidade de dois taludes rodoviários localizados na Estrada Nacional 280, que se situam próximos da cidade de Lubango, SW de Angola. Os taludes são constituídos essencialmente por quartzo-arenitos de tonalidades esbranquiçadas, amareladas a acinzentadas e são sobrepostos por depósitos de cobertura. Nos taludes têm ocorrido situações de instabilidade tais como quedas de blocos, deslizamentos planares e em cunha. A caracterização dos taludes foi efectuada recorrendo à cartografia geológica e estrutural, à realização de ensaios in situ e à utilização das classificações Rock Mass Rating (RMR), Slope Mass Rating (SMR) e Rockfall Hazard Rating System. Avaliaram-se as ocorrências de instabilidade e apresentam-se possíveis medidas de redução e de mitigação das situações de instabilidade.

**Palavras-chave** – Estabilidade de taludes; RMR; SMR; Rockfall Hazard Rating System; Lubango

**Abstract** – *The stability problems of two road cut slopes located on National road 280, near Lubango, SW Angola, are characterized. The slopes are mainly composed by quartz sandstones with whitish, yellowish and greyish colors and are overlaid by debris deposits. The slopes presented stability movements such as rockfalls, planar and wedge failures. A geological and structural survey and in situ tests were carried out. The Rock Mass Rating (RMR), the Slope Mass Rating (SMR) classifications as well as the Rockfall Hazard Rating System*

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra, Portugal; pandrade@dct.uc.pt; mqf@dct.uc.pt

<sup>2</sup> Mestre pela Universidade de Coimbra e pela Universidade Privada de Angola; guidoprego@yahoo.com.br

were used. The slope movements were analyzed and some slope prevention and stabilization procedures are defined.

**Keywords** – Slope stability; RMR; SMR; Rockfall Hazard Rating System; Lubango

## 1 – Introdução

No trabalho pretende-se identificar os problemas de instabilidade de dois taludes da Estrada Nacional 280, que é a via rodoviária principal entre Lubango e Humpata. Esta estrada constitui a principal ligação entre as províncias da Huíla e do Namibe, sendo através dela que se efectua o intercâmbio de vários produtos comerciais e industriais.

Na zona estudada registam-se situações de instabilidade dos taludes, em particular a queda de blocos rochosos, desde a construção da estrada. No troço entre Lubango e Humpata, nunca se efectuaram medidas de protecção ou de estabilização dos taludes, de modo a evitar ou reduzir os fenómenos de instabilidade.

A área de estudo compreende dois taludes, situando-se na província da Huíla, no município do Lubango, na Estrada Nacional 280, entre Lubango e o município da Humpata. O Talude 1 compreende dois troços (Fig. 1).

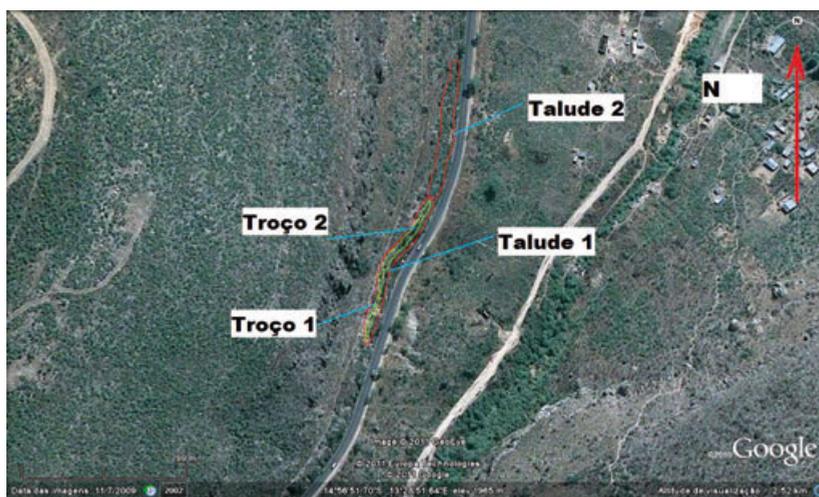


Fig. 1 – Localização dos taludes estudados (Google Earth, 2010).

## 2 – Enquadramento geográfico e geológico

A área encontra-se a uma cota compreendida entre 1970 e 1980 metros. Na parte inferior da vertente regista-se a presença de uma área habitacional denominada bairro “A Luta Continua” onde habitam entre 250 a 300 pessoas. Nos últimos anos tem-se registado um incremento na construção em algumas das vertentes adjacentes à via de comunicação, em parte devido às suas características paisagísticas. O clima da província

da Huíla apresenta características variadas, sendo geralmente considerado, como quente ou tropical (temperatura média anual superior a 20°C). Nas áreas de cota mais elevada, como é o caso da área urbana de Lubango, pode ser considerado como temperado ou como temperado quente. O período de maior pluviosidade ocorre nos meses de temperatura mais elevada, de modo geral entre Outubro a Abril, os meses de Junho e Julho tendem a ser muito secos (SINFIC, 2007).

As rochas graníticas são aflorantes numa parte muito considerável da província da Huíla e são parte integrante das formações eruptivas do Maciço Antigo. No caso dos granitos presentes na área de Lubango estes têm uma idade superior a 2250 milhões de anos, têm grão fino a grosseiro e são definidos como granitos porfiróides a gnáissicos, podendo por vezes ser considerados como granodioritos.

As formações do Grupo Chela que correspondem a um grupo de rochas sedimentares e vulcanoclásticas, são sobrejacentes ao granito existente na cidade do Lubango, e têm idade Proterozóica, entre 1100 a 1400 milhões de anos (CARVALHO & ALVES, 1993), podendo atingir espessuras superiores a 500 m (CORREIA, 1976).

Os taludes analisados enquadram-se no Grupo Chela, sendo constituídos por quartzo-arenitos com tonalidades esbranquiçadas a amareladas e acastanhadas, por vezes róseas, estas últimas relacionadas com fenómenos de oxidação. Os quartzo-arenitos possuem textura granular e grão médio a fino, por vezes pode observar-se estratificação entrecruzada. A sua resistência tende a ser elevada, o que está relacionado com a sua composição quartzosa.

Na parte superior dos taludes verifica-se a presença de depósitos de cobertura, resultantes da atuação de processos erosivos e de movimentos de instabilidade de vertentes nos afloramentos localizados a cotas superiores aos taludes estudados. A espessura dos depósitos de cobertura é variável, entre 1,0 a 1,5 m, no primeiro talude, e de 1,0 a 2,5 m no segundo talude. Os depósitos de cobertura são heterométricos e por vezes pouco consolidados. Os componentes mais grosseiros podem apresentar uma dimensão de 0,30 m<sup>3</sup>. A composição dos depósitos de cobertura apresenta-se variável, mas verifica-se um predomínio de quartzitos, quartzo-arenitos e arenitos, observando-se igualmente material arenoso. A permeabilidade dos depósitos é superior à dos quartzo-arenitos, nos quais a circulação da água se efectua pelas superfícies das descontinuidades.

### 3 – Metodologia

No estudo seleccionaram-se taludes rodoviários em que se verificam situações de instabilidade. A caracterização geológica foi efectuada através da observação macroscópica e da utilização do martelo de geólogo, definindo-se a dureza das formações rochosas através da utilização do martelo de Schmidt.

Para a utilização das classificações geomecânicas procedeu-se a um levantamento geológico e estrutural que permitiu definir as famílias de descontinuidades e as suas características.

Determinaram-se os valores do espaçamento, material de preenchimento, estado de alteração, persistência, abertura e rugosidade das superfícies das descontinuidades, bem como da percolação e dos parâmetros geométricos dos taludes, das dimensões da plataforma da via rodoviária e da respectiva vala. Procedeu-se à captação de imagens fotográficas da totalidade da extensão dos taludes.

Nos locais seleccionados procedeu-se à elaboração da cartografia geológica e estrutural e à definição das situações de instabilidade. No estudo dos taludes aplicaram-se as classificações geomecânicas “Rock Mass Rating” (RMR) de BIENIAWSKI (1979 e 1989), o “Slope Mass Rating” (SMR) de ROMANA (1996). A classificação RMR permite uma utilização para diferentes tipos de obras de engenharia, enquanto a classificação SMR de Romana está direccionada para o estudo de taludes. As classificações RMR e SMR são aplicadas em maciços rochosos e requerem a definição de um zonamento prévio dos maciços.

Foi também aplicada a classificação “Rockfall Hazard Rating System” (RHRS) (PIERSON *et al.*, 1990).

### 3.1 – Classificação SMR

A classificação SMR corresponde a um método de avaliação das situações de instabilidade dos taludes rochosos. O SMR é definido a partir da classificação RMR, adicionando-se ao valor do RMR a multiplicação de um conjunto de factores que estão associados ao tipo de movimento de instabilidade, planar ou basculamento (toppling), à orientação das descontinuidades e dos taludes (Equação 1). Deve mencionar-se igualmente a presença do factor F4, que está relacionado com o método empregue no processo de escavação ou desmonte do talude. Os valores do SMR e a avaliação geral das condições da estabilidade permitem definir medidas de estabilização para os taludes.

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (1)$$

F1 é obtido através da diferença em valor absoluto entre as direcções das descontinuidades e do talude. F1 apresenta valores entre 0,15 e 1,0.

F2 é definido a partir do pendor das descontinuidades e tem, para as roturas do tipo planar, valores compreendidos entre 0,15 e 1,0, sendo este último valor para pendores superiores a 45°. Para as roturas por basculamento considera-se que F2 apresenta valores constantes de 1,0.

F3 está relacionado com a diferença entre os pendores das descontinuidades e das faces dos taludes. Os valores de F3 variam entre 0 e -60 para a rotura planar e 0 e -25 para a rotura por basculamento.

F4 assume o valor de +15 para taludes naturais ou vertentes, +8 para os desmontes efectuados com explosivos do tipo “smooth blasting”, 0 para a escavação mecânica ou por explosivos e de -8 para desmontes de má qualidade executados com explosivos.

### 3.2 – Classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS)

Na classificação “Rockfall Hazard Rating System” (RHRS), que pode ser designada como Sistema de Avaliação do Perigo de Queda de Blocos Rochosos, procede-se à definição das condições de estabilidade relativas a cada talude com vista à definição do risco relacionado com as situações de instabilidade de material rochoso para a circulação automóvel.

Os diferentes parâmetros constituintes da classificação RHRS são: altura do talude, eficácia da vala, risco médio para veículos, distância de visibilidade de decisão, largura



da plataforma da via, natureza geológica (Caso 1 – Condição estrutural e atrito da rocha; Caso 2 – Condição estrutural e diferença em taxas de erosão), tamanho do bloco ou quantidade de blocos caídos por evento e presença de água no talude. Os vários parâmetros são classificados em valores ponderais, numa escala de 3, 9, 27 e 81 pontos (PIERSON *et al.*, 1990).

#### 4 – Aplicação da metodologia

##### 4.1 – Características dos taludes

O talude 1 apresenta 13,5 metros de altura média e 100 metros de comprimento, cada troço tem cerca de 50 metros de extensão. O talude 2 tem uma altura média de 8 metros e um comprimento de 100 metros.

O material rochoso no 1º troço do Talude 1 apresenta um menor grau de alteração, mas também se registaram situações de instabilidade. No 2º troço do Talude 1, o material rochoso encontra-se mais fracturado e os valores da abertura das descontinuidades são mais elevados.

Nos últimos anos têm-se registado situações de instabilidade, em particular no Talude 1, registando-se a presença de blocos tombados na base desse talude. No decorrer de Março de 2011 observou-se a queda de blocos rochosos na via rodoviária. Estas ocorrências de instabilidade estão relacionadas com as precipitações elevadas que se verificaram no referido mês.

Para cada troço do talude 1 efectuou-se a determinação da resistência à compressão uniaxial do material rochoso ( $\sigma$ ) através da utilização do martelo de Schmidt, do tipo L. No primeiro troço do talude 1, para o material de menor resistência, definiu-se o valor de  $\sigma$  de aproximadamente de 34 MPa, pelo que o valor ponderal do parâmetro relativo a  $\sigma$  na classificação RMR assume o valor de 4.

Na zona de resistência mais elevada, do primeiro troço, do Talude 1, o valor de  $\sigma$  é de 120 MPa e na classificação RMR o valor ponderal corresponde a 12.

Para o segundo troço do Talude 1 determinou-se para a zona de menor resistência um valor médio de  $\sigma$  de cerca de 26 MPa, pelo que o seu peso na classificação RMR foi definido como igual a 4. Para a zona de maior resistência, do segundo troço, do Talude 2, obteve-se um valor de  $\sigma$  de 110 MPa, o que permitiu definir um valor ponderal de 12, de acordo com a classificação RMR.

No decorrer do levantamento de campo não se verificou percolação de água nas superfícies de descontinuidade, mas a abertura das descontinuidades e o aspecto oxidado das suas superfícies indicia a existência de percolação de água nos períodos de maior precipitação.

##### 4.2 – Utilização das classificações RMR e SMR

O primeiro troço do talude 1 (Fig. 2) possui três famílias de descontinuidades que foram designadas como H, S e O, enquanto o segundo troço tem 4 famílias que foram denominadas como H, S, O e A. As descontinuidades da família H correspondem à estratificação.

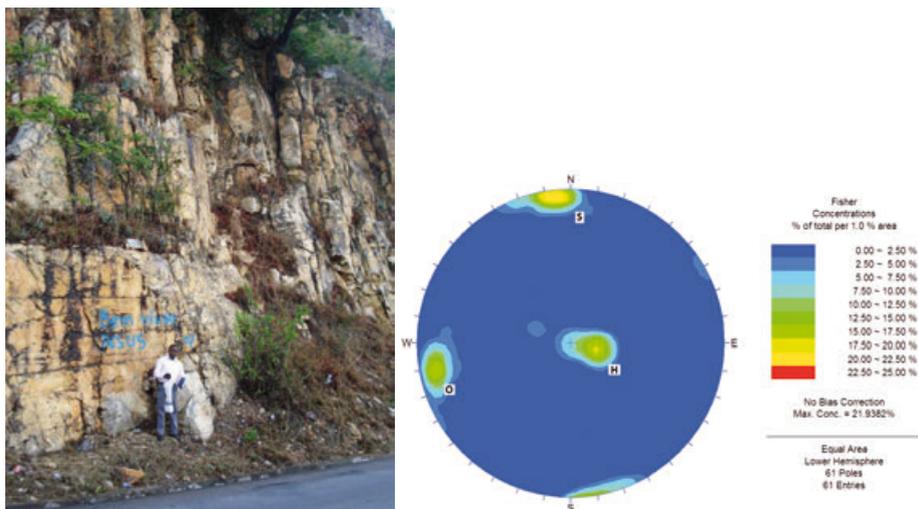


Fig. 2 – Vista parcial do talude e representação da projeção estereográfica dos polos das discontinuidades no primeiro troço do talude 1.

As classificações RMR e SMR foram aplicadas nos dois troços do Talude 1, os resultados são apresentados nas Tabelas 1 a 4.

Os valores do RMR apresentados na Tabela 1 para o maciço rochoso mais resistente do primeiro troço revelaram-se próximos, com uma diferença máxima de 5 pontos. O maciço rochoso foi classificado como de boa qualidade. Para a parte de menor resistência do primeiro troço definiu-se o maciço rochoso como de qualidade razoável a boa (Tabela 2).

Tabela 1 – Valores das classificações RMR e SMR para as diferentes famílias de discontinuidades presentes na zona de resistência mais elevada do 1º troço do talude 1

1º Troço	H	S	O
RMR	71	72	67
SMR (Rotura Planar)	70	71	49
SMR (Rotura por Toppling)	71	68	63

Tabela 2 – Valores das classificações RMR e SMR para as diferentes famílias de discontinuidades presentes na zona de resistência mais reduzida do 1º troço do talude 1.

1º Troço	H	S	O
RMR	61	62	57
SMR (Rotura Planar)	60	61	39
SMR (Rotura por Toppling)	61	58	53

De acordo com os valores apresentados na Tabela 3 verificou-se que o maciço rochoso de maior resistência do segundo troço pode ser classificado como de boa qualidade. Os valores do RMR para o maciço rochoso de menor resistência do segundo troço permitiram definir este último como de qualidade razoável se exceptuarmos os resultados relacionados com a família H (Tabela 4).

Tabela 3 – Valores das classificações RMR e SMR para as diferentes famílias de discontinuidades presentes na zona de resistência mais elevada do 2º troço do talude 1.

1º Troço	H	S	0	A
RMR	71	70	65	67
SMR (Rotura Planar)	70	66	58	43
SMR (Rotura por Toppling)	71	66	61	63

Tabela 4 – Valores das classificações RMR e SMR para as diferentes famílias de discontinuidades presentes na zona de resistência mais reduzida do 2º troço do talude 1.

1º Troço	H	S	0	A
RMR	61	60	55	57
SMR (Rotura Planar)	60	56	48	33
SMR (Rotura por Toppling)	61	56	51	53

Na determinação do SMR efectuou-se a obtenção prévia do RMR para cada família de discontinuidades presentes na respectiva secção do maciço rochoso. O valor de F4 foi considerado igual a zero. Os resultados do SMR para o primeiro e segundo troços do talude 1 são apresentados nas Tabelas 1 a 4.

Para os valores do SMR e de acordo com os critérios de ROMANA (1996) consideraram-se os valores mais baixos obtidos, pelo que para o primeiro troço do talude 1 é igual a 39, verificando-se que este valor está relacionado com as discontinuidades da família O e a roturas do tipo planar (Tabela 2). O valor de SMR de 39 permite classificar o 1º troço do talude 1 como instável, podendo-se verificar roturas planares ou em cunha de grandes dimensões. Para o 2º troço do talude 1 definiu-se que o valor mais baixo do SMR corresponde a 33, o que o permite enquadrar como instável de acordo com a classificação SMR de ROMANA (1996). É de salientar que o valor de 33 é inferior ao encontrado para o 1º troço do talude 1, o que está de acordo com as observações in situ, em que se registaram mais situações de instabilidade no 2º troço do que no 1º troço do talude 1.

Os valores da classificação RHRS para o primeiro e segundo troços do talude 1 foram, respectivamente, 314 e 343, enquanto para o talude 2 se obtiveram, considerando respectivamente as condições geológicas do Caso 1 e do Caso 2, os valores de 244 e 235.

De acordo com o Sistema de Transportes do Estado de Oregon (PIERSON *et al.*, 1990) e HOEK (2007), os taludes cujo somatório dos valores dos parâmetros da classificação RHRS são menores que 300 devem ser considerados como de prioridade baixa, enquanto os taludes com RHRS superior a 500 devem ser sujeitos a acções de estabilização urgente.

Para os troços do talude 1 devem ser tomadas medidas de mitigação e de estabilização, dado que o somatório dos parâmetros da RHRS é superior a 300, para o talude 2 esses tipos de acções poderão ser igualmente adoptados mas não de uma forma prioritária, dado que os valores do somatório dos parâmetros da RHRS são menores do que 300. Os valores do SMR para o 2º troço do talude 1 definiram a possibilidade de processos de instabilidade mais acentuados, os resultados da classificação RHRS, para esse mesmo troço, permitiram definir uma situação em que a adopção de medidas de estabilização deveria ser efectuada mais rapidamente do que no 1º troço do talude 1 e no talude 2.

### 4.3 – Medidas de estabilização

458

Podem adoptar-se medidas de estabilidade nos taludes a partir dos resultados das classificações SMR e RHRS, bem como da caracterização efetuada in situ. Numa fase inicial de estabilização dos taludes deve efetuar-se o saneamento de blocos rochosos de volume significativo e que se apresentem com sinais de instabilidade. Devem ser instalados sinais de trânsito, de modo a avisar os condutores da eventualidade da queda de blocos rochosos.

Tendo em atenção os valores do SMR e obtidos pela classificação RHRS, recomenda-se a utilização de redes de protecção metálicas e de pregagens para o primeiro troço do talude 1. Em algumas zonas do maciço rochoso, mais fracturadas e alteradas deste troço, poderá utilizar-se betão projectado. Para o 2º troço do talude 1 propõe-se a colocação de redes metálicas e o reforço do talude através de pregagens que devem ser sistemáticas e mais profundas na parte do troço mais sujeita a situações de instabilidade, em particular onde se podem verificar quedas de blocos de maior dimensão e que estão relacionadas com as descontinuidades da família A, o betão projectado pode ser empregue nas zonas de fraturação de menor espaçamento e com um grau de alteração mais elevado.

O talude 2 deve ser monitorizado de modo a verificar a evolução das situações de instabilidade, podendo adoptar-se medidas de estabilização se os blocos rochosos na sua trajetória atingirem a plataforma da via rodoviária. Os eventuais problemas de instabilidade originados pelos depósitos de cobertura podem ser minimizados através de ações de saneamento no cimo dos taludes e pela diminuição do pendor dos referidos depósitos.

## 5 – Conclusões

No presente estudo caracterizam-se algumas das situações de instabilidade na estrada que liga Lubango e Humpata. Os taludes estudados apresentam-se constituídos principalmente por quartzo-arenitos ou quartzitos, verificando-se a presença de depósitos de cobertura que são originados por processos erosivos.

Registaram-se ocorrências de situações de instabilidade nos taludes 1 e 2, designadamente a queda de blocos rochosos, podendo verificar-se igualmente deslizamentos planares e em cunha. As quedas de blocos verificam-se com uma maior frequência no talude 1 do que no talude 2.

As situações de instabilidade são originadas pela orientação desfavorável das descontinuidades e pela presença da água, existindo queda de blocos rochosos, em particular nos períodos de maior precipitação.

Os valores do RMR do talude 1 (primeiro e segundo troços) revelaram que o maciço rochoso de maior resistência pode ser classificado de boa qualidade. O maciço rochoso de menor resistência, do 1º troço do talude 1, tem qualidade intermédia a boa, enquanto o do 2º troço do talude 1 tem predominantemente uma qualidade razoável.

Os valores mais baixos que foram obtidos através da classificação SMR permitiram definir os dois troços do talude 1 como instáveis.

Na utilização da classificação RHRS, no primeiro e no segundo troço do talude 1 obtiveram-se, respectivamente, valores de 314 e 343. Para o talude 2 consoante se considerou o maciço rochoso ou os depósitos de cobertura determinaram-se valores de 244

ou 235. Os dois troços do talude 1, de acordo com os valores da classificação RHRS são considerados como susceptíveis de intervenção, mas não constituem situações em que a estabilização deve ser realizada de forma imediata.

No primeiro troço do talude 1 as medidas de estabilização são a utilização de redes metálicas associadas ao emprego de pregagens, podendo utilizar-se, por vezes, betão projectado. No segundo troço do talude 1 podem empregar-se métodos de estabilização idênticos aos do primeiro troço devendo ter-se o cuidado de utilizar pregagens de maior profundidade nos blocos potencialmente instáveis e que apresentam maiores dimensões.

Para o talude 2 é recomendada a realização de observações periódicas de modo a monitorizar a possível ocorrência de instabilidades.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

### Referências Bibliográficas

- BIENIAWSKI, Z.T. (1979) - The Geomechanics Classification in rock engineering applications. *Proc. of the Fourth Congress International on Rock Mechanics*, Montreux, Canada. Balkema, Boston, p. 51-58.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989) - Engineering Rock Mass classifications. Wiley, New York.
- CARVALHO, H. & ALVES, P. (1993) - The Precambrian of SW Angola and NW Namibia. General Remarks. Correlation Analysis. Economic Geology. *Comunicações do Instituto de Investigação Científica e Tropical, Série de Ciências da Terra*, 4.
- CORREIA, H. (1976) - O Grupo Chela e a formação Leba como novas unidades litoestratigráficas resultantes da redefinição da "Formação da Chela" na região do planalto da Humpata (Sudoeste de Angola). *Boletim da sociedade Geológica de Portugal*, vol. XX (I-II), p. 65-130.
- HOEK (2007) - Practical rock engineering. <http://www.rocsience.com/hoek>. (Consultado em 2011.12.15).
- PIERSON, L.A.; DAVIS, S.A. & VAN VICKLE, R. (1990) – Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual. Federal Highway Administration (FHWA). US Department of Transportation.
- ROMANA, M. (1996) - The SMR geomechanical classification for slopes: A critical ten-years review. Proceedings of the Eighth International Conference and Field Trip on Landslides, Granada, Spain. Balkema (Ed.), Rotterdam, pp. 255-267.
- SINFIC (2007) - Plano de desenvolvimento da província da Huíla, Caracterização Ambiental. Sistemas de Informação Industriais e Consultoria (SINFIC).

(Página deixada propositadamente em branco)

## CARACTERIZAÇÃO DAS INSTABILIZAÇÕES DE TALUDES DE ESCAVAÇÃO NO AREEIRO, COIMBRA, PORTUGAL

### CHARACTERIZATION OF THE CUT SLOPES FAILURES IN AREEIRO, COIMBRA, PORTUGAL

M. Quinta-Ferreira<sup>1</sup>, P. S. Andrade<sup>2</sup>; L. L. Lemos<sup>3</sup>, A. A. Saraiva<sup>4</sup>

**Resumo** – Procedeu-se à análise de diferentes situações de instabilidade de taludes de escavação que se verificaram nos “Grés de Silves” na zona do Areeiro em Coimbra. A reduzida inclinação dos planos de estratificação que originaram a instabilização, a presença de camadas de pelitos acinzentados e a ocorrência de precipitação intensa constituem os aspetos mais marcantes das instabilizações. O estudo de campo e de laboratório permitiu concluir que a resistência dos pelitos decresce progressivamente, sendo influenciada essencialmente pela descompressão e alteração, desenvolvendo-se condições favoráveis à instabilização quando aumenta a pressão da água.

**Palavras-chave** – Deslizamentos; Triásico; Pelitos; Alteração; Coimbra.

*Abstract* – Various instability situations on excavation slopes that occurred in the “Grés de Silves” in the Areeiro area, Coimbra, are evaluated. The reduced dip angle of the bedding planes that led to instability, the presence of the grey mudstone layers and the occurrence of heavy precipitation are the most striking aspects of the failures. The field and laboratory study concluded that the strength of the mudstones decreases progressively in time and is mainly influenced by decompression and weathering, creating conditions favourable to instability when pore water pressure increases.

**Keywords** – Landslides, Triassic, Mudstones, Weathering, Coimbra.

---

<sup>1 2 4</sup> Departamento de Ciências da Terra. Centro de Geociências. Largo Marquês de Pombal. Universidade de Coimbra. 3000-272 Coimbra. Portugal; <sup>1</sup>mqf@det.uc.pt, <sup>2</sup>pandrade@det.uc.pt, <sup>4</sup>asaraiva@det.uc.pt

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil. Centro de Engenharia Civil. Polo II. Universidade de Coimbra. Rua Luís Reis dos Santos. 3030-788 Coimbra; llemos@dec.uc.pt

## 1 – Introdução

462

Desde o ano de 2004 verificaram-se várias situações de instabilização na zona do Areiro, em Coimbra, apresentando algumas semelhanças geométricas, mas condições de instabilização diferenciadas. De modo a definir as causas destas instabilizações efetuou-se um estudo de campo, com a recolha de informação dos vários episódios de instabilização e, posteriormente realizaram-se ensaios de laboratório. A partir do trabalho desenvolvido procurou-se entender as causas das instabilizações, em situações geológicas que não faziam antever a ocorrência de deslizamentos, devido à reduzida inclinação das camadas, com cerca de 15° a 16°.

A primeira instabilização de que temos registo ocorreu em Março de 2004, durante os trabalhos de escavação para a construção da estrada a nascente da Escola do Areiro. Tratou-se de uma pequena escavação com alguns metros de altura máxima, numa extensão de cerca de 100 m segundo a diretriz da estrada (Fig. 1-a). Em Dezembro do ano seguinte, em 2005, ocorreu a segunda instabilização, mas agora a oeste da Escola do Areiro (Fig. 1-b). Passados alguns meses, em Março de 2006, ocorreu nova instabilização após a escavação resultante da preparação da plataforma para a urbanização da Quinta do Areiro, durante a construção do muro de suporte em gabiões, que pretendia estabilizar o talude escavado. Esta instabilização foi limitada superiormente por uma falha subvertical, que limitou o desenvolvimento da rotura, evitando que chegasse até à habitação na parte superior do terreno (Fig. 1-c). No final de 2007 verificou-se nova instabilização por baixo da escola do Areiro, mas com menores dimensões que a ocorrida anteriormente. Em Abril de 2010 ocorreu uma instabilização no talude de escavação da rotunda do Areiro (Fig. 1-d). Em Maio do ano seguinte houve mais uma instabilização na rotunda do Areiro, dando continuidade para norte à instabilização anterior.

## 2 – Contribuição da geologia para as instabilizações

A geologia local é constituída por materiais sedimentares da unidade dos “Grés de Silves” datados do Triásico (PALAIN, 1976; AZERÊDO et al., 2003; SOARES et al., 2007), sobrepondo-se aos xistos Proterozóicos da unidade designada como série negra. Na área estudada observam-se arenitos e conglomerados de cores avermelhadas cuja origem está relacionada com a deposição fluvial, também se regista a presença de níveis pelíticos de tonalidades acizentadas, cuja formação está associada à sedimentação lacustre de profundidades reduzidas (MIRANDA et al., 2010).

Anteriormente à recente intervenção humana no terreno, os processos da geodinâmica externa (alteração, erosão e transporte), modelaram a geomorfologia do terreno, conferindo um declive mais suave à vertente do lado do Areiro, em relação à Quinta da Portela, do lado oeste do vale, dado que a estrutura geológica inclina suavemente para oeste. Na Fig. 2 apresenta-se um perfil do terreno segundo um alinhamento aproximadamente EW, ilustrando o declive dos dois lados do vale, sendo evidente o baixo declive do lado do Areiro, onde foram registadas as instabilizações.





Fig. 1 – Aspeto de algumas das instabilizações ocorridas no Areiro. a) Estrada a nascente da escola do Areiro, em Março 2004; b) Talude da escola do Areiro, em Dezembro de 2005; c) Urbanização da Quinta do Areiro, em Março de 2006; d) Rotunda do Areiro, em Abril de 2010.

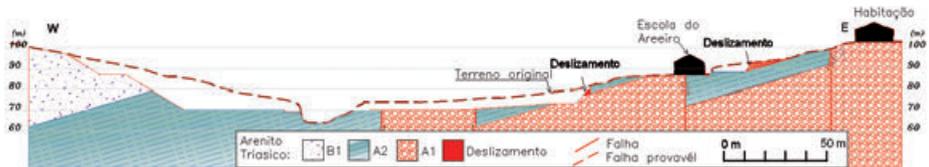


Fig. 2 - Perfil interpretativo orientado de oeste (W) para este (E) no vale do Areiro. À esquerda situa-se a Quinta da Portela e à direita a zona do Areiro. A1, A2 e B1 – termos do Grés de Silves segundo PALAIN (1976).

Sabendo-se que as camadas de arenito mergulham genericamente para oeste, com pendores rondando  $15^\circ$  a  $16^\circ$ , não parecia provável a ocorrência de qualquer problema de instabilização, numa formação essencialmente arenítica, que se caracteriza por apresentar ângulos de atrito elevados. Os pelitos (siltitos e argilitos) que se encontram intercalados nas bancadas areníticas em zonas condicionadas estratigráficamente, apresentam uma espessura que varia entre 0,1 m e 0,3 m e têm superfícies de descontinuidade quase lisas a lisas (Fig. 3). As unidades areno-conglomeráticas possuem espessuras superiores às definidas pelos pelitos e as suas superfícies de

descontinuidade são ligeiramente rugosas a quase lisas. A família principal das descontinuidades corresponde aos planos de estratificação das camadas areno-conglomeráticas e pelíticas.



Fig. 3 – Presença de pelitos intercalados nas unidades areno-conglomeráticas.

Considera-se que as características e dimensões das instabilizações foram essencialmente condicionadas pela geologia local, ao definir zonas, delimitados por falhas, em que as camadas pelíticas (silto-argilosas) intercaladas nos arenitos sofreram rotura pontual, ocasionando a queda dos taludes de escavação. A rotura das camadas dos pelitos resultou da sua baixa resistência ao corte, após a atuação dos processos de degradação desencadeados pela intervenção humana. A evolução das características dos pelitos, que sendo originalmente uma rocha branda, se transformam progressivamente num solo de baixa resistência ao corte, foi investigada recorrendo à realização de vários ensaios de laboratório, procurando determinar quer as características mineralógicas destes materiais, quer as suas propriedades físicas e mecânicas condicionantes da estabilidade.

### 3 – Características das amostras intactas

Os pelitos encontrados “in situ” possuem propriedades físicas que resultaram da evolução das condições geológicas desde a sua formação, tendo sofrido fortes tensões verticais devido ao recobrimento e à diagénese, resultado a formação uma rocha branda.

Para avaliar as características físicas das amostras intactas, foram efetuados ensaios com o porosímetro de mercúrio, cujos resultados se apresentam na Tabela 1. A escolha do porosímetro de mercúrio resultou da necessidade de utilizar uma técnica que não destruísse a estrutura interna da amostra, que se sabia ser muito evolutiva em contacto com a água (ISRM, 2007). Para identificar a mineralogia dos pelitos foram realizados ensaios de Raios-X. Para a fração grosseira foram identificados quartzo, feldspato potássico, mica e vestígios de dolomite. Na fração fina, correspondente às argilas, foram identificadas a ilite como mineral dominante, a caulinite e interestratificados ilite-vermiculite (QUINTA-FERREIRA et al., 2011).

Tabela 1 – Resultados dos ensaios com o porosímetro de mercúrio.

Amostra N°		A11-1	A11-2	A11-3	A11-4	A11-5
Área total dos poros	(m <sup>2</sup> /g)	11.36	6.51	6.75	5.36	12.61
Diâmetro médio dos poros	(μm)	0.031	0.042	0.033	0.049	0.028
Peso volúmico seco $\gamma_d$	(kN/m <sup>3</sup> )	20.79	21.81	22.56	22.11	20.80
Peso volúmico real $\gamma_s$	(kN/m <sup>3</sup> )	25.56	25.77	25.85	25.94	25.51
Porosidade	(%)	18.64	15.35	12.73	14.79	18.46

465

#### 4 – Propriedades índice das amostras remexidas

Na sequência da alteração e desagregação da rocha branda, devido à descompressão em presença da água, formam-se solos cujo comportamento condiciona grandemente a estabilidade dos taludes estudados. Para melhor conhecer as características destes solos invulgares foram caracterizadas três amostras remexidas (A11.1, A11.3 e A11.5) através da análise granulométrica e dos limites de consistência. As amostras colhidas foram secas e reduzidas a pó. Ao material destinado aos ensaios de consistência foi adicionada água e deixado repousar, por um período de 24 horas antes da realização dos ensaios. A Tabela 2 resume os resultados dos ensaios de consistência bem como do tamanho das partículas.

De acordo com a carta de plasticidade de Casagrande as amostras estudadas são classificadas como CL (argilas de baixa a média plasticidade). A atividade das amostras A11.1 e A11.5, com o valor próximo de 1, confirma os ensaios de Raios-X os quais indicam a illite como mineral argiloso predominante. Para a amostra A11.3, a argila que possui é de alta atividade, no entanto apenas tem uma percentagem de 5% de argila.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de consistência e do tamanho das partículas.

Amostra N°	Granulometria (%)			Consistência (%)			A	Classificação do solo
	Argila	Silte	Areia	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	IP		
A11.1	17	51	32	37,5	20,3	17,2	1,0	Argila siltoosa de atividade intermédia
A11.5	15	55	30	40	22,4	17,6	1,2	
A11.3	5	65	30	31	20,5	10,5	2,1	Argila siltoosa de atividade alta

w<sub>L</sub> – Limite de liquidez. w<sub>p</sub> – Limite de plasticidade. IP – Índice de plasticidade. A – Atividade da argila (IP / % de argila).

#### 5 – Resistência ao corte

Para a determinação da resistência ao corte foram realizados ensaios no aparelho de corte rotativo de Bromhead. A amostra tem uma forma anelar, uma altura de 5 mm, um diâmetro interno de 70 mm e externo de 100 mm, preenche o anel inferior, sendo cortada contra uma placa de bronze suficientemente rugosa para evitar o deslizamento na interface da placa com o solo, formando-se assim uma superfície de rotura no solo

a escassos milímetros da interface. A carga normal é aplicada através da placa superior utilizando um sistema de pesos e alavanca formando uma razão de 10:1. O prato inferior roda a uma velocidade constante e o prato superior reage contra dois anéis dinamômetros aplicando um momento torsor à amostra. As deformações verticais do anel superior podem ser medidas através de um defletómetro. O deslocamento horizontal é calculado através da medição da rotação angular. As amostras são preparadas com um teor em água próximo do limite de plasticidade, deixadas a uniformizar durante 24 horas e colocadas na cavidade anelar por pressão com os dedos e uma pequena espátula, evitando a retenção de ar. O solo em excesso é retirado, a superfície nivelada e o conjunto colocado no prato de rotação. O excesso de solo é utilizado para a determinação do teor em água inicial (Tabela 3).

A amostra foi consolidada por estágios para uma tensão de 400 kPa, e submetida ao corte até a condição residual ser estabelecida. A resistência máxima inicial obtida nesta primeira fase foi assumida como representativa da resistência ao corte na condição normalmente consolidada ou a volume constante. A resistência ao corte residual foi então sucessivamente determinada para tensões normais inferiores, como se indica na Tabela 4.

Tabela 3 - Teor em água inicial dos solos ensaiados no corte rotativo.

Amostra Nº	A11.1	A11.3	A11.5
Teor em água inicial (%)	20,2	25,6	25,0

Tabela 4 – Sequência de estágios utilizada nos ensaios de corte anelar.

Estágio Nº		1	2		3 <sup>#</sup>	4	5	6
Tipo	Consolidação para 400 kPa	1º corte	corte	Consolidação a 400 kPa e de seguida a 200 kPa	corte	corte	corte	corte
Tensão Normal (kPa)		400	200		200	100	50	25

<sup>#</sup> Corte de uma estrutura na condição residual sobreconsolidada (OCR=2)

Após a condição residual ter sido estabelecida no estágio 2, a amostra foi sobreconsolidada, consolidando-a sob uma tensão de 400 kPa e descarregando-a novamente para a tensão de 200 kPa. A amostra foi novamente cortada à tensão de 200 kPa, investigando-se o modo de corte de acordo com a proposta de LUPINI et al. (1981). Os resultados mostram um comportamento frágil no primeiro corte (Fig. 4) e um comportamento dúctil no estágio 3, o que sugere um modo deslizante, ou seja uma superfície de rotura com as partículas completamente orientadas na direção de corte.

Depois de uma superfície de corte formada por partículas orientadas na direção de corte, um processo de sobreconsolidação não origina um aumento de resistência devido à diminuição da porosidade.

A partir do estágio de corte inicial sob a tensão normal de 400 kPa (Fig. 4) é possível obter o ângulo de resistência ao corte para a condição normalmente consolidada assumindo para a coesão o valor zero. Estes valores são apresentados na Tabela 5.

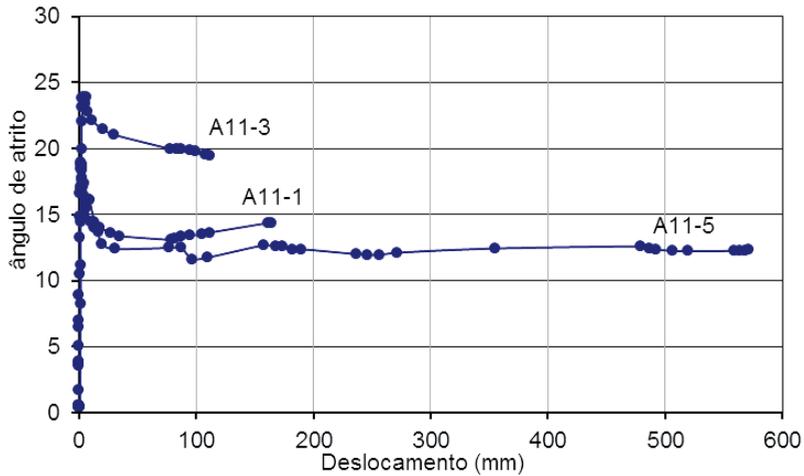


Fig. 4 - Primeiros estágios de corte com tensão normal de 400 kPa.

De acordo com LUPINI et al. (1981), as amostras A11-1 e A11-5 mostram um modo de corte deslizante.

Tabela 5 - Resistência normalmente consolidada e residual, expressa em termos de ângulo de atrito, considerando ausência de coesão.

Amostra N°		A11.1	A11.5	A11.3
Ângulo de atrito de pico (°)	$\phi'_{vc}$	18,9	18,7	23,9
Ângulo de atrito residual (°)	$\phi'_R$	13,0	12,0°	19,4°

Na Fig. 5, apresenta-se a comparação entre a resistência ao corte residual obtida para os pelitos com os valores apresentados por LUPINI et al. (1981).

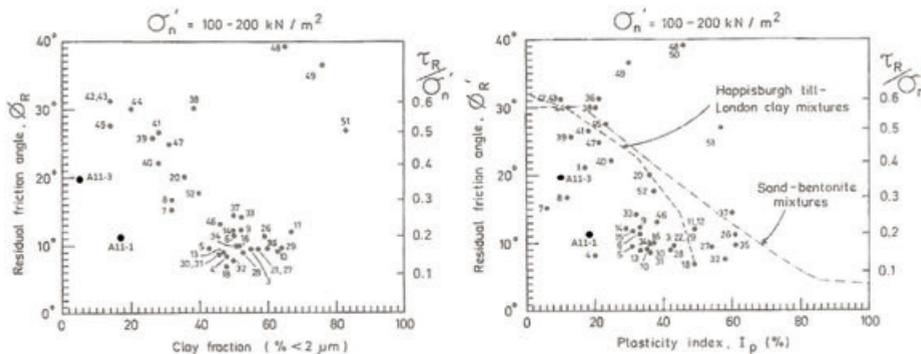


Fig. 5 - Comparação entre a resistência ao corte residual obtida para os pelitos com os valores de outros solos apresentados por LUPINI et al. (1981).

## 6 – Compressibilidade

468

As amostras foram reduzidas a pó, tendo sido adicionada água destilada até teores em água próximos do limite de liquidez. De seguida as amostras foram moldadas no anel edométrico, tendo sido realizado o ensaio, duplicando as cargas, a cada 24 horas. Os índices de compressibilidade e de expansibilidade obtidos para as amostras A11-1 e A11-3 estão representados na Tabela 6. Considerando as porosidades de 18,5% obtidas no porosímetro de mercúrio a partir das amostras indeformadas conclui-se que poderão ter existido tensões efetivas máximas da ordem de 15 MPa para justificar aquelas porosidades com base nos resultados dos ensaios edométricos.

Tabela 6 - Índices de compressibilidade ( $C_c$ ) e de expansibilidade ( $C_s$ )

Amostra	A11-1	A11-3
$C_c$	0,238	0,162
$C_s$	0,041	0,024

## 7 – Análise da estabilidade

De entre os vários taludes existentes na zona do Areiro, foi escolhido o talude da rotunda do Areiro para uma análise mais pormenorizada, procurando entender o comportamento do talude. Para a escolha deste talude foi relevante tratar-se do talude de escavação mais alto, com cerca de 12m de altura e que sofreu vários episódios de instabilização no passado.

Analisou-se a estabilidade com base na análise cinemática recorrendo ao método de MARKLAND (1972), com o refinamento do HOCKING (1976), e ainda a análise do equilíbrio limite de uma rotura planar.

Para o método de MARKLAND (1972) mediram-se a direção, pendor e rugosidade de 176 descontinuidades, tendo a projeção estereográfica possibilitado a identificação de três famílias de descontinuidades principais: A) N24°W;15°SW; B) N26°W;67°SW; C) N55°E;82°SE.

A estratificação corresponde ao sistema A e representa 55% das descontinuidades medidas. As instabilizações observadas ocorreram nesta família. Sendo o talude essencialmente constituído por arenitos, com ângulos de atrito acima de 35°, não há a possibilidade de ocorrer deslizamento por estes materiais.

Os pelitos intactos apresentam características de rocha branda com elevados ângulos de atrito. Com a execução das escavações ocorre a descompressão das faces expostas do maciço e a conseqüente degradação dos pelitos, dando origem a materiais terrosos. Os ensaios de laboratório mostraram que a resistência de pico dos pelitos degradados (18,7° a 23,9°) é superior à inclinação da estratificação, pelo que de acordo com o método de MARKLAND (1972) e o refinamento de HOCKING (1976) não deveriam existir instabilizações nestas circunstâncias.

Sabendo-se no entanto que as instabilizações dos taludes de escavação ocorrem essencialmente após períodos de chuva (QUINTA-FERREIRA et al., 2005, 2006), analisaram-se as condições do equilíbrio limite de uma rotura planar conducentes à instabilização. Enquanto no tempo seco se desenvolvem tensões de sucção (negativas) que estabilizam o talude, pelo contrário com a chuva acumula-se água nos terrenos,

umentando a tensão neutra. Por analogia com as instabilizações ocorridas, considerando um bloco com 8 m de comprimento por 2 m de espessura, com uma inclinação de 16° da superfície de deslizamento numa camada de pelito alterado, um ângulo de atrito de pico de 19° associado a uma pressão de água de apenas 0,4 m acima da superfície de deslizamento, é suficiente para reduzir o fator de segurança para um valor unitário, desencadeando a rotura do talude.

Os ensaios de laboratório permitiram concluir que as amostras remexidas, apresentavam um ângulo de atrito residual que podia descer aos 12°, justificando a fácil ocorrência de deslizamentos pela família A, após ser ultrapassada a resistência de pico na sequência de pequenos movimentos segundo a superfície de rotura, propiciados pela descompressão da face do talude.

## 8 – Considerações finais

Analisam-se diversas situações de instabilização de taludes de escavação, ocorridas ao longo de cerca de 8 anos, na Formação da Conraria (base do termo A2) dos Grés de Silves (PALAIN, 1976), na zona do Areiro em Coimbra. Procurou-se entender as causas das instabilizações, em situações geotécnicas que não faziam antever problemas de instabilidade. Nos taludes afloram essencialmente arenitos siliciosos interestratificados com finas camadas de pelitos, mergulhando cerca de 16° para oeste.

Fazendo uma análise comparativa dos dois lados do vale, Areiro a este, e Quinta da Portela a oeste, foi possível concluir que a estrutura geológica, a geomorfologia e as características dos pelitos são fatores que influenciam a ocorrência dos deslizamentos. Estas condições permitem a ocorrência de instabilizações segundo planos de reduzida inclinação para a face do talude, do lado do Areiro, mesmo para taludes de escavação de apenas alguns metros de altura, enquanto no lado oposto do vale, na Quinta da Portela, taludes com mais de 20 m de altura se apresentam estáveis.

Com base nos ensaios de laboratório realizados concluiu-se que os pelitos terão sofrido no passado uma compressão da ordem dos 15 MPa, o que equivale aproximadamente à carga resultante da espessura do termo A2 dos Grés de Silves.

O ângulo de atrito, quer dos arenitos, quer dos pelitos intactos, é muito superior à inclinação das camadas, não permitindo a ocorrência de deslizamentos segundo os planos das camadas. Verificou-se no entanto que os pelitos sofrem degradação no tempo, quer devido ao alívio de carga resultante das escavações efetuadas nos taludes, quer devido ao aumento da pressão de água.

O ângulo de atrito de pico dos pelitos degradados pode rondar 19°. No entanto como as tensões de sucção são removidas com o aumento da saturação dos terrenos, calculou-se que uma coluna de água de apenas 0,4 m acima da superfície de corte cria condições capazes de originar a rotura dos taludes.

Na situação atual, a zona da Escola do Areiro e da rotunda do Areiro são os locais que justificam maior preocupação, sendo conveniente efetuar a monitorização destes taludes, em especial nas épocas de maior pluviosidade. Considera-se conveniente a utilização de algumas medidas de estabilização, nomeadamente reperfilear os taludes, evitar a descompressão da face dos taludes, aplicando medidas de contenção, e efetuar a drenagem dos terrenos de modo a evitar a subida das pressões neutras.

A caracterização geológica, em conjunto com os ensaios de laboratório, permitiram entender os mecanismos de instabilização dos taludes do Areeiro. A reduzida inclinação dos planos de estratificação que originaram a instabilização, a presença de camadas de pelitos evolutivos e a ocorrência de precipitação intensa constituem os aspetos mais marcantes das instabilizações.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

### Referências Bibliográficas

- AZERÊDO, A.C., DUARTE, L.V., HENRIQUES, M.H. & MANUPPELLA, G. (2003) - Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. Instituto Geológico e Mineiro, 43p.
- HOCKING, G.A. (1976) - Method for distinguishing between single and double plane sliding of tetrahedral wedges. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics*, 13, p. 225-226
- ISRM (2007) - The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. Ulusay and Hudson (eds). ISRM Turkish National Group.
- LUPINI, J.F., SKINNER, A.E. & VAUGHAN, P.R. (1981) - The drained residual strength of cohesive soils. *Géotechnique*, 31(2), p. 181-213
- MIRANDA, J., PINA, B., MATOS, V., CALHÔA, A.M., PENA DOS REIS, R. & PIMENTEL, N. (2010) - Estudo das fácies de leque aluvial em afloramento do Triásico Superior de Coimbra. e - *Terra*, 21 (9), 4p.
- MARKLAND, J.T. (1972) - A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge slip type of failure is expected. Imperial College Rock Mechanics Research Reprints, 19, p. 1-10
- PALAIN, C. (1976) - Une série détritique terrigène. Les “Grés de Silves”: Trias et Lias inférieur du Portugal. *Memórias, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa*. 25 (nova série), 377p
- QUINTA-FERREIRA, M., LEMOS, L.L. & PEREIRA, L.M. (2005) - Influência da precipitação na ocorrência de deslizamentos em Coimbra, nos últimos 139 anos. *Geotecnia* 104, p. 17-30
- QUINTA-FERREIRA, M., LEMOS, L.L. & PEREIRA, L.M. (2006) - Influência da precipitação nos deslizamentos e no comportamento dos pelitos do Triásico, em Coimbra”. 10º Cong. Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia 1, p. 61-72.
- QUINTA-FERREIRA, M., ANDRADE, P.S. & SARAIVA, A. (2011) - Instabilidade de taludes de escavação no Areeiro, Coimbra. Simpósio Modelação de Sistemas Geológicos Homenagem ao Professor Manuel Maria Godinho, pp. 329-342. Coimbra, 15 de Janeiro de 2011.
- SOARES, A.F., MARQUES, J. & SEQUEIRA, A.. (2007) - Folha 19-D, Coimbra-Lousã, Carta Geológica de Portugal. Escala 1:50 000. INETI, Departamento de Geologia, Lisboa.



SECÇÃO 8  
RECURSOS MINERAIS: A RIQUEZA PARTILHADA

“A esperança descobre recursos, a desesperação os renuncia”.

Marquês Maricá

(Página deixada propositadamente em branco)

## LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE EXTRAÇÕES DE AREIA E ARGILA NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

### ENVIRONMENTAL LICENSING FOR EXTRACTION OF SAND AND CLAY IN THE SAO PAULO STATE, BRAZIL

F. A. G. V. Reis<sup>1</sup>, L. do C. Giordano<sup>1</sup>, G. A. de Medeiros<sup>1</sup>, L. E. da S. Cerri<sup>1</sup>, J. E. Zaine<sup>1</sup>, S. de A. Mascaró<sup>1</sup>, T. Pilachevsky<sup>1</sup>, J. G. C. de Macedo<sup>1</sup>, D. de P. Amendola<sup>1</sup>, L. S. V. Domingues<sup>1</sup>, A. L. C. Christianini<sup>1</sup>, C. M. Andrade<sup>1</sup>, G. Lumiatti<sup>1</sup> & M. Lunardi<sup>1</sup>

**Resumo** – O licenciamento ambiental no Brasil é o instrumento de gestão ambiental mais difundido e aplicado, principalmente, por ser um requisito legal para o planejamento, instalação, operação, ampliação e desativação de empreendimentos e atividades potencialmente poluidoras. Nesse contexto, o licenciamento de extrações de areia para construção civil e argila para produção de cerâmica vermelha apresentam várias legislações que tratam do tema, envolvendo diferentes órgãos públicos que precisam ser consultados. Essas extrações são, na maioria dos casos, desenvolvidas por micro, pequenos e médios empreendimentos, mas que são fundamentais para o desenvolvimento da construção civil do país, atuando localmente nas proximidades dos centros urbanos. O presente artigo tem como objetivo analisar os procedimentos para licenciamento ambiental de extrações de areia e argila no estado. Pela análise realizada pode-se verificar que existe uma diversidade grande de legislações, somente considerando os requisitos legais da Secretaria de Meio Ambiente do Estado, além da necessidade de solicitar em pelo menos 4 órgãos públicos diferentes de nível federal, estadual e municipal, autorizações específicas até a emissão da licença de operação. Essa situação dificulta o entendimento do processo, principalmente, no que refere-se a classificação do porte do empreendimento e quais projetos serão exigidos, tornando problemático o planejamento e até da viabilidade econômica, especialmente, de pequenos empreendimentos.

**Palavras-chave** – extração de areia e argila, licenciamento ambiental, procedimentos

---

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP – Rio Claro; e-mail: fabioreis@rc.unesp.br

***Abstract** – The environmental licensing in Brazil is the most widely applied environmental management tool because it is a legal requirement for the planning, installation, operation, expansion and deactivation of potentially polluting developments and activities. In this context, the licensing of extraction of sand for construction and clay for red ceramic production showed various laws dealing with the issue, involving different government agencies that need to be consulted. These extractions are, in most cases, developed by micro, small and medium companies, but are fundamental to the development of the construction of the country, acting locally in the vicinity of urban centers. This article aims to analyze the environmental licensing procedures for extraction of sand and clay in the state. For the analysis can be seen that there is a large diversity of laws, only considering the legal requirements of the Environment Secretariat of the State, besides the need to request at least four different government agencies at federal, state and municipal specific authorizations until the issuance of operating license. This situation complicates the understanding of the process, especially as relates to the classification of the enterprise and which projects will be required, making it problematic to planning and economic viability, especially for small companies.*

***Keywords** – extraction of sand and clay, environmental licensing, procedures*

## 1 – Introdução

O licenciamento ambiental é um dos principais instrumentos de gestão ambiental, sendo na realidade o que inicialmente qualquer tipo de empreendimento necessita por em prática para regularizar suas atividades a legislação. Na grande maioria dos países é necessário realizar licenciamento de um empreendimento ou atividade que seja potencialmente causadora de impacto. Atualmente, até micros e pequenos empreendimentos tem que se adequar as condições mínimas ambientais, necessitando realizar algum tipo de licenciamento, mesmo que simplificado.

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão que regulamenta em nível federal os procedimentos para licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades potencialmente poluidoras. Contudo, a maior parte das licenças ambientais é emitida por órgãos estaduais, existindo, nesse contexto, uma série de legislações e normas estaduais para o licenciamento dependendo do tipo, porte e localização do empreendimento ou atividade.

Em complemento, os municípios também estabelecem requisitos legais para o licenciamento, especialmente, relacionados as diretrizes de uso e ocupação do solo em seu território. Existindo, portanto, uma quantidade considerável de legislações, normas técnicas, procedimentos administrativos e órgãos para licenciamento ambiental, o que acaba dificultando e encarecendo a implantação e operação de novas empresas e confundido empresários e até os próprios técnicos.

A extração mineral foi no país um dos primeiros ramos econômicos a terem de se adequar aos padrões ambientais, principalmente, pelo seu potencial de degradação, historicamente reconhecido.

Em termos ambientais, REIS *et al* (2005) destaca que o licenciamento de atividades minerárias, tem como objetivo diminuir os impactos causados ao meio ambiente por esses processos minerários, exigindo uma série de documentos e projetos, para que

sejam propostas e implantadas medidas mitigadoras, de controle e/ou compensatórias, de modo que o impacto causado por essas minerações seja o menor possível. Entretanto, na maior parte dos casos para se efetivar o licenciamento de uma extração é necessário cumprir requisitos, procedimentos e etapas em 5 ou 6 órgãos diferentes.

Nesse contexto, as extrações de areia para uso da construção civil e argila para produção de cerâmica vermelha, devido suas características de localização, em geral, nas proximidades de centros urbanos e pela predominância de micro, pequenos e médios empreendimentos (REIS *et al.*, 2005; CABRAL JUNIOR *et al.*, 2010), passou no Estado de São Paulo por uma série de alterações na legislação. Como exemplo, somente na Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo existem as seguintes Resoluções SMA que envolvem as extrações de areia e argila:

- Resolução SMA n. 51/06: disciplina o licenciamento ambiental das atividades minerárias no Estado de São Paulo, integrando os procedimentos dos órgãos públicos responsáveis;
- Resolução SMA 54/04 - Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental no âmbito da Secretaria do Meio Ambiente;
- Resolução SMA n. 69/97: dispõe sobre a extração de areia e argila vermelha na Bacia Hidrográfica do rio Jaguari Mirim;
- Resolução SMA n. 42/96: disciplina o licenciamento ambiental dos empreendimentos minerários de extração de areia na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul; e,
- Resolução SMA n. 42/94 – dispõe sobre os procedimentos para análise de EIA/RIMA.

Ressalta-se, ainda, as Resoluções SMA n. 18/89, 26/93, 4/99 e 47/06, que já foram revogadas. Isso sem considerar os requisitos legais locais e regionais que muitas vezes envolvem outras questões.

Atualmente, mesmo após a unificação de procedimentos, uma extração mineral de areia e argila, mesmo um micro empreendimento necessita conseguir autorizações no mínimo em 4 órgãos diferentes, que são: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Prefeitura Municipal (em algumas prefeituras são necessárias autorizações de 2 órgãos municipais diferentes), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), o que contribui, em muitos casos, em um período superior a 3 anos para um micro ou pequeno empreendimento conseguir todas as autorizações para sua operação.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar e discutir o licenciamento ambiental no Estado de São Paulo para extrações de areia para construção civil e argila para produção de cerâmica vermelha.

## 2. Procedimentos e aspectos legais do licenciamento ambiental

Para entendimento do processo de licenciamento ambiental no Estado de São Paulo é importante compreender conceitos apresentados na Tabela 1.

Atualmente, no Estado de São Paulo existem três formas básicas para licenciamento ambiental de extrações de areia e argila, para uso na construção civil e produção de cerâmica vermelha.

Tabela 1: Termos e respectivos conceitos usados no licenciamento ambiental no Estado de São Paulo.

Termo	Conceituação
<b>Estudos ambientais:</b>	São todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados com a localização, a instalação, a operação e a ampliação de atividade ou empreendimento apresentados como subsídio para a análise da licença requerida, tais como relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.
<b>Consulta Prévia:</b>	Requerimento encaminhado à SMA solicitando orientação quanto à definição do tipo de estudo ambiental adequado para análise da viabilidade ambiental de atividade ou empreendimento potencial ou efetivamente causador de impacto ao meio ambiente, acompanhado de informações que caracterizem seu porte, sua localização e os impactos esperados para sua implantação.
<b>Estudo Ambiental Simplificado (EAS):</b>	Documento técnico com informações que permitem analisar e avaliar as consequências ambientais de atividades e empreendimentos considerados de impactos ambientais muito pequenos e não significativos.
<b>Relatório Ambiental Preliminar (RAP):</b>	Estudos técnicos e científicos elaborados por equipe multidisciplinar que, além de oferecer instrumentos para a análise da viabilidade ambiental do empreendimento ou atividade, destinam-se a avaliar sistematicamente as consequências das atividades ou empreendimentos considerados potencial ou efetivamente causadores de degradação do meio ambiente, em que são propostas medidas mitigadoras com vistas à sua implantação.
<b>Plano de Trabalho (PT)</b>	Compilação e o diagnóstico simplificados de todas as variáveis que o empreendedor entenda como significativas na avaliação da viabilidade ambiental, com vistas à implantação de atividade ou empreendimento, e que servirão de suporte para a definição do Termo de Referência (TR) do Estudo de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA).
<b>Termo de Referência (TR):</b>	Documento elaborado pela SMA/DAIA que estabelece os elementos mínimos necessários a serem abordados na elaboração de um EIA/RIMA, tendo como base o Plano de Trabalho, bem como as diversas manifestações apresentadas por representantes da sociedade civil organizada.
<b>Estudo de Impacto Ambiental (EIA):</b>	Estudos técnicos e científicos elaborados por equipe multidisciplinar que, além de oferecer instrumentos para a análise da viabilidade ambiental do empreendimento ou atividade, destinam-se a avaliar sistematicamente as consequências consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio ambiente e a propor medidas mitigadoras e/ou compensatórias com vistas à sua implantação.
<b>Relatório de Impacto Ambiental (RIMA):</b>	Documento-síntese dos resultados obtidos com a análise dos estudos técnicos e científicos de avaliação de impacto ambiental que compõem o EIA, em linguagem objetiva e acessível à comunidade em geral. O RIMA deverá refletir as conclusões desse estudo com linguagem clara, de modo que se possam entender precisamente as possíveis consequências ambientais do empreendimento ou atividade e suas alternativas e também comparar suas vantagens e desvantagens.
<b>Memorial de Caracterização do Empreendimento (MCE)</b>	Documentação técnica que dever ser preenchida em programa específico disponibilizado no site da CETESB, onde são apresentadas as seguintes informações: tipo de atividade a ser desenvolvida e de licença solicitada; dados básicos de identificação do empreendimento, empreendedor e o local (informações cadastrais); matéria prima a ser usada no empreendimento ou atividade; produtos que serão gerados; relação de máquinas e equipamentos; resíduos gerados; e fontes de poluição da água.
<b>Memorial de Caracterização do Empreendimento (MCE) – Adicional de Mineração</b>	Documentação técnica complementar ao MCE, preenchida em formulário padronizado da CETESB, no qual são descritas as seguintes informações: identificação do empreendedor; histórico da atividade e uso e ocupação do solo; informações gerais sobre o bem mineral e título mineral; informações sobre as intervenções ambientais que serão realizadas; método de extração; práticas de controle da erosão; informações sobre solo orgânico e estéril; fontes de poluição do ar, ruído e vibração, com as respectivas medidas de controle; informações sobre a lavra e recuperação ambiental.

Fonte: Resolução SMA n. 54/04

No caso de micro empreendimentos minerários foi promulgada a Decisão de Diretoria da CETESB n. 011/2010/P, de 10 de janeiro de 2010, a qual estabelece um licenciamento simplificado para este tipo de empreendimento, que foi definido como aquele empreendimento que possui área requerida e outorgada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), menor ou igual a 5 ha, e utilize método de extração manual ou outro método, desde que em pequena escala. O método de desmonte mecânico pode ser ou não realizado com o auxílio de maquinário, como o caso de retroescavadeira.

Segundo a própria CETESB (2010), as atividades de micro empreendimentos “geralmente é realizada por grupos familiares, que extraem minério de sua própria propriedade, usualmente localizada em área rural”, sendo que toda ou boa parte da renda da família provém apenas dessa atividade. São denominados de argileiros ou oleiros, possuindo em muitos casos pequena olaria no mesmo local ou vendem argila para olarias da região.

No caso de extração em leito de rio o licenciamento somente poderá ser realizado mediante iniciativa de lideranças locais (Prefeituras, Associações ou Cooperativas), que deverão providenciar toda a documentação e medidas técnicas necessárias para a regularização da atividade.

Segundo a Decisão de Diretoria n. 011/2010/P, para enquadrar a extração de outros bens minerais (além da argila para fabricação de cerâmica vermelha) e outros métodos de extração (além do desmonte mecânico) como micro empreendimento minerário, deverão ser observados o seguinte critério: a vida útil mínima da jazida, aprovada no DNPM, deverá ser de 20 anos, sendo que poderá ser aceito prazo da vida útil até 10% menor do que o estabelecido. Nesse caso, o licenciamento desse método de extração será realizado em nome do detentor do título minerário (pessoa jurídica). A extração poderá ser realizada por diversas pessoas, usualmente são membros da mesma família.

A documentação técnica a ser apresentada nesse caso é o Memorial de Caracterização do Empreendimento (MCE) Adicional de Mineração, com planta em escala 1:2.000, com as seguintes informações: poligonal outorgada pelo DNPM, com a demarcação da área de lavra; módulo a serem lavrados a cada período de três anos; localização da área armazenamento de rejeito; localização da área de armazenamento do rejeito; cotas iniciais e finais; curvas de nível; direção do avanço da lavra; uso e ocupação do solo no entorno imediato do empreendimento; módulos a serem recuperados concomitante com a lavra; identificação das áreas de preservação permanente de nascentes, cursos d’água e topos de morro, se houver; demarcação da área de vegetação a ser suprimida, se couber; demarcação da área da reserva legal (se o imóvel for rural);

Já para minerações de pequeno e médio portes, há a Resolução SMA n. 51, de 12 de dezembro de 2006, da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, que estabelece, em seu artigo 6, o licenciamento ambiental por meio da elaboração de Relatório de Controle Ambiental (RCA) e Plano de Controle Ambiental (PCA), desde que o projeto esteja simultaneamente enquadrado nas seguintes situações:

- I. A área de extração, conforme planta de detalhe de configuração final (de acordo com roteiro colocado à disposição pela SMA/CETESB) autenticada pelo DNPM e em acordo com o Plano de Aproveitamento Econômico ou Plano de Lavra, seja de até 20 ha, exceto para água mineral;
- II. O volume total de material a ser extraído, incluindo minério e estéril, seja até 5.000.000 m<sup>3</sup> (in situ), exceto para água mineral;

- III. A implantação do empreendimento implique supressão de vegetação nativa em área de até 5 ha; nos casos de vegetação de mata atlântica, esse limite aplica-se somente para a vegetação classificada como pioneira ou em estágio inicial de regeneração;
- IV. A implantação e o desenvolvimento da atividade não impliquem intervenção em nascentes ou cursos d'água que contribuam diretamente para corpos d'água utilizados em sistemas de abastecimento público;
- V. A área a licenciar, conforme disposto no inciso I deste Artigo, não esteja inserida em Zona de Amortecimento de Unidades de Conservação de Proteção Integral, nos termos da Lei Federal nº 9985/00;
- VI. Quando não se tratar de extração de rochas carbonáticas em regiões com evidências de fenômenos cársticos (lista exemplificativa de tipos de rochas e municípios com essa ocorrência no Anexo I).
- § 1º - Mesmo estando simultaneamente enquadrada nas situações descritas no Artigo 6º, a solicitação de licença ambiental será remetida ao Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental - DAIA, para consulta, caso haja dúvida quanto à existência ou não de indícios de impacto ambiental significativo no desenvolvimento da atividade minerária, a critério da CETESB ou do DEPRN.
- § 2º - Também serão protocoladas na CETESB as solicitações de licença ambiental de empreendimentos situados em áreas onde existir zoneamento minerário, nos termos definidos no Artigo 2º da Resolução SMA n. 3, de 22 de janeiro de 99.

Quando o empreendimento não se enquadrar nas diretrizes descritas anteriormente, o empreendedor deverá protocolar consulta para manifestação da CETESB, por meio do Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental (DAIA), sobre a necessidade de apresentação de Relatório Ambiental Preliminar (RAP) ou de Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) ou, ainda, atestar a ausência de significativo impacto.

Outra forma de se realizar o licenciamento ambiental no Estado de São Paulo de extrações de areia e argila é seguindo as diretrizes das Resoluções SMA n. 42/94 e 54/04, que estabelece três situações:

- Empreendimentos ou atividades considerados de impacto ambiental muito pequeno e não significativo: o licenciamento será realizado por meio do protocolo na CETESB do EAS;
- Empreendimentos ou atividades considerados potencialmente causadores de degradação do meio ambiente: o licenciamento se iniciará com a protocolização na CETESB do RAP, que deverá ser elaborado considerando Termo de Referência Geral para Extrações Minerárias; e,
- Empreendimentos ou atividades considerados como efetivamente causadores de significativa degradação do meio ambiente: o licenciamento será realizado pela elaboração de EIA/RIMA, iniciando-se pela protocolização de Plano de Trabalho para emissão da CETESB de Termo de Referência Específico para o empreendimento em questão. Destaca-se que para EIA/RIMA é obrigatória a realização de audiência pública.

A tabela 2 apresenta uma síntese dos procedimentos de licenciamento ambiental para extrações de areia e argila no Estado de São Paulo. Conforme pode-se observar, não há



uma única legislação que normatize o licenciamento ambiental para extrações de areia e argila, o que leva a dificuldades de interpretação.

Na Resolução SMA n. 54/04 não há clareza como é feita a classificação do porte do empreendimento e, dessa forma, o tipo de documentação e projeto que serão exigidos, isso dificulta a definição de um planejamento por parte dos empreendedores e técnicos para estabelecer custos e tempo do licenciamento.

Nessa situação a definição da classificação do empreendimento é feita por decisão técnica interna do órgão ambiental, no caso a CETESB, o que pode ser modificada mais facilmente e sem a devida participação da sociedade civil.

### 3 – Licenciamento em regiões com legislações específicas

No Estado de São Paulo além das legislações analisadas anteriormente, existem regiões que possuem normativos específicos devido a alta concentração de minerações, como é o caso da Resolução SMA n. 42, de 16 de setembro de 1996, que disciplina o licenciamento ambiental dos empreendimentos minerários de extração de areia na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, e da Resolução SMA n. 69, de 06 de novembro de 1997, que dispõe sobre a extração de areia e argila vermelha na Bacia Hidrográfica do rio Jaguari Mirim.

O objetivo dessas resoluções foi de disciplinar as atividades nessas bacias que apresentam uma intensa atividade mineral ao longo das planícies aluvionares, seja em cava como no leito.

A Resolução SMA n. 42/1996 estabeleceu que o licenciamento ambiental das extrações de areia na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul ficou condicionada as áreas consideradas aptas pelo zoneamento minerário elaborado pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado, estabelecendo critérios técnicos específicos para extração em cava submersa, dragagem em leito e desmonte hidráulico. No caso da Resolução SMA n. 69/1997 são estabelecidas regras para extrações de areia e argila vermelha em cava e leito de rio.

Analisando essas duas resoluções específicas pode-se constatar que existem diferenças entre os critérios técnicos exigidos para determinadas situações, como é o caso da distância entre as cavas e a divisa da propriedade (também denominada de faixa lindeira) que no caso da Resolução SMA n. 42/1996 estabelece 25 metros e na Resolução SMA n. 67/1997 define 50 metros. A Resolução SMA n. 42/1996 estabelece, ainda, uma distância mínima de 10 metros entre a borda da cava e a mata, e a Resolução SMA n. 67/1997 define distância mínima de 10 metros entre a borda e das Áreas de Preservação Permanente e dos meandros abandonados.

Portanto, pode-se observar que não existem critérios uniformes para diferentes bacias hidrográficas. A normatização é um aspecto positivo no licenciamento, mas quando é acompanhada de critérios uniformes e justificados tecnicamente. Por exemplo, em relação à faixa lindeira de 50 metros usada para a Bacia do Rio Jaguari Mirim, quais foram os critérios técnicos usados para definir essa distância? E por que na Bacia do Rio Paraíba do Sul essa faixa foi estabelecida em 25 metros? Essa faixa lindeira de 50 metros tem inviabilizado alguns empreendimentos na Bacia do Rio Jaguari Mirim, principalmente, os micro e pequenos empreendimentos, desenvolvido em pequenas propriedades.

Tabela 2. Síntese das diretrizes de licenciamento ambiental no Estado de São Paulo.

Legislação / Normatização	Porte de Empreendimento	Critérios para Enquadramento	Projeto
Decisão de Diretoria CETESB n. 011/2010/P	Micro Empreendimentos Minerários	1) Área requerida e outorgada pelo DNPM: Menor ou igual a 5 ha; 2) Método de extração: Manual ou outro método, desde que em pequena escala.	MCE Adicional de Mineração e Planta 1:2.000
Resolução SMA n. 51/2006	Pequenos e Médio Portes	1) A área de extração de até 20 ha, exceto para água mineral; 2) O volume total de material a ser extraído, incluindo minério e estéril de até 5.000.000 m <sup>3</sup> (in situ), exceto para água mineral; 3) Supressão de vegetação nativa em área de até 5 ha; nos casos de vegetação de mata atlântica, esse limite aplica-se somente para a vegetação pioneira ou em estágio inicial de regeneração; 4) Não ocorra intervenção em nascentes ou cursos d'água que contribuam diretamente para corpos d'água utilizados em sistemas de abastecimento público; 5) A área a licenciar não esteja inserida em Zona de Amortecimento de Unidades de Conservação de Proteção Integral; 6) Quando não se tratar de extração de rochas carbonáticas em regiões com evidências de fenômenos cársticos.	RCA e PCA
Resoluções SMA n. 42/94 e 54/04	Considerados de impacto ambiental muito pequeno e não significativo	Não define critérios específicos para classificar o empreendimento conforme seu impacto ambiental.	EAS
	Considerados potencialmente causadores de degradação do meio ambiente	A partir da análise do EAS, a SMA define se o empreendimento será licenciado com o EAS, RAP ou EIA/RIMA.	RAP
	Considerados como efetivamente causadores de significativa degradação do meio ambiente	Se não houver clareza na classificação do empreendimento o empreendedor deve protocolar na SMA consulta prévia, por meio da apresentação de Plano de Trabalho para emissão do Termo de Referência Específico	EIA/RIMA

#### 4 – Conclusões e considerações finais

Pela análise dos procedimentos e exigências técnicas para licenciamento ambiental de extrações de areia e argila no Estado de São Paulo pode-se concluir que existem muitos requisitos legais que não estabelecem de forma clara o tipo de projeto a ser exigido, principalmente, em relação à Resolução SMA n. 54/04 que remete a decisão à SMA após consulta prévia, o que dificulta o planejamento dos empreendimentos, tanto em termos de custos como de prazos para elaboração dos estudos técnicos e obtenção das licenças.

A Resolução SMA n. 51/06 é mais específica, determinando critérios bem claros para licenciamento por meio de RCA/PCA. Contudo, a mesma remete para a Resolução SMA n. 54/04 em casos de dúvidas, deixando ao empreendedor a escolha por qual legislação irá licenciar o empreendimento. Essa situação pode gerar problemas de interpretação jurídica. Adicionalmente, existem as legislações específicas para as Bacias do Rio Paraíba do Sul e do Rio Jaguari Mirim que estabelecem outros critérios mais específicos para o licenciamento, gerando outros problemas, tanto por parte dos empreendedores como também dos técnicos.

Ressalta-se que as análises realizadas nesse artigo estão se baseando somente nas Resoluções SMA, não se esquecendo de que existem ainda as legislações federais e municipais e as resoluções e deliberações de outros órgãos, tais como DNPM e DAEE.

Portanto, seria recomendável para simplificar o licenciamento, que todos os órgãos envolvidos direta ou indiretamente, juntamente com os técnicos e mineradores, se reunissem para estabelecer uma única legislação, com critérios claros para classificação do porte do empreendimento, a sequência de procedimentos, os tipos de projetos e documentação exigidos em cada caso e a real unificação do licenciamento nos órgãos estaduais.

### Referências Bibliográficas

- CABRAL JUNIOR, M.; SUSLICK, S. B.; SUZIGAN, W. (2010) - Caracterização dos arranjos produtivos locais de base mineral no Estado de São Paulo: subsídio à mineração paulista. *Revista Geociências*, v. 29, n. 1, p. 81-104.
- CETESB. (2010) - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria n. 011/2010/P, de 10 janeiro de 2010. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 15 de fev. 2012.
- REIS, F.A.G.V.; FRANCO, A.C.M.; PERES, C.R.; BRONZEL, D.; RAFAELA, E.; PONTES, F.F.F. de; GUIZARD, J.; RAFALDINI, M.E.; GIORDANO, L. do. (2005) - Diagnóstico ambiental em minerações de areia e argila no rio Jaguari Mirim, município de São João da Boa Vista (SP). *Espírito Santo do Pinhal: Revista Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia*. 2005, v.2, n.1, p. 115-134

(Página deixada propositadamente em branco)

LITOGEOQUÍMICA EN EL DISTRITO MINERO DE ORO DE  
LLAMAS DE CABRERA (NOROESTE DE ESPAÑA):  
IMPLICACIONES METALOGÉNÉTICAS

LITHOGEOCHEMISTRY OF THE LLAMAS DE CABRERA  
GOLD DISTRICT (NORTHWEST SPAIN):  
METALLOGENETIC IMPLICATIONS

F. Gómez-Fernández<sup>1</sup>, E. Vindel<sup>2</sup>, E. J. González-Clavijo<sup>3</sup>, T. Martín-Crespo<sup>4</sup> & V. Sánchez<sup>5</sup>

**Resumen** – El objetivo de este trabajo ha sido contribuir al conocimiento de la metalogénia de las mineralizaciones hidrotermales de cuarzo-arsenopirita-oro del distrito minero de Llamas de Cabrera, especialmente en relación a la fuente del oro. Para ello se han llevado a cabo una campaña de geoquímica de mineralizaciones y otra más amplia, de litogeoquímica en las rocas encajantes, especialmente en la cuarcita Armoricana y las pizarras de la Formación Luarca. Se han determinado las concentraciones de S, Au, Ag, As, Ba, Hg, Sb, Cd, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb y Zn en los encajantes y de Au, Ag en las mineralizaciones. Los altos contenidos en S y metales de las pizarras se interpretan como consecuencia de la presencia de sulfuros. Los valores de Au obtenidos en pizarras y en cuarcitas son significativamente más bajos que los citados en la bibliografía. En las cuarcitas sólo se ha detectado Au en las proximidades del yacimiento de El Veneiro, lo que unido a valores significativos de As en las mismas muestras, conduce a interpretar esos valores significativos de oro en relación a una aureola de dispersión hidrotermal ligada al proceso mineralizador. Teniendo en cuenta datos previos, que apuntan a las rocas del entorno geológico como fuente del oro, los bajos contenidos en Au obtenidos en este

---

<sup>1</sup> Área de Prospección e Investigación Minera. Universidad de León. C/ Jesús Rubio 2, 24004, León, Spain; f.gomez@unileon.es

<sup>2</sup> Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040, Madrid, Spain; evindel@geo.ucm.es

<sup>3</sup> IGME. Unidad de Salamanca, C/ Azafranal, 48, 37001, Salamanca, Spain; egc@usal.es

<sup>4</sup> ESCET, E. Departamental II, Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles, 28933, Madrid, Spain; tomas.martin@urjc.es

<sup>5</sup> Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040, Madrid, Spain; virginia.sanchez@repsol.com

trabajo, tanto en pizarras como en cuarcitas alejadas de las mineralizaciones (<2 ppb), se interpretan como debidos a una lixiviación masiva de oro de las rocas durante el proceso mineralizador, previamente a su deposición en zonas extensionales.

**Palabras-clave** – litogeoquímica, yacimientos de oro, minería romana, Macizo Ibérico

*Abstract* – This paper is a contribution to the understanding of the metallogeny of the quartz-arsenopyrite-gold deposits in the Llamas de Cabrera mine-district. The major aim is to disclose the source of the gold involved in the hydrothermal processes which generated these deposits. For this purpose a geochemical study of ore deposits and a lithogeochemistry, especially in the Armorican quartzite and slates from Luarca Formation, were carried out. Sulphur, Au, Ag, As, Ba, Hg, Sb, Cd, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb and Zn have been determined in host rocks and Au, Ag in mineralized bodies. High contents of S and metals from slate are interpreted as related to the presence of sulphides. Au contents in slate and quartzite are significantly lower than those referred in the literature. Exclusively close to the Veneiro ore deposit was detected Au in quartzite. The presence of As in these samples suggest that gold mineralization is related to deposition in an halo of hydrothermal dispersion. Previous data point to the surrounding rocks as the source of gold. The low Au values obtained in this work -both in slate and quartzite far away from the ore bodies (<2 ppb)- are also understand as gold was leached from the enclosing geological bodies prior to its deposition in extensional restricted areas.

*Keywords* – lithogeochemistry, gold deposits, roman mining, Iberian Massif

## 1 – Introducción

El Noroeste del Macizo Ibérico fue uno de los distritos productores de oro más importantes durante época romana, en la que se explotaron dos tipos de mineralizaciones: filones de cuarzo-oro y depósitos aluviales. Los espectaculares trabajos mineros romanos en el Noroeste de la Península Ibérica han sido objeto de varios estudios arqueológicos (SÁNCHEZ-PALENCIA, 1983; PÉREZ-GARCÍA *et al.*, 2000). En este área se han registrado aproximadamente 500 trabajos mineros históricos, con una producción total de oro durante los siglos I y II estimada en torno a 195 t, la mayor parte procedente de yacimientos aluviales, con una ley media de 67 mg Au/m<sup>3</sup> y una ley máxima de 1–2 g/m<sup>3</sup>. Desde tiempos romanos hasta la actualidad, las minas de oro en el noroeste de España han permanecido inactivas, excepto para pequeñas operaciones a finales del siglo XIX y primera mitad del siglo XX. No obstante, con el incremento de los precios del oro en la década de los años 70, sobrevino una fase de prospección exhaustiva.

El distrito de Llamas de Cabrera aunque fue ampliamente explotado en época romana, permaneció oculto hasta 2002, cuando fue descubierto por MATÍAS & GÓMEZ-FERNÁNDEZ (2003). En este distrito se pueden ver actualmente importantes trabajos mineros antiguos, minería a cielo abierto, pozos verticales y galerías, con su propia red hidráulica (MATÍAS & GÓMEZ-FERNÁNDEZ, 2003; GÓMEZ-FERNÁNDEZ *et al.*, 2005).

Recientemente, GÓMEZ-FERNÁNDEZ *et al.* (2012) han llevado a cabo un exhaustivo estudio del distrito de Llamas de Cabrera en el que: (1) realizan una primera descripción sistemática del yacimiento, (2) caracterizan los fluidos que intervinieron en

el proceso hidrotermal a partir del estudio de inclusiones fluidas, (3) analizan la variación composicional de la arsenopirita con objeto de usarla como geotermómetro, (4) aportan información sobre las posibles fuentes de los fluidos mineralizadores a partir del estudio de isótopos estables, (5) reconstruyen la evolución de las variables P-T durante las etapas de formación del yacimiento y, (6) contribuyen al progreso del conocimiento sobre este tipo de yacimientos del Noroeste de la Península Ibérica y los comparan con otros semejantes del dominio varisco.

En este marco, el objetivo del presente trabajo es realizar un estudio litogeoquímico que contribuya al conocimiento metalogénico de estas mineralizaciones, especialmente en lo que se refiere a la fuente del oro involucrado en los procesos hidrotermales que generaron estos yacimientos.

## 2 – Marco geológico

De acuerdo con la división del Macizo Ibérico propuesta por PÉREZ-ESTAÚN *et al.* (2004), el área estudiada está situada en la Zona Centroibérica, en el límite con la Zona Asturoccidental-Leonesa. Los yacimientos de oro se sitúan a lo largo del flanco norte del sinclinal de Truchas (Fig. 1), una estructura compleja formada por la interferencia coaxial de las fases 1 y 3 variscas y algunos cabalgamientos de fase 2 vergentes hacia el norte (MARCOS, 1973; PÉREZ-ESTAÚN, 1975; RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ *et al.*, 1982).

El registro sedimentario en la región se inicia con la Formación “Ollo de sapo” (Cámbrico superior a Ordovícico inferior), interpretada como un grupo de materiales magmáticos, volcánicos y volcano-sedimentarios (DÍEZ MONTES, 2010). Está cubierta por una espesa sucesión del Ordovícico inferior (MARTÍNEZ CATALÁN *et al.*, 1992) de filitas y cuarcitas que hacia la parte superior se vuelve más rica en el término arena, terminando en una unidad de cuarcita blanca denominada Cuarcita Armóricana. El Ordovícico medio está formado por las pizarras negras de la Formación Luarca. La transición entre la Cuarcita Armóricana y la Fm. Luarca es gradual, y algunos autores han distinguido una serie de transición a nivel local, denominada Formación Rubianes (GUTIÉRREZ MARCO *et al.*, 1999). La secuencia del Ordovícico superior se encuentra discordante sobre la Cuarcita Armóricana y comienza con la Caliza de La Aquiana. El resto del Ordovícico superior ha sido dividido (BARROS LORENZO, 1989) en tres formaciones fundamentalmente detríticas: Casaio, Rozadai y Losadilla.

La Orogenia Varisca, que afectó a todo el Macizo Ibérico, se manifiesta en la región como un proceso tectono-metamórfico polifásico. En el flanco norte del sinclinal de Truchas la única foliación tectónica identificada es de fase 1 varisca, lo que sugiere que las venas mineralizadas son más jóvenes que esta foliación. Mientras que en el área de estudio no afloran cuerpos magmáticos de ninguna de las fases variscas, hacia el sur y el este (Fig. 1), en el dominio del antiformal del “Sapo de Ollo”, afloran diversos granitoides variscos (DÍEZ MONTES, 2010), generados en distintas fases de la orogenia. El metamorfismo regional es de bajo grado (zona de clorita) y es contemporáneo con la fase 1 varisca.

Algunos depósitos continentales, relacionados con la red fluvial, con episodios glaciares cuaternarios y con avalanchas de ladera cubren localmente la región. El contenido en oro de algunos de estos depósitos sedimentarios centró los trabajos mineros durante la Época Romana (HERAIL, 1984; PÉREZ GARCÍA *et al.*, 2000; MATÍAS & GÓMEZ-FERNÁNDEZ, 2003).

### 3 – Las mineralizaciones primarias de oro en el distrito de llamas de cabrera

486

El distrito minero de Llamas de Cabrera forma un área extensa en la que se encuentran varios yacimientos primarios de cuarzo-arsenopirita-oro (Fig. 1) encajados en rocas de edad paleozoica. Estas mineralizaciones están estructuralmente controladas y se pueden agrupar en tres tipos: a) filones extensionales de cuarzo, en dirección N–S a N20° E, b) filones de cuarzo, brechas y stockworks en dirección WNW-ESE, y c) otros yacimientos relacionados con fallas NE–SW. Encajan en las capas superiores de la Cuarcita Armoricana, equivalentes a la Fm. Rubianes, si bien ocasionalmente lo pueden hacer en las pizarras de los tramos inferiores de la Fm. Luarca. Las alteraciones hidrotermales en el encajante incluyen silicificación, cloritización y sericitización. Se reconocen mineralizaciones diseminadas en zonas de alteración hidrotermal el entorno de las mineralizaciones. La paragénesis mineral es bastante simple, fundamentalmente cuarzo-arsenopirita-oro con otros sulfuros muy escasos, tales como esfalerita, galena, calcopirita, pirita, tetraedrita y bismutina. También se desarrolla una fase supergénica y de oxidación con la presencia de covellina, escorodita, anglesita y goethita.

### 4 – Metodología

Para el estudio geoquímico se han llevado a cabo dos tipos de muestreo. El primero ha consistido en una toma de muestras directamente en los yacimientos (Tabla 1; Fig. 1): a) seis muestras puntuales (chip samples) en filones mineralizados (El Veneiro, Pombriego, Pozos, Llamas de Cabrera; Fig. 1), b) una muestra puntual de la salvanda arcillosa que acompaña a uno de estos filones (Llamas de Cabrera) y c) una muestra correspondiente a una roza (channel sample) transversal a la corona de la galería Machato (Llamas de Cabrera). En estas muestras se analizaron los contenidos en Au y Ag.

El segundo muestreo consistió en una campaña de litogeoquímica extensa en la que se recogieron 25 muestras de roca de caja: Cuarcita Armoricana y Formaciones Luarca y Rozadais. Las litologías muestreadas han sido, cuarcitas, pizarras y alternancias de cuarcitas, analizándose una serie de elementos considerados representativos (Tabla 2). Se tomaron muestras de 5 kilogramos de peso, obtenidas en rozas y en paneles, tanto en zonas alejadas de las mineralizaciones de Au como en sus proximidades (Fig. 1).

Las muestras fueron molidas hasta un tamaño de partícula por debajo de 100 µm. Los análisis fueron realizados por Activation Laboratories Ltd., en Thunder Bay (Ontario, Canadá). Las metodologías utilizadas fueron ensayo al fuego/gravimétrico (Au y Ag) en geoquímica de mineralizaciones, mientras que en geoquímica de rocas se utilizó INAA (Au, As, Ba, Hg, Sb y W), agua regia ICP (Cd, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn y S) e INAA/agua regia ICP (Ag). Los límites de detección para cada uno de los elementos determinados se encuentran especificados en las Tablas 1 y 2.

### 5 – Resultados

Los resultados analíticos de la geoquímica de mineralizaciones de cuarzo-arsenopirita-oro están reflejados en la Tabla 1. Los valores obtenidos varían entre < 0,03 y 18,7 ppm



Au. Los contenidos en Ag usualmente quedan por debajo del límite de detección de la técnica instrumental. Dada la metodología utilizada en el muestreo (chip samples), los valores obtenidos, aunque indicativos de la riqueza de los yacimientos, no se pueden considerar representativos de la ley de cada uno de estos, a excepción de la muestra M2 (roza), cuyos valores representan la ley de la galería Machato (Fig. 1), encajada en pizarras de Luarca.

Los resultados analíticos de la litogeoquímica se recogen en la Tabla 2. La metodología del muestreo permite considerar los resultados como representativos de las rocas analizadas. La comparativa entre pizarras y cuarcitas indica que las primeras tienen contenidos significativamente más altos en S, Ni, Pb, Zn y Ba, y las cuarcitas valores superiores en Au, Ag, As y W.

## 6 – Estudios geoquímicos previos

Aunque no existen muchos datos al respecto, en la bibliografía previa se pueden recopilar algunos datos geoquímicos sobre el contenido en Au de las rocas paleozoicas del Noroeste de la Península Ibérica. Así PORTER & ÁLVAREZ MORÁN (1992) ofrecen, entre otros, los siguientes valores: a) hasta 80 ppb el contenido de las pizarras de la Fm. Luarca, b) 30 ppb el contenido medio de los materiales vulcanosedimentarios de la Fm. Luarca y c) 4 ppb el contenido medio de las cuarcitas de Los Cabos del oeste de Asturias (JAHODA, 1977).

Por otra parte HERAIL (1984) pone de manifiesto la existencia de paleoplaceres de oro presentes en la Cuarcita Armoricana, concretamente en el área de El Veneiro (Fig. 1). Todo ello ha inducido a pensar que la fuente del oro está en las rocas del entorno geológico (TORNOS *et al.*, 1997), las cuales habrían sido objeto de lixiviación con posterioridad a la primera fase de deformación varisca ( $D_1$ ). El transporte del oro habría estado ligado a células convectivas originadas como consecuencia del aumento de temperatura propiciado por el ascenso de intrusivos (Granitoides Variscos postcinemáticos, Fig.1) durante la segunda fase de deformación varisca ( $D_2$ ) (GÓMEZ-FERNÁNDEZ *et al.*, 2012). La deposición del oro se produjo en etapas sucesivas a lo largo de fallas extensionales, brechas y stockworks.

Tabla 1 - Resultados analíticos de geoquímica de mineralizaciones

Muestra	Componentes <i>de visu</i>	Tipo	Yacimiento	Encajante	Au (ppm)	Ag (ppm)
24	Qtz + Goethita	Chip	El Veneiro	Arm.	0.30	< 3
31	Qtz + Apy + Py	Chip	Pombriego	Arm.	3.52	< 3
PZ	Qtz + Apy	Chip	Pozos	Arm.	0.50	< 3
M31	Qtz + Apy	Chip	Llamas de Cabrera	Arm.	18.70	< 3
Z5	Qtz + Apy	Chip	Llamas de Cabrera	Arm.	3.59	7
132B	Qtz + Apy	Chip	Llamas de Cabrera	Arm.	5.19	< 3
M12	Salvanda arcillosa	Chip	Llamas de Cabrera	Arm.	< 0.03	< 3
M2	Pizarra + Qtz	Roza	Llamas de Cabrera	Lua.	2.27	< 3

Abreviaturas: Qtz = cuarzo; Apy = arsenopirita; Arm. = Cuarcita Armoricana; Lua. = Formación Luarca

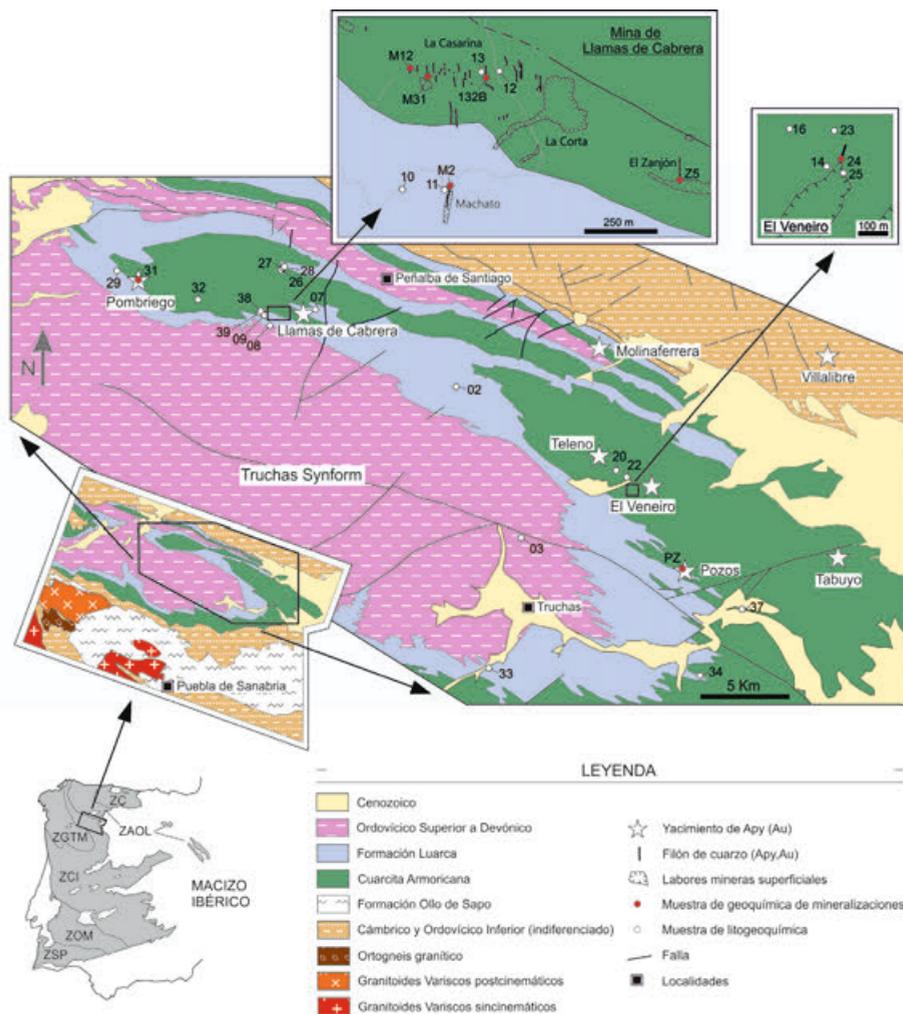


Fig. 1 – Situación de muestras y mapa geológico de la zona de estudio.

Tabla 2 - Resultados analíticos del estudio litogeométrico.

Litología	Fm.	Muestra	S (%)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Hg (ppm)	Sb (ppm)	W (ppm)	Ag (ppm)	Au (ppb)
Lua.	Lua.	02	0.006	< 0.5	16	406	< 2	27	15	97	11	470	< 1	0.6	< 4	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	07	0.012	< 0.5	24	245	< 2	20	17	92	180	480	< 1	12	< 4	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	08	0.017	< 0.5	32	399	< 2	49	19	115	26	650	< 1	0.9	< 4	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	09	0.004	0.6	27	402	< 2	43	9	115	10	600	< 1	0.7	< 4	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	10	0.005	< 0.5	23	331	< 2	42	17	113	25	850	< 1	1.8	< 4	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	11	0.011	0.5	47	468	< 2	34	19	91	138	910	< 1	6.6	< 4	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	28	0.004	< 0.5	20	195	< 2	16	17	70	11	1500	< 1	1.1	7	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	29	0.116	< 0.5	22	328	< 2	35	10	92	21	830	< 1	1.6	6	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	33	0.024	< 0.5	25	553	< 2	49	22	112	29	750	< 1	2	< 4	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	37	0.164	< 0.5	14	372	< 2	29	20	89	35	1190	< 1	2.9	< 4	< 0.2	< 2
Lua.	Lua.	39	0.023	< 0.5	24	316	< 2	36	15	99	35	1330	< 1	2.3	< 4	< 0.2	< 2
Rzd.	Rzd.	03	0.120	< 0.5	42	701	< 2	53	22	132	14	1110	< 1	1.2	< 4	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	12	≤ 0.003	< 0.5	12	139	< 2	9	16	36	115	550	< 1	3.4	< 4	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	13	0.004	< 0.5	26	230	< 2	14	15	64	104	780	< 1	3.4	< 4	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	14	0.003	< 0.5	14	63	< 2	9	< 2	1	34	< 50	< 1	1.9	< 4	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	16	0.003	< 0.5	13	71	< 2	9	< 2	1	125	< 50	< 1	4.6	< 4	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	20	0.002	< 0.5	10	55	< 2	6	< 2	< 1	7	150	< 1	1.7	< 4	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	22	0.001	< 0.5	5	29	< 2	3	< 2	< 1	11	< 50	< 1	1.1	24	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	23	0.026	1.4	47	981	< 2	20	21	76	2670	< 50	< 1	17.3	26	0.6	78
Arm.	Arm.	25	0.003	< 0.5	16	77	2	9	< 2	1	59	< 50	< 1	2.6	< 4	< 0.2	20
Arm.	Arm.	26	0.002	< 0.5	7	209	< 2	5	13	9	17	980	< 1	3.5	11	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	34	0.003	< 0.5	16	144	< 2	21	19	54	15	560	< 1	3.2	7	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	32	0.007	< 0.5	10	397	< 2	26	5	49	56	440	< 1	2.5	< 4	< 0.2	< 2
Arm.	Arm.	38	0.056	< 0.5	29	733	< 2	25	115	155	42	< 50	< 1	2.9	< 4	0.2	< 2
Arm.	Arm.	27	0.002	< 0.5	19	303	< 2	31	15	88	9	540	< 1	1.6	< 4	< 0.2	< 2
Litología		N	S (%)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Hg (ppm)	Sb (ppm)	W (ppm)	Ag (ppm)	Au (ppb)
Pizarra		12	0.042 (0.054)	0.09 (0.21)	26 (9)	393 (130)	< 2	36 (11)	17 (4)	101 (16)	44 (53)	889 (318)	< 1	2.8 (3.2)	1.1 (2.4)	< 0.2	< 2
Cuarcita		11	0.005 (0.007)	0.13 (0.40)	16 (11)	218 (262)	0.2 (0.06)	12 (7)	8 (8)	26 (28)	292 (753)	315 (345)	< 1	4.1 (4.3)	6.2 (9.5)	0.05 (0.17)	23 (45)
Cuarcita +pizarra		2	0.029 (0.027)	< 0.5	24 (5)	518 (215)	< 2	28 (3)	65 (50)	122 (34)	26 (17)	270 (270)	< 1	2.3 (0.7)	< 4	0.10 (0.10)	< 2

- Otros límites de detección: 0.2 ppm (Sb), 0.5 ppm (As), 1 ppm (Cu, Ni), 3 ppm (Mn), 0.001% (S); - Abreviaturas: Arm. = Cuarcita Armoricana; Lua. = Formación Luarca. - Símbolos:  $\bar{X}$  = Media aritmética;  $\sigma$  = desviación estándar.

## 7 – Discusión

490

Los altos contenidos en S y metales de las pizarras se interpretan como consecuencia de la presencia de sulfuros, ya indicada por GÓMEZ-FERNÁNDEZ *et al.* (2009) para pizarras comerciales (pizarras de techar) de esta zona, los cuales fueron precipitados en dos fases de mineralización: a) una fase precinemática, marcada por la deposición en medios sedimentarios anóxicos de sulfuros como pirita, pirrotina, esfalerita, calcopirita, pentlandita, coblatina, ullmanita y gersdorsfita y b) una fase postcinemática, marcada por la precipitación de pirita. Por lo que respecta al origen de los altos contenidos en Ba, las técnicas estrictamente geoquímicas utilizadas en este trabajo no permiten una interpretación sólida, ya que los modos de formación de barita en medios marinos referenciados en la bibliografía son variados, incluyendo mecanismos biológicos y abiológicos (SMITH *et al.*, 2004). Los altos contenidos en W de las cuarcitas probablemente tengan origen sedimentario. La baja solubilidad de wolframita y scheelita hace que estos minerales tiendan a acumularse como detritos de la fracción arena, pudiendo llegar a originar placeres.

Los contenidos en Au, tanto en pizarras como en cuarcitas, merecen un análisis más pormenorizado. Los contenidos de Au en pizarras son significativamente más bajos que los citados por PORTER & ÁLVAREZ MORÁN (1992), quedando siempre por debajo del límite de detección de la técnica instrumental (2 ppb). En cuanto a las cuarcitas, no se ha detectado Au en rocas alejadas de los yacimientos de cuarzo–arsenopirita-oro. Únicamente se ha detectado en cuatro muestras en el entorno del yacimiento de El Veneiro (muestras 14, 16, 23 y 25; Fig. 1), en las cercanías de una estrecha vena de cuarzo de baja ley de Au. Estas muestras tienen contenidos relativamente altos en As (hasta 2670 ppm, muestra 23). Todo ello sugiere que el oro en la cuarcita podría encontrarse asociado a arsenopirita y consecuentemente no se trataría de oro detrítico, sino relacionado con una aureola de dispersión hidrotermal ligada al proceso mineralizador.

En otras muestras de cuarcita (muestras 12 y 13) recogidas en las proximidades del yacimiento de Llamas de Cabrera, los valores de Au quedan por debajo del límite de detección de la técnica instrumental. Los significativos contenidos en Au de las muestras de estas mineralizaciones (muestras M31, Z5, 132B y M2, Tabla1), comparados con los bajos contenidos de los encajantes, indican que se trataría de un yacimiento de ley superior con una baja dispersión de Au en las rocas del entorno.

## 8 – Conclusiones

En GÓMEZ-FERNÁNDEZ *et al.* (2012) se ha propuesto un modelo mineralizador con implicación de fluidos de origen desconocido ampliamente equilibrados a temperaturas medias-altas con litologías metamórficas, en el que el ascenso de intrusivos durante la segunda fase de deformación varisca ( $D_2$ ) actuaría como fuente de calor, motor del desarrollo de células convectivas. En trabajos previos (PORTER & ÁLVAREZ MORÁN, 1992; TORNOS *et al.*, 1997) se apunta a que la fuente del oro podría estar en las rocas del entorno geológico, hipótesis que concuerda con la presencia de oro detrítico en las cuarcitas, citada por HERAIL (1984). Sin embargo, los datos de geoquímica de rocas que aporta el presente trabajo muestran contenidos en Au incluso inferiores a los referenciados por JAHODA (1977) y PORTER & ÁLVAREZ MORÁN (1992) para

las pizarras de Luarca y la Cuarcita Armoricana. La anomalía detectada en esta última unidad estratigráfica no se interpreta como oro detrítico sino como ligado a aureolas de dispersión hidrotermal.

Teniendo en cuenta la idea de que la zona ha sufrido un intenso proceso hidrotermal con una importante circulación de fluidos a una relativa temperatura, la interpretación más razonable para la fuente del oro es que haya sido lixiviado, prácticamente en su totalidad, de rocas encajantes como paso previo a su deposición en zonas extensionales.

**Agradecimientos** – Este trabajo ha sido financiado por la Excm. Diputación Provincial de León, mediante el proyecto 2005/103 y por la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León, mediante el proyecto LE289A11-2.

### Referencias Bibliográficas

- BARROS LORENZO, J.C. (1989) - Nuevos datos geológicos y cartográficos sobre el flanco sur del Sinclinatorio de Truchas (Ourense-León, NW de España). *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, 14, p. 93-116.
- DÍEZ MONTES, A., MARTÍNEZ CATALÁN, J.R. & BELLIDO MULAS F. (2010) - Role of the Ollo de Sapo massive felsic volcanism of NW Iberia in the Early Ordovician dynamics of northern Gondwana. *Gondwana Res.*, 17, p. 363–376.
- GÓMEZ-FERNÁNDEZ, F., CASTAÑO, M.A., BAULUZ, B. & WARD, C.R. (2009) - Optical microscope and SEM evaluation of roofing slate fissility and durability. *Mater. Construc.*, 59 (296), p. 91-104.
- GÓMEZ-FERNÁNDEZ, F., MATÍAS, R., MÉNDEZ, A.J. y CIFUENTES, J. (2005) - Estudio preliminar de las mineralizaciones de la mina de oro romana de Llamas de Cabrera (León, NO de España). *Est. Geol.*, 61, p. 111-119.
- GÓMEZ-FERNÁNDEZ, F., VINDEL, E., MARTÍN-CRESPO, T., SÁNCHEZ V., GONZÁLEZ CLAVIJO, E. & MATÍAS, R. (2012) - The Llamas de Cabrera gold district, a new discovery in the Variscan basement of northwest Spain: a fluid inclusion and stable isotope study. *Ore Geol. Rev.* doi: 10.1016/j.oregeorev.2012.02.001
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., ARAMBURU, C., ARBIZU, M., BERNÁRDEZ, E., HACAR RODRÍGUEZ, M.P., MÉNDEZ-BEDIA, I., MONTESINOS LÓPEZ, R., RÁBANO, I., TRUYOLS, J. & VILLAS, E. (1999) - Revisión bioestratigráfica de las pizarras del Ordovicio Medio en el Noroeste de España (Zonas Cantábrica, Asturoccidental-Leonesa y Centroibérica septentrional). *Act. Geol. Hisp.*, 34, p. 3-87.
- HERAIL, G. (1984) - Géomorphologie et géologie de l'or détritique. Piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne. Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Paris, 456 p.
- JAHODA, R. (1977) - Geology and genesis of auriferous hydromagmatic breccias and related deposits in Northwestern Spain. Unpublished. Ph. D. Univ. Southampton.
- MARCOS, A. (1973) - Las series del Paleozoico Inferior y la estructura herciniana del occidente de Asturias (NW de España). *Trab. Geol. Univ. Oviedo*, 6, p. 1-113.
- MARTÍNEZ CATALÁN, J.R., HACAR RODRÍGUEZ, M.P., VILLAR ALONSO, P., PÉREZ ESTAÚN, A. & GONZÁLEZ LODEIRO, F. (1992) - Lower Paleozoic extensional tectonics in the limit between the West Asturian-Leonese and Central Iberian Zones of the Variscan Fold-Belt in NW Spain. *Geol. Rundsch.*, 81, p. 545-560.
- MATIAS, R. y GÓMEZ-FERNÁNDEZ, F. (2003) - La mina romana de Llamas de Cabrera (León-España). Actas del IV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero, Utrillas (Teruel), p. 383-398.
- PÉREZ-ESTAÚN, A. (1975) - La estratigrafía y la estructura de la rama Sur de la Zona Asturoccidental-Leonesa (W de León, NW de España). PhD Thesis. Universidad de Oviedo, Spain.

- PÉREZ-ESTAÚN, A., BEA, F., BASTIDA, F., MARCOS, A., MARTÍNEZ CATALÁN, J.R., MARTÍNEZ POYATOS, D., ARENAS, R., DÍAZ GARCÍA, F., AZOR, A., SIMANCAS, J.F., & GONZÁLEZ LODEIRO, F. (2004) - La Cordillera Varisca Europea: el Varisco Ibérico. In: Vera, J.A. (Ed.), *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 21-228.
- PÉREZ-GARCÍA L.C., SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. & TORRES-RUIZ, J. (2000) - Tertiary and Quaternary alluvial gold deposits of Northwest Spain and Roman mining (NW of Duero and Bierzo Basins). *J. Geochem. Expl.*, 71, p. 225-240.
- PORTER, D.H. & ÁLVAREZ MORÁN, B. (1992) - Mineralizaciones de oro del noroeste de España. In: García Guinea, J. y Martínez Frías J. (eds.). *Recursos Minerales Españoles*. CSIC, Madrid, p. 849-860.
- RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, L.R., ABRIL HURTADO, J., PLIEGO DONES, D., & RUBIO NAVAS, J. (1982) - Mapa Geológico de España E. 1:50.000, Segunda Serie. Servicio Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía, Memoria 56 p.
- SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. (1983) - La explotación del oro de Asturias y Gallaecia en la Antigüedad, PhD Thesis, Univ. Complutense, Madrid.
- SMITH, E., HAMILTON-TAYLOR, J., DAVISON, W., FULLWOOD, N.J. & MCGRATH, M. (2004) - The effect of humic substances on barite precipitation - dissolution behaviour in natural and synthetic lake waters. *Chem. Geol.*, 207, p. 81-89.
- TORNOS, F., SPIRO, B.F., SHEPHERD, T.J. & RIBERA, F. (1997) - Sandstonehosted gold lodes of the Southern West Asturian Leonese Zone (NW Spain). *Chron. Rech. Min.*, 528, p. 71-86.

## PRODUÇÃO DE GESSO NO BRASIL: MINERAÇÃO E PROCESSAMENTO

## GYPSUM PRODUCTION IN BRAZIL: MINING AND PROCESSING

C. A. M. Baltar<sup>1</sup> & E. G. Freitas<sup>2</sup>

**Resumo** – O gesso, sulfato dihidrato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), tem uma grande diversidade de utilização industrial. A gipsita apresenta uma característica peculiar que consiste na facilidade de desidratação e de rehidratação. Durante o processo de calcinação, a gipsita perde  $3/4$  da água de cristalização convertendo-se num sulfato hemidratado de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ) que, quando misturado com água, pode ser moldado e trabalhado antes de endurecer e adquirir a consistência mecânica característica da forma estável rehidratada. A produção de gesso no Brasil concentra-se no estado de Pernambuco, onde as indústrias formam um pólo gesseiro composto por 39 minerações, 132 calcinadoras e 684 indústrias de pré-moldados. O minério tem uma pureza de até 95%. Dependendo do processo de calcinação são obtidos os tipos alfa e beta, a partir dos quais são obtidos os diversos produtos comercializados com o uso de aditivos químicos.

**Palavras Chave** – Gesso; produção; pólo gesseiro; aditivos químicos.

*Abstract* – Gypsum mineral, a calcium sulfate dehydrated ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), is widely used in industry. The gypsum has a peculiar characteristic that consist in the facility of dehydration and rehydration. During calcinations process gypsum loses  $3/4$  of its crystallization water transforming into a calcium sulfate hemi hydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ) that, in contact with water, can be molded and worked before becoming hard and acquiring the mechanics properties of the re-hydrated stable form. The production of gypsum plasters in Brazil concentrates in Pernambuco State, where the gypsum industries form a cluster with 39 mining companies,

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia de Minas. CTG/UFPE, Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. CEP 50740-530. Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: camb@ufpe.br

<sup>2</sup> SINDUSGESSO – Rua Antonio Alexandre Alves, 112, Centro Tecnológico, Vila Santa Isabel, CEP 56.280-000, Araripina, Pernambuco, Brasil. E-mail: erickfreitas67@hotmail.com .

132 plaster producers and 684 pre-molded producers. The ore has until 95% of purity grade. Depending on the calcinations process are obtained the plaster types alpha and beta, from that are produced the commercial plaster varieties with addition of chemical products.

**Keywords** – Gypsum; production; cluster industries; chemical additives.

## 1 – Introdução

A gipsita é um sulfato de cálcio dihidratado que perde  $\frac{3}{4}$  de sua água de cristalização durante o processo de calcinação convertendo-se na forma de hemihidrato com um ampla variedade de aplicações industriais (VELHO *et al.*, 1998; KEBEL, 1994).

O Brasil possui reservas abundantes de gipsita das quais 230 milhões de toneladas são consideradas lavráveis (LYRA SOBRINHO *et al.*, 2011). O estado de Pernambuco, localizado na região nordeste do Brasil, contribui com 93% das reservas aproveitáveis com base no cenário atual.

A produção brasileira de gipsita em 2010, foi superior a 2,7 milhões de toneladas o que representa um crescimento de, aproximadamente, 17% em relação ao ano anterior (LYRA SOBRINHO *et al.*, 2011). O aumento está relacionado com o bom momento da construção civil no Brasil e, especialmente, na região nordeste. O pólo gessífero de Pernambuco é responsável por aproximadamente 95% da produção nacional.

O minério da região do Araripe é considerado um dos melhores do mundo, apresentando uma pureza próxima de 95% (BALTAR *et al.*, 2006). Nesse minério, observa-se a ocorrência de diferentes variedades mineralógicas de gipsita (Fig. 1), conhecidas na região com os nomes de: *cocadinha*, *rapadura*, *pedra Johnson*, *estrelinha*, *alabastro* e *selenita*, além da anidrite. A utilização de cada uma dessas variedades depende da utilização industrial a que se destina (BALTAR *et al.*, 2004). As espécies *alabastro*, *boró* e anidrite são utilizadas na fabricação de cimento.

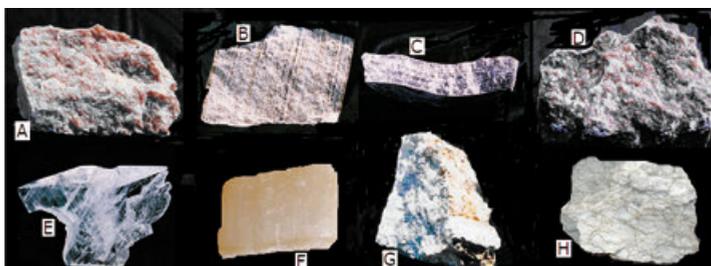


Fig. 1 – Variedades de gipsita e amostra de anidrite encontradas na região do Araripe, Pernambuco: (A) Johnson; (B) cocadinha; (C) rapadura; (D) estrelinha; (E) selenita; (F) alabastro; (G) boró e (H) anidrite. As três últimas são usadas na indústria cimenteira.

## 2 – Estrutura

O pólo gessífero de Pernambuco Araripe, localizado a cerca de 680 km da capital Recife, no extremo oeste do Estado de Pernambuco, na região nordeste do Brasil (Fig. 2) é



formado por 39 minerações, 130 empresas calcinadoras e 684 indústrias de pré-moldado, constituindo-se no principal centro produtor de gesso e gipsita bruta do país. A região do Araripe dispõe de uma razoável rede de rodovias (a maioria pavimentada) e um elevado índice de eletrificação rural. Na região são encontrados cerca de 400 fornos em atividade (BASTOS & BALTAR, 2003).

### 3 – Método de produção

#### 3.1 – Lavra

Além da gipsita, o minério contém argilas, principalmente, esmectites. A gipsita ocorre em duas camadas, sendo a superior mais potente. A relação média estéril/minério é de 1:5 (BALTAR *et al.*, 2006). O método para extração do minério é a lavra a céu aberto (*open pit*), através de bancadas simples com altura média em torno de 15 metros (Fig. 3), utilizando-se equipamentos tais como: rompedores hidráulicos, martelotes hidráulicos, *vagon drill*, tratores de esteira e pás mecânicas (PERES *et al.*, 2001). As atividades de lavra envolvem as seguintes operações principais: decapeamento, perfuração, carregamento de explosivos, desmonte, fragmentação de blocos, carregamento e transporte (LUZ *et al.*, 2001).



Fig. 2 – Localização do pólo gesseiro de Pernambuco e os municípios que compõem o sertão do Araripe.



Fig. 3 – Lavra de gipsita na região do Araripe em Pernambuco.

### 3.2 – Beneficiamento

496

O beneficiamento da gipsita para a produção de gesso, na região do Araripe, varia de acordo com a dimensão da empresa e com o tipo de gesso a ser produzido, podendo envolver operações de catação manual, fragmentação, peneiramento, calcinação e ensacamento. O produto resultante das operações de fragmentação deve apresentar uma distribuição granulométrica uniforme a fim de possibilitar uma desidratação por igual para as partículas de gipsita.

Os tipos de fornos mais usados são os seguintes: panela, marmitta vertical, marmitta horizontal (Fig. 4) e o rotativo de queima indireta (Fig. 5). Além desses fornos, que proporcionam uma calcinação sob pressão atmosférica, há fornos do tipo autoclave que são usados na produção do gesso alfa. A produção deste tipo de gesso alfa pode ocorrer por calcinação em autoclave a seco ou a úmido.

### 4 – Produtos

Dependendo do tipo de forno utilizado para a calcinação da gipsita podem ser obtidos os tipos conhecidos como gesso beta ou gesso alfa. O gesso beta é obtido em fornos abertos, enquanto o gesso alfa, de melhor qualidade, é produzido em autoclave. Ambos apresentam uma ampla variedade de aplicações industriais.

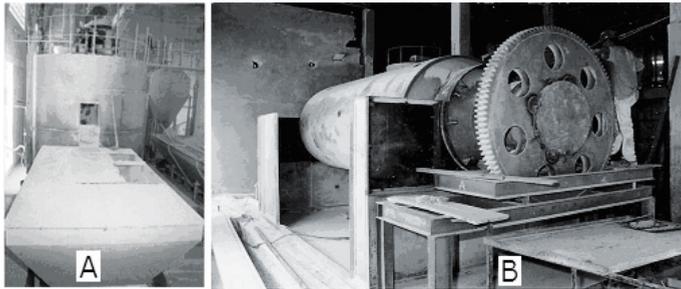


Fig. 4 – Alguns dos fornos utilizados na produção do gesso beta: marmitta vertical (A) e marmitta horizontal (B).



Fig. 5 – Fornos rotativos para calcinação de gesso beta: (A) contínuo e (B) batelada.

O hemidrato beta é utilizado na indústria da construção civil, indústria cerâmica e indústria de modelagem. Dentre os tipos de gesso beta, destacam-se os de fundição e os de revestimento manual, sendo ambos produzidos no Brasil sem a adição de aditivos químicos. Esses produtos são diferenciados pelo tempo de pega, definido como o tempo necessário para que o gesso (ao ser misturado com a água) complete o seu ciclo de endurecimento. O tempo de pega do produto é manipulado através do processo de calcinação.

O gesso de fundição é utilizado para a confecção de pré-moldados de gesso (Fig. 6), estando compreendido nesse grupo as placas para execução de forros suspensos e os blocos para divisórias, destinados à construção civil ou para confecção de elementos decorativos como estatuetas e imagens.

O gesso de revestimento, de aplicação manual, é utilizado para paredes e tetos, geralmente em substituição de rebocos e/ou massas para acabamento. O gesso de revestimento necessita atingir um grau de calcinação maior do que o gesso de fundição. A maior desidratação do gesso reduz a velocidade de rehidratação, segundo estágio do ciclo de endurecimento, aumentando o seu tempo de pega (BALTAR *et. al.*, 2004).

A partir dos gessos de fundição e de revestimento, as empresas do Pólo Gesseiro do Araripe produzem outros tipos de gessos para aplicações específicas: (a) Gesso Cola – para rejunte de premoldados em gesso; (b) Gesso de Revestimento Projetado – para aplicação mecanizada de revestimento de parede; (c) Gesso com pega retardada – para aplicação de revestimento manual; (d) Gesso Contra-Piso Autonivelante; Gesso Cerâmico – fabricação de moldes para a indústria cerâmica; (e) Gesso Giz – utilizado nas salas de aulas em escolas, entre outros. Em cada caso, o processo envolve o uso de aditivos (agregados, produtos químicos, corantes, entre outros).



Fig. 6 – Confecção de pré-moldados de gesso: (A) blocos e (B) placas.

O hemidrato alfa, obtido da calcinação em autoclave, passa por uma modificação na estrutura cristalina do gesso resultando num produto mais homogêneo. Como consequência, após a mistura com água, obtém-se um produto com maior resistência mecânica e menor consistência. Essa última característica possibilita a trabalhabilidade da mistura com uma menor relação água/gesso. O gesso alfa é caracterizado por apresentar cristais compactos, regulares e resistentes. Dentre as principais utilizações do gesso alfa estão: (1) bandagens de alta resistência; (2) matrizes para indústria cerâmica; (3) indústria de modelagem (usados por artistas plásticos); (4) ortopedia; (5) odontologia e (6) indústria automobilística. O gesso odontológico pode ser do tipo III ou do tipo IV. Esse último, um produto mais nobre, obtido a partir de aditivos e que se caracteriza por uma menor consistência, maior resistência mecânica e menor expansão.

A fabricação de cada uma dessas variedades de gesso requer condições específicas em relação ao tipo de gipsita, para além do tipo de forno, das condições de calcinação e do tratamento posterior (BALTAR *et. al.*, 2004).

## 5 – Conclusão

O pólo gesseiro de Pernambuco é o principal centro produtor de gipsita e gesso do Brasil. As jazidas apresentam minério de excelente qualidade (pureza de 95%, em média), condições favoráveis de lavra e boa localização.

## Referências Bibliográficas

- BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F. & BORGES, L. E. P. (2004) -Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso. In.: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Anais. Florianópolis, Brasil.v. 2. p. 51-58.
- BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F. & LUZ, A. B. (2006) – Minería y calcinación en el polo yesero de Pernambuco (Brasil).
- BASTOS, F. F. & BALTAR, C. A. M. (2003) – Avaliação dos processos de calcinação para produção de gesso Beta. In XLIII Congresso Brasileiro de Química, Ouro Preto-MG, A03-059, p. 329.
- KEBEL, H. L. (1994) - Construction Uses: Gypsum Plasters and Wallboards. In.: Industrial Minerals and Rocks, 6<sup>th</sup> edition. Carr, D.D. (Ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado.
- LYRA SOBRINHO, A. C. P.; AMORIM NETO, A. A. & DANTAS, J. O. C. (2011) - Gipsita. In.: Sumário Mineral Brasileiro. DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasil.
- LUZ, A. B.; BALTAR, C. A. M.; FREITAS, E. J. G. de & SILVA, A. P. da (2001) - Gesso – Mineração São Jorge. In.: Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil, SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B.; e LINS, F. F., CETEM-MCT, Rio de Janeiro, p. 240-249.
- PEREZ, L.; BENACHOUR, M. e& SANTOS, V. A. dos (2001) - O Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil. Recife: Editora Bagaço, 156 p.
- VELHO, J.; GOMES, C. & ROMARIZ, C. (1998) - Minerais Industriais. Universidade de Aveiro, 591p.

GEOLOGIA DO DISTRITO TURMALINÍFERO DE MAVUCO,  
PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DO ALTO LIGONHA, MOÇAMBIQUE

GEOLOGY OF THE MAVUCO TOURMALINIFEROUS DISTRICT,  
ALTO LIGONHA PEGMATITE PROVINCE, MOZAMBIQUE

M. S. Martins<sup>1</sup>, R. Scholz<sup>2</sup>, G. Queiroga<sup>2</sup>, M. Cândido Filho<sup>3</sup> & F. M. Belotti<sup>4</sup>

**Resumo** – O Distrito Turmalínífero de Mavuco, Província Pegmatítica do Alto Ligonha, Moçambique, corresponde à segunda ocorrência mundial de elbaíta rica em cobre, caracterizada por sua cor altamente saturada, variando do azul ciano ao verde esmeralda e do violeta azulado ao púrpura, denominada no mercado de gemas como “Turmalina Paraíba”. A região está inserida no Cinturão Neoproterozóico Moçambicano (1100 a 800 Ma), tendo embasamento formado por rochas supracrustais, compreendendo gnaisses de composição variada e rochas orogênicas representadas por gnaisses e migmatitos, caracterizando um metamorfismo do facies anfibolito baixo a médio. Estes litotipos são intrudidos por granitos pós-colisionais (500–400 Ma), com pegmatitos associados. Estas rochas encontram-se cobertas por depósitos sedimentares quaternários, formando colúvios e alúvios, sendo a unidade hospedeira das principais ocorrências de turmalina. Os pegmatitos são compostos por microclínio, quartzo, muscovita, schorl-elbaíta, almandina-espessartita e albita sob a forma de pertita, formando uma massa homogênea, maciça e pouco alterada por intemperismo. Alguns pegmatitos apresentam corpos de substituição/cristalização tardia com albita tipo clevelandita, evidenciando pegmatitos mais diferenciados, correspondendo aos depósitos primários de turmalina.

**Palavras-chave** – turmalina, pegmatito, Mavuco, Moçambique

---

<sup>1</sup> Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, UFMG, Belo Horizonte, Brasil; maximilianomartins@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Geologia, Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, Brasil; r\_scholz\_br@yahoo.com

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, Brasil; mauro\_engminas@hotmail.com

<sup>4</sup> Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira, Itabira, Brasil; fbelotti2004@yahoo.com.br

**Abstract** – *The Mavuco Tourmaliniferous District, Alto Ligonha Pegmatitic Province, Mozambique, is the second world occurrence of copper bearing elbaite, characterized for its highly-saturated color ranging from cyan-blue to emerald-green and bluish-violet to purple, named by the gemstone market as “Paraíba Tourmaline”. The region is inserted in the Mozambique Neoproterozoic Belt (1100 to 800 Ma), with basement formed by supracrustal rocks, comprising gneiss of variable composition and orogenic rocks represented by gneisses and migmatites, characterizing low to medium amphibolite metamorphism facies. These rocks are intruded by post-collisional granites (500-400 Ma), with associated pegmatites. These rocks are covered by quaternary age sediments, forming colluvial and alluvial deposits, corresponding to the main source of the gem quality tourmaline. The pegmatites are composed by microcline, quartz, muscovite, schorl-elbaite, almandine-spessartite and albite as pertite, forming a homogeneous mass, massive and low weathered. Some pegmatites show substitution/late cristallization bodies with albite variety clevelandite, which is an evidence of high differentiated pegmatites, corresponding to the primary deposits of tourmalines.*

**Keywords** – *tourmaline, pegmatite, Mavuco, Mozambique*

## 1 – Introdução

Minerais do grupo da turmalina são um dos principais produtos gemológicos associados a pegmatitos graníticos, com destaque para as séries elbaíta-schorl e elbaíta-liddicoatita como as de maior importância para o mercado de gemas e minerais de coleção.

A primeira ocorrência de turmalina rica em cobre foi registrada no final da década de 1980 (KOIVULA & KAMMERLING, 1989), sendo a causa de sua cor definida por ROSSMAN *et al.*, (1991). Este tipo de turmalina foi denominada pelo mercado como “Turmalina Paraíba” (WILSON, 2002), em referência ao estado brasileiro em que originalmente foi descrita. Esta variedade é extremamente valorizada no comércio de gemas, atingindo valores equiparáveis aos de esmeralda, safira e rubi de qualidade superior. Caracteriza-se por uma cor altamente saturada, variando do azul ciano ao verde esmeralda e do violeta azulado a púrpura.

No início dos anos 2000 novas ocorrências foram descritas na Nigéria (SMITH *et al.*, 2001, BREEDING *et al.*, 2007).

Aproximadamente quinze anos após a sua descoberta, no Brasil, uma nova ocorrência de “Turmalina Paraíba” foi registrada na porção leste de Moçambique, na Província Pegmatítica do Alto Ligonha. Atualmente esta é a principal ocorrência mundial devido à produção constante de gemas entre 20-60ct, podendo atingir até 88ct (LAURS *et al.* 2008).

Até o início da década de 1970 diversos trabalhos foram publicados a respeito da mineralogia, geoquímica e geologia dos pegmatitos desta província, com destaque para os trabalhos CORREIA NEVES & COTELO NEIVA (1960), KNORRING *et al.*, (1964), CORREIA NEVES & LOPES NUNES (1966), CORREIA NEVES *et al.*, (1972). A partir de então, Moçambique se viu envolta por uma série de conflitos internos que se estenderam até os anos 1990, restringindo a atividade de pesquisa no país por quase três décadas.

A região de Mavuco, localizada no segmento sul da Província Pegmatítica do Alto Ligonha, ganhou destaque no mercado de gemas pela descoberta de turmalinas tipo “Paraíba” em sedimentos quaternários. Dado o interesse científico e econômico desta

ocorrência, aliado ao relativo desconhecimento geológico desta porção do território de Moçambique, os autores do presente trabalho realizaram levantamentos geológicos (escala 1:12.500) no recém denominado Distrito Turmalínífero de Mavuco, nos meses de abril a julho de 2008, com o financiamento e apoio logístico da empresa Paraíba Moçambique Ltda., detentora de concessão mineira para exploração e exploração comercial de berilos, quartzo e turmalina.

## 2 – Características gerais do Distrito Turmalínífero de Mavuco

A área deste estudo localiza-se na parte sul da Província de Nampula, situada na região limítrofe entre os distritos de Mogovolas e de Moma. O acesso é feito através da Estrada Nacional EN 104, que liga a Cidade de Nampula a Nametil (sede do Distrito de Mogovolas), numa extensão de 75 km. Em seguida, acessa-se a estrada ER 483, que liga Nametil ao Posto Administrativo de Iuluti. O percurso total é da ordem de 130 km em via não-pavimentada.

Os principais marcos geomorfológicos e que servem como limites geográficos aproximados da área são os maciços graníticos de Iuluti, a norte, e Muli, a sul, com morfologia regional caracterizada por relevo levemente ondulado, com elevações moderadas, da ordem de 200 a 500 metros.

O Monte Muli destaca-se no relevo local, formando feições do tipo pão de açúcar, segmentado em duas partes. O Monte Iuluti constitui uma elevação de menor expressão topográfica, com topo tabular. Distribui-se irregularmente segundo duas direções principais: *i*) N60-70W, ao longo do qual encontra-se o segmento mais delgado do corpo, *ii*) N15-30E, terminação oriental e onde o corpo possui maior distribuição em área.

O Rio Uriatego constitui o principal nível de base regional, orientado aproximadamente segundo N30-40W, correndo para SE. Os afluentes que drenam para o Rio Uriatego são constituídos por ribeirões e córregos, perenes e/ou temporários, destacando-se o Naminocola, localizado na porção E do Monte Iuluti, orientado N-S e fluindo para S, e o Córrego Rocane, orientando-se segundo N10-30E, correndo para NE.

## 3 – Contexto geológico regional

A região do Distrito Turmalínífero de Mavuco está inserida no Cinturão Moçambicano (PINNA *et al.*, 1987; PINNA *et al.* 1993; PINNA 1995), que ocupa vastas áreas do norte do país e se estende por outros países da África Oriental tais como Tanzânia, Quênia e Somália. O Cinturão Moçambicano é constituído por uma complexa associação entre gnaisses para e orto-derivados, cortados por séries graníticas mais jovens e cobertos por sedimentos inconsolidados e solos residuais.

De acordo com PINNA *et al.* (1987), na porção sul da Província do Alto Ligonha ocorrem os seguintes conjuntos litológicos: Grupo Nantira-Metil, Grupo Nampula, e Intrusões Graníticas.

- *Grupo Nantira-Metil* – formado por rochas supracrustais de idade superior a 1.000 Ma, compreendendo gnaisses variados, com níveis de anfibolitos, piroxenitos, mármore, ultramafitos, anortositos e charnoquitos.

- *Grupo Nampula* – inclui rochas orogênicas moçambicanas (1.100–850 Ma), representadas pela Formação de Nametil/Mamala e por migmatitos indiferenciados com níveis de leptinitos. A Formação de Nametil/Mamala é composta por leucognaisses e leptinitos de composição granítica. Ambas formações parecem cobrir tectonicamente as rochas supracrustais do Grupo de Nantira/Metil.
- *Intrusões Graníticas* – inclui rochas graníticas atribuídas aos conjuntos pós-colisionais Pan-Africanos (pico do magmatismo em aproximadamente 510 Ma) que geralmente formam *inselbergs* e que ocorrem de forma dispersa na região.

Em termos geotectônicos, o Cinturão Moçambicano evoluiu a partir de dois ciclos distintos: (i) Luriano ou Moçambicano, de idade Toniana (*ca.* 1000 Ma), caracterizado por um espessamento crustal com predominância de colisões continentais, e (ii) Pan-Africano, de idade Ediacariana (*ca.* 600 Ma), representado basicamente por uma tectônica transpressiva intracontinental aproveitando as estruturas pré Pan-Africanas (PINNA 1995). A escassez de idades moçambicas na área estudada, segundo PINNA (1995), deve-se ao intenso retrabalhamento pelo ciclo Pan-Africano.

Todo o conjunto acima descrito é coberto irregularmente por formações quaternárias recentes.

## 4 – Geologia local

### 4.1 – Estratigrafia

A sequência litoestratigráfica da região de Mavuco é constituída por três conjuntos maiores (da base para o topo): *i*) embasamento gnáissico, localmente hospedando veios pegmatoides; *ii*) granitos e corpos de pegmatito; *iii*) sedimentos fanerozoicos inconsolidados. O mapa geológico é apresentado neste trabalho (Fig. 1).

#### 4.1.1 Embasamento gnáissico

O embasamento regional é caracterizado por um grande complexo gnáissico, subordinadamente apresentando xistos e veios pegmatoides deformados.

O litotipo de maior distribuição areal é constituído por gnaiss a biotita, quartzo e feldspato potássico, localmente apresentando hornblenda e muscovita. A granulação varia de fina a média, e mais raramente são observadas porções de granulação mais grossa. O bandamento gnáissico característico é dado pela intercalação entre os níveis félsicos (quartzo-feldspático) e máficos (hornblenda-biotita), variando em espessura desde poucos milímetros até 20cm entre as bandas. Aflora em toda a porção setentrional da área, distribuindo-se sobretudo na parte centro-nordeste, compreendendo a região entre o Rio Uriatego e o Monte Iuluti.

Intercalam-se localmente ao biotita-gnaiss descrito acima três outros litotipos: *i*) gnaiss de granulação média, finamente bandado, formado por quartzo, anfibólio e dióxido, denotando protolito calco-silicático, *ii*) muscovita xisto de granulação grossa,



com foliação bem marcada pela distribuição planar das folhas de muscovita, *iii*) quartzo-feldspato-clorita xisto, de granulação fina, com bandamento incipiente dado por intercalações milimétricas entre níveis de composição máfica e félsica. Não foi possível estabelecer a relação de contato entre estes três litotipos com o biotita gnaisse hospedeiro. Representam exposições isoladas e carecem de investigações adicionais.

O pacote gnáissico hospeda diversos veios pegmatóides, distribuídos heterogeneamente ao longo de toda a região. Encontram-se deformados segundo o mesmo padrão tectônico observado no biotita gnaisse que os contém e por isto foram considerados como penecontemporâneos com a formação/deformação do conjunto gnáissico. Os veios pegmatóides são constituídos por uma associação quartzo-feldspática, em que este último varia ora entre termos mais ricos em Na (albita), ora entre termos mais ricos em K (ortoclásio). Por vezes, observam-se pequenos cristais de turmalina preta.

#### 4.1.2 – Granitos e corpos de pegmatito

Os corpos graníticos da região de Mavuco são constituídos pelos maciços que formam os montes Iuluti e Muli.

Os granitos que constituem os acidentes geográficos Muli e Iuluti são formados por quartzo, feldspato (com termos variáveis entre K e Na), biotita, hornblenda, muscovita (pouca a rara) e óxidos não-determinados. Ambos são equigranulares, diferindo-se com relação à textura: no Monte Muli, a textura é média, ao passo que no Monte Iuluti é variável de fina a média. Texturas mais finas no “Granito Iuluti” restringem-se às porções associadas com os veios pegmatíticos, ocorrendo em zonas localizadas. Nos dois extremos da área os plútons são isótipos, não-deformados e pouco fraturados.

Diversos corpos de pegmatito (*sensu strictu*) ocorrem na região. São compostos por microclínio, quartzo, muscovita, schorl-elbaíta, almandina-espessartita e albita sob a forma de pertita, formando uma massa homogênea, maciça e pouco alterada por intemperismo. Alguns pegmatitos apresentam corpos de substituição e/ou cristalização tardia com albita tipo clevelandita, evidenciando pegmatitos mais evoluídos, correspondendo aos depósitos primários de turmalina (Fig. 2).

Em geral, os pegmatitos encontram-se deformados segundo a direção geral do cisalhamento regional.

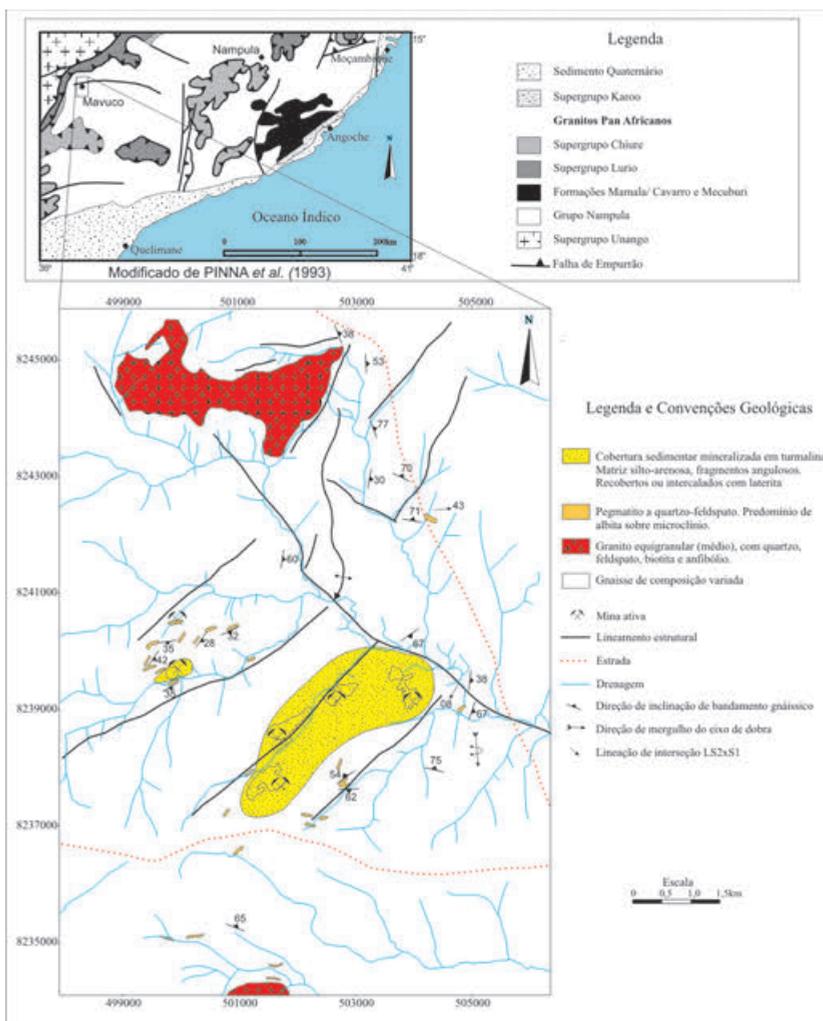


Fig. 1 – Mapa geológico do distrito turmalínífero de Mavuco.



Figura 2 – A) pegmatito formado por microclínio, quartzo, muscovita e schorl com 12 cm segundo o eixo c; B) turmalinas gemológicas variedade rubelita. Gemas com cor natural.

### 4.1.3 – Sedimentos fanerozóicos

Os sedimentos inconsolidados apresentam variações locais que dificultam o estabelecimento de uma coluna estratigráfica única para a região do Distrito Turmalinífero de Mavuco. Contudo, as escavações abertas pelos trabalhos garimpeiros e trincheiras abertas para auxílio à prospecção constituem as melhores exposições para o estabelecimento da pilha litoestratigráfica fanerozoica. Baseando-se nestes perfis, três unidades maiores foram individualizadas.

A unidade basal é heterogeneamente formada por uma sequência silto-arenosa intercalada por um nível descontínuo de material rudítico, caracterizado por fragmentos angulosos de quartzo e turmalina preta, sustentados por uma matriz também silto-arenosa. A unidade basal constitui a camada-alvo dos trabalhos garimpeiros, estando mineralizada em “turmalina Paraíba”. As espessuras do nível rudítico são extremamente variáveis, apresentando dimensão média em torno de 0,68 cm. A turmalina gemológica ocorre como seixos variando de 1 cm a 5 cm, raramente podendo atingir 12 cm segundo o eixo maior. Apresentam forma arredondada a subarredondada, raramente preservando as faces cristalográficas.

A unidade intermediária é formada por uma carapaça maciça de laterita. A matriz é formada por hidróxido de ferro compacto, encerrando fragmentos de quartzo, turmalina preta e muscovita. Os fragmentos apresentam variações quanto ao tamanho e grau de arredondamento. Gradam desde seixos até grânulos, bem como apresentam desde arestas vivas e faces preservadas, até grãos subarredondados com perda significativa das características cristalográficas originais.

Importante salientar que o nível intermediário – laterítico – encontra-se amplamente exposto em todas as áreas garimpadas, não somente na forma de uma carapaça laterítica, mas também, e principalmente, como material residual pisolítico transportado, localmente reconcentrado e compactado. Por vezes, repousa diretamente sobre a unidade basal, podendo estar separado por uma camada silto-arenosa. Observa-se granodrecrescência ascendente, interdigitando-se localmente com a camada de solo. A espessura é variável, atingindo valores máximos em torno de 2m.

O nível superior constitui o capeamento superficial, formado por solo residual recoberto por uma delgada camada silto-arenosa com material orgânico. Ao exemplo da unidade intermediária, a espessura deste nível também é variável, gradando entre 1 a 2m. A camada de solo orgânico não ultrapassa os 50cm de espessura.

## 4.2 – Geologia estrutural

O acervo estrutural da região de Mavuco é representado por um amplo acervo de elementos tectônicos observáveis em diferentes escalas (bandamento gnáissico  $S_b$ , foliação plano axial de dobras de escala de afloramento  $S_{n+1}$ , eixos de dobras  $E_b$ , clivagem espacada  $S_{n+2}$ , etc.). Três estruturas planares associam-se geneticamente aos eventos e/ou fases de deformação que atingiram a região, gerados em diferentes regimes de deformação e de níveis crustais. Superpõem-se mutuamente, com hierarquia dada pelas relações de corte entre as mesmas.

A principal estrutura planar (e mais antiga) é dada pelo bandamento metamórfico ( $S_b$ ) nos gnaisses que compõem o embasamento. Apresenta orientação bastante variável,

gradando desde N60E/67SE a N60W/47NE. Em termos gerais, a tendência estrutural da parte setentrional da área, onde ocorre a maior incidência de afloramentos, orienta-se aproximadamente segundo o meridiano, com mergulhos moderados para E-SE.

Ao bandamento metamórfico  $S_b$ , superpõe-se uma foliação  $S_{n+1}$ , de carácter dúctil e plano axial de dobras mesoscópicas fechadas, apertadas a isoclinais, com espessamento da charneira. Apresenta-se paralela a sub-paralela a  $S_b$ , com eixos mergulhando suavemente para sul. Ocorrem notadamente tanto nos biotita-gnaisses encaixantes quanto nos veios pegmatoides sin-deformacionais. Segundo a classificação de dobras de RAGAN (1985), tratam-se, em sua maioria, de dobras horizontais inclinadas a dobras inclinadas com caimento do eixo. Na parte central da região compreendida entre os maciços graníticos Muli e Iuluti, estes dobramentos apresentam padrão em “M”, denotando zona de charneira de dobra regional.

A estrutura planar mais nova é dada por uma clivagem espacada  $S_{n+2}$ , de natureza frágil-dúctil. Orienta-se aproximadamente segundo N85W a N62W, com mergulhos altos para NE. A lineação de intersecção  $LS_2 \times S_1$  mergulha para E-SE.

Os corpos pegmatíticos mapeados possuem uma orientação preferencial, dada pela disposição incipiente dos cristais euédricos de albita e pela orientação tênue da matriz quartzo-feldspato-mica. Orientam-se segundo N45-60W, com mergulhos sub-verticalizados.

Observam-se grandes lineamentos estruturais ao longo dos quais estão encaixados os principais sistemas de drenagens da região. Lineamentos de direcção N20-30E, localizados na porção NE da área, possivelmente marcam parte destas estruturas, infletindo segundo N40-60E no segmento meridional da região. O Rio Uriatego e outras drenagens de 2ª ordem orientam-se segundo N75-45W, interceptando o primeiro sistema e definindo uma ordem de hierarquia destas estruturas.

## 5 – Considerações sobre a evolução geológica

A integração dos dados permite inferir, preliminarmente, algumas considerações sobre a evolução tectono-estratigráfica da região do Projeto Mavuco.

O embasamento gnaissico é composto tanto por protólitos ígneos (biotita-gnaisse), quanto por rochas paraderivadas, metamorfisados na facies anfíbolito baixo a médio (idades metamórficas entre 540-490 Ma).

A estruturação do embasamento é dada por uma dobra regional anticlinória, assimétrica, vergente para oeste, com flanco longo horizontal a sub-horizontal (flanco leste), e caimento suave do eixo para sul. A foliação  $S_{n+1}$  é plano axial deste dobramento, superpondo-se ao bandamento metamórfico  $S_b$ , mais antigo. Ambas estruturas –  $S_b$  e  $S_{n+1}$  - possivelmente representam estágios distintos de deformação, em condições dúcteis, durante um mesmo evento tectónico de carácter progressivo. O traço da superfície axial é aproximadamente N-S, com mergulhos moderados para E-SE. A direcção e o mergulho de  $S_b$  e  $S_{n+1}$  apresentam variações locais. Este evento foi responsável por uma primeira geração de veios pegmatoides hospedados em parte dos biotita-gnaisses. Estes veios, foram submetidos a deformação posterior, sendo dobrados durante a fase de geração da estrutura  $S_{n+1}$ .

A formação da estrutura  $S_{n+2}$  se deu em níveis crustais mais rasos, em condições dúctil-frágil a frágil. O traço axial é próximo a E-W, com mergulhos altos para N-NE. A este evento de granitogénese relacionam-se os corpos graníticos e pegmatíticos da

região. A grande estrutura anticlinória que molda o embasamento propiciou o *emplacement* de parte dos plútons graníticos ao longo das zonas de charneiras N-S.

De forma análoga, a estrutura  $S_{n+2}$ , sin-genética com a intrusão dos granitos, também teve papel relevante na disposição dos corpos graníticos, ao exemplo da orientação do Monte Iuluti, coincidente com a direção da clivagem espaçada. A orientação tênue dos corpos pegmatíticos, ao que parece, foi gerada por fluxo magmático ao longo das estruturas herdadas do embasamento (N30-40E).

A evolução fanerozoica foi condicionada por fatores estruturais e climáticos. A unidade basal – camada mineralizada em turmalinas coloridas e alvo de exploração – representa a exposição, intemperismo, desagregação e transporte de parte dos corpos pegmatíticos da região de Mavuco. O transporte é considerado incipiente.

### Referências Bibliográficas

- BREEDING, C. M.; ROCKWELL, K. & LAURS, B. M. (2007) - Gem News International: New Cu-bearing tourmaline from Nigeria. *Gems and Gemology*, 43, p. 384-385.
- CORREIA NEVES, J. M. & LOPES NUNES, J. E. (1966) - Geochemistry of the Pegmatitic Field of Alto-Ligonha (Mozambique-PEA) I. Distribution of K, Rb, Ca and Sr in Feldspars and their geochemical significance. *Revista dos Estudos Gerais Universitários de Moçambique*, 3, p. 1-30.
- CORREIA NEVES, J. M. & COTELO NEIVA, J. M. (1960) - Pegmatites of Alto-Ligonha (Mozambique-Portuguese East Africa). In: *International Geological Congress*, 21, 1960. Copenhagen. Anais... Copenhagen: DGF, p. 53-62.
- CORREIA NEVES, J. M., LOPES NUNES, J. E. & LUCAS, D. B. (1972) - Mineralogy and Structure of some pegmatites from Mozambique (P.E.A.). *Revista da Faculdade de Ciências de Lisboa*, 17, p. 109-118.
- KNORRING, O. von, SAHAMA, T. H. G. & SAARI, E.L. (1964) - A note on euclase from Muiane mine, Alto Ligonha, Mozambique. *Bull. Comm. Géol. Finlande*, 215, p. 143-145.
- KOIVULA, J.I. & KAMMERLING, R.C. (1989) - Gem News: Unusual tourmalines from Brazil. *Gems and Gemology*, 25, p.181-182.
- LAURS, B. M., ZWAAN, J.C., BREEDING, C. M., SIMMONS, W.B., BEATON, D., RIJSDIJK, K. F., BEFI, R. e FALSTER, A. U. (2008) – Copper-bearing (Paraíba-Type) tourmaline from Mozambique. *Gems and Gemology*, 44, p. 4-30.
- PINNA, P.; MARTEAU, P.; BECQ-GIRAUD, J. F. & MANIGAULT, B. (1987) - Notícia Explicativa da Carta Geológica de Moçambique na Escala 1:1.000.000. Instituto Nacional de Geologia. Maputo. 45p. Inédito.
- PINNA, P.; JOURDE, G.; CALVEZ, J. Y.; MROZ, J. M. & MARQUES, J.M. (1993) - The Mozambique Belt in northern Mozambique: Neoproterozoic (1100–850 Ma) crustal growth and tectogenesis, and superimposed Pan-African (800–550 Ma) tectonism. *Precambrian Research*, 62,p.1-59.
- PINNA, P. (1995) - On the dual nature of the Mozambique Belt, Mozambique to Kenya. *Journal of African Earth Sciences*, 21, p. 477-480.
- RAGAN, D. M. (1985) - Structural Geology: an introduction to geometrical techniques. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 207 p.
- ROSSMAN, G. R.; FRITSCH, E.; J. E. & SHIGLEY. (1991) - Origin of color in cuprian elbaite from São José da Batalha, Paraíba, Brazil. *American Mineralogist*, 76, p.1479-1484.
- SMITH, C. P.; BOSSHART, G. & SCHWARTZ, D. (2001) - Gem News International: Nigeria as a new source of cooper-manganese-bearing tourmaline. *Gems and Gemology*, 37, p.239-240.
- WILSON, W. E. (2002) - Cuprian elbaite from the Batalha mine, Paraíba, Brazil. *Mineralogical Record*, v.33, n.2, p. 127-137.

(Página deixada propositadamente em branco)

## FATORES CONDICIONANTES DA EXPLORAÇÃO DE GRANITO ORNAMENTAL. O EXEMPLO DOS GRANITOS METEORIZADOS DA REGIÃO DE VILA REAL

### CONDITIONING FACTORS IN ORNAMENTAL GRANITE EXPLOITATION. THE EXAMPLE OF THE WHEATERED GRANITES FROM VILA REAL REGION

L. M. O. Sousa<sup>1</sup>, A. S. Oliveira<sup>2</sup>, J. M. M. Lourenço<sup>1</sup> & I. M. C. Capela<sup>3</sup>

**Resumo** – A exploração de rochas ornamentais é condicionada por muitos e variados fatores, uns relacionados com as características do material e outros relacionados com as condicionantes impostas pelas normas de ordenamento do território. Neste trabalho enumeram-se as principais condicionantes que limitam a exploração de dois granitos muito importantes da região de Vila Real (norte de Portugal), o granito Amarelo Real e o granito de Mondim de Basto. Trata-se de dois granitos muito meteorizados, incluídos nos designados granitos amarelos, cuja exploração apresenta muitas limitações, sobretudo relacionadas com o grau de fracturação e com o ordenamento do território. O granito de Mondim de Basto apresenta-se mais fraturado e as pedreiras têm menor rendimento.

**Palavras-chave** – granito amarelo, exploração, fatores condicionantes, Vila Real

*Abstract* – *The exploitation of ornamental rocks is conditioned by several and different factors. Some of these factors are related with the material characteristics and others with the limitations arising from land-use planning rules. In this work are listed the main limitations to the exploration of two important granites from the Vila Real region (north of Portugal):*

---

<sup>1</sup> Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, 5001-801 Vila Real; Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Lg<sup>o</sup> Marquês de Pombal 3000-272 Coimbra, Portugal; lsousa@utad.pt; martinho@utad.pt

<sup>2</sup> Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, 5001-801 Vila Real; de Geofísica da Universidade de Coimbra, Av. Dr. Dias da Silva, 3000-134 Coimbra, Portugal; soliveir@utad.pt

<sup>3</sup> Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, 5001-801 Vila Real; irenecapela@gmail.com

*Amarelo Real and Mondim de Basto granites. They are weathered granites, from the yellow group, whose exploitation is limited by the fracturing and land-use planning. The fracturing is higher in the Mondim de Basto granite and the quarries have lower yield.*

510

**Keywords** – yellow granite, exploitation, conditioning factors, Vila Real

## 1 – Introdução

As rochas utilizadas para fim ornamental devem possuir elevados padrões de qualidade de modo a que o seu comportamento em obra seja o expectável em todas as situações ambientais. Numa campanha de prospeção para a seleção dos melhores locais para a extração devem ser considerados vários fatores, tais como a composição mineralógica, textura, estrutura, grau de fraturação, espessura do material de cobertura sem interesse comercial, propriedades físico-mecânicas, impacte ambiental e ordenamento do território (CARVALHO *et al.*, 2008; FORT *et al.*, 2010; SOUSA, 2010). Estes fatores podem ser agrupados em três grandes grupos, um relativo à rocha, outro ao afloramento e um outro relacionado com os fatores de explorabilidade (Tabela 1). Os dois primeiros grupos englobam fatores intrínsecos ao material e não são suscetíveis de alteração ao longo do tempo, enquanto os fatores de explorabilidade podem ser modificados, facilitando ou dificultando a atividade extrativa. Em última análise são os fatores de explorabilidade que ditam a possibilidade de instalar uma unidade extrativa, pois de nada valerá ter uma rocha com boas características estéticas se a sua exploração for interdita, por exemplo, por questões de ordenamento de território.

Tabela 1 - Exemplos de fatores que condicionam a exploração de rochas ornamentais.

Material	Afloramento	Explorabilidade
Mineralogia	Localização	Aceitação pelo mercado
Textura	Morfologia	Distância aos centros de consumo
Heterogeneidade (cor, textura)	Terrenos de cobertura	Infra-estruturas industriais
Meteorização	Estrutura (estratos, dobras)	Ordenamento do território
Propriedades físicas	Variação de fácies	Impactes ambientais
Propriedades mecânicas	Fraturação (tipo, densidade)	
	Volume disponível	

A procura de uma rocha, variável ao longo do tempo, é determinada pela valorização dada às suas características texturais e à sua cor. Nas últimas duas décadas tem aumentado a procura de granitos com cores “quentes”, como aqueles muito meteorizados, designados de amarelos, em detrimento dos granitos esbranquiçados, cinzentos e cinzentos azulados. Como consequência verificou-se um grande crescimento do número de unidades extrativas naquela tipologia de granitos. As condições geológicas e de exploração inerentes aos granitos meteorizados, especialmente a espessura de meteorização, elevada fraturação e baixa taxa de recuperação, obrigam a que as pedreiras ocupem grandes áreas. Estes dois factos, aumento do número de pedreiras e ocupação de grandes áreas do território, têm originado muitas situações de conflito com as demais valências do território.



Neste trabalho apresentam-se os casos de dois granitos amarelos da região de Vila Real (norte de Portugal), o granito Amarelo Real (designação comercial) e o granito de Mondim de Basto, que constituem importantes polos de desenvolvimento regional devido à importância das atividades económicas a eles ligadas. Para cada um dos granitos referem-se os principais fatores condicionantes do seu aproveitamento como rocha ornamental e as ações que visam o ordenamento das zonas de exploração.

## 2 – Granitos estudados

Os granitos abordados neste trabalho, Amarelo Real e Mondim de Basto, localizam-se no norte de Portugal e constituem maciços relativamente circunscritos (Fig. 1). As explorações do granito de Mondim de Basto localizam-se cerca de 2 km a nordeste de Mondim de Basto, no sopé do Monte Farinha. As explorações do granito Amarelo Real localizam-se na serra da Falperra, cerca de 10 km a nordeste de Vila Real.

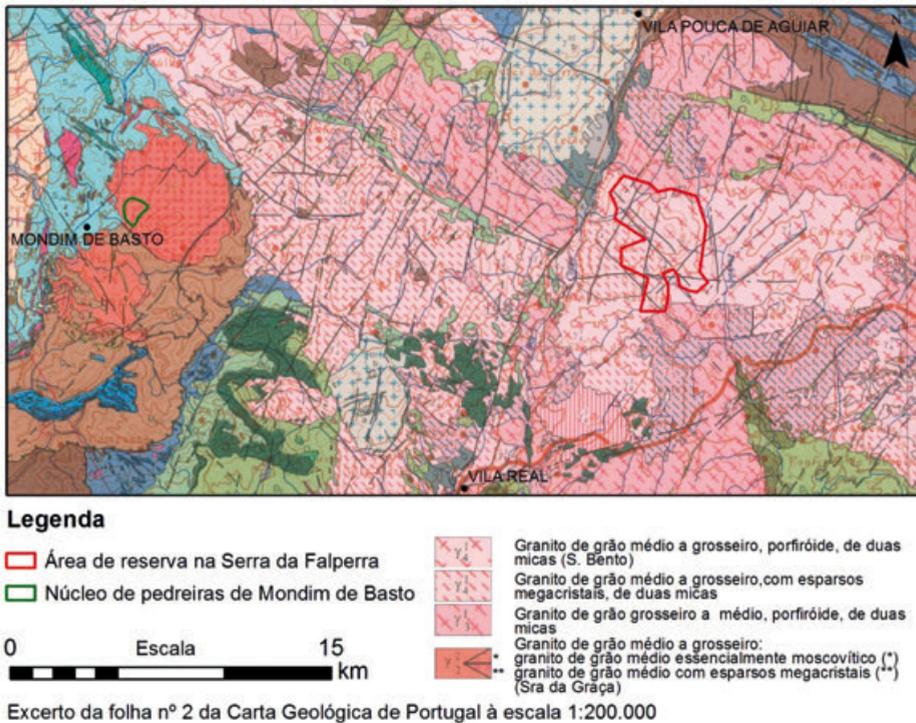


Fig.1 - Localização dos granitos estudados.

O granito de Mondim de Basto é um granito de duas micas, de granularidade média, por vezes com megacristais de feldspato, com foliação aproximada NW-SE. Como minerais principais, apresenta quartzo, microclina-perthite, microclina sódica, moscovite e biotite, (PEREIRA, 1987). As pedreiras, de pequena dimensão, têm como condição

necessária à sua viabilidade o aproveitamento dos fragmentos de pequena dimensão para obtenção de peças fendidas e serradas, pois são raras as grandes massas que possibilitem a extração de blocos de primeira qualidade para transformação em engenho. O número de pedreiras ativas ascende a vinte e duas, mas apenas três possuem a respetiva licença de exploração.

O granito Amarelo Real possui grão médio ou médio a grosseiro, é de duas micas, com predominância da moscovite, e tem leve tendência porfiroide. A composição mineralógica modal é a seguinte: quartzo (35,8%), feldspato potássico (23,6%), plagioclase (29,3%), biotite (3,3%), moscovite (7,9%) e apatite (0,1%), que o classifica como monzogranito (SOUSA, 2007). As pedreiras têm, de um modo geral dimensão elevada, próximo de 5 ha, e nelas é possível obter blocos de grande volume para a indústria transformadora, sendo este o principal produto obtido. Atualmente as pedreiras ativas são cerca de quinze, todas elas licenciadas, embora a diminuição da procura tenha causado o encerramento temporário de muitas unidades e a diminuição do volume extraído.

### 3 – Fatores condicionantes

Nesta secção apresentam-se apenas os fatores identificados como os mais limitativos para a exploração dos granitos amarelos: as heterogeneidades cromáticas, a fraturação e o ordenamento do território.

#### 3.1 – Heterogeneidades

O valor comercial destes granitos, e de todos aqueles com coloração similar, advém da sua tonalidade e, como tal, a existência de grandes massas com coloração homogénea é uma condição necessária ao sucesso das pedreiras. Em ambos os granitos são frequentes heterogeneidades cromáticas associadas a zonas de fratura que condicionaram a intensidade de meteorização (Fig. 2). A variação brusca do estado de meteorização, e conseqüentemente da cor da rocha, limita a obtenção de blocos com coloração homogénea e diminui o respetivo valor comercial, pois estes blocos não serão utilizados para produção de chapa polida. Como a meteorização é mais intensa nos níveis superiores do maciço, a extração em profundidade é inviabilizada pelo aspeto cada vez mais são do granito, embora esta profundidade varie de local para local em função do padrão da fraturação. Uma consequência imediata deste facto é a necessidade de realizar a extração destes granitos em grandes áreas e, de um modo geral, todas as grandes pedreiras apresentam uma extensão areal assinalável, frequentemente superior a 5 ha.



Fig. 2 - Algumas heterogeneidades que são comuns aos dois granitos estudados  
(esquerda: variação cromática;  
direita: *schlieren* biotítico).

Outras heterogeneidades relacionadas com a presença de nódulos e veios biotíticos (Fig 2), variações granulométricas e filões de constituição variada não são muito penalizantes, dada a sua baixa frequência e localização pontual, quando comparadas com a variação de cor.

### 3.2 – Fraturação

A fraturação dos maciços revela-se como sendo o fator mais limitante para uma exploração economicamente rentável deste granitos, pois determina o tamanho e forma dos blocos que podem ser extraídos.

No granito Amarelo Real os lineamentos observados em fotografia aérea têm a direção preferencial N30°-60°W, ocorrendo ainda lineamentos de menor expressão com as direções N20°-40°E e N70°-90°E. No granito de Mondim de Basto é possível identificar as famílias N-S, com maior representatividade no sector este da área, as famílias N20°-30°E e N50°-60°E, que consistem num conjunto de fraturas extensas, e a família N70°-80°W, mais frequente a noroeste do Monte Farinha (Fig. 3).

Os estudos da fraturação realizados nos vários locais explorados permitiram determinar as principais famílias de diaclases, a respetiva orientação e espaçamento médio. De um modo geral há uma estreita relação entre a fraturação regional e o diaclasamento local, com variações pontuais em alguns locais. No granito Amarelo Real verifica-se o predomínio de duas famílias de diaclases, uma mais marcada (N30°-50°W) e outra mais ampla mas de maior importância relativa (N20°-60°E) (Fig. 4). No granito de Mondim de Basto também se verifica a presença de duas famílias predominantes (N-S e E-W), mas em todas as direções há um número significativo de diaclases (Fig. 4). Da análise comparativa poderemos afirmar que no conjunto das explorações do granito de Mondim de Basto as diaclases apresentam uma maior variabilidade direcional, facto que penaliza a obtenção de blocos com forma cúbica ou paralelepípedica. Nas pedreiras do granito Amarelo Real é mais comum a existência de uma ou duas famílias de diaclases.

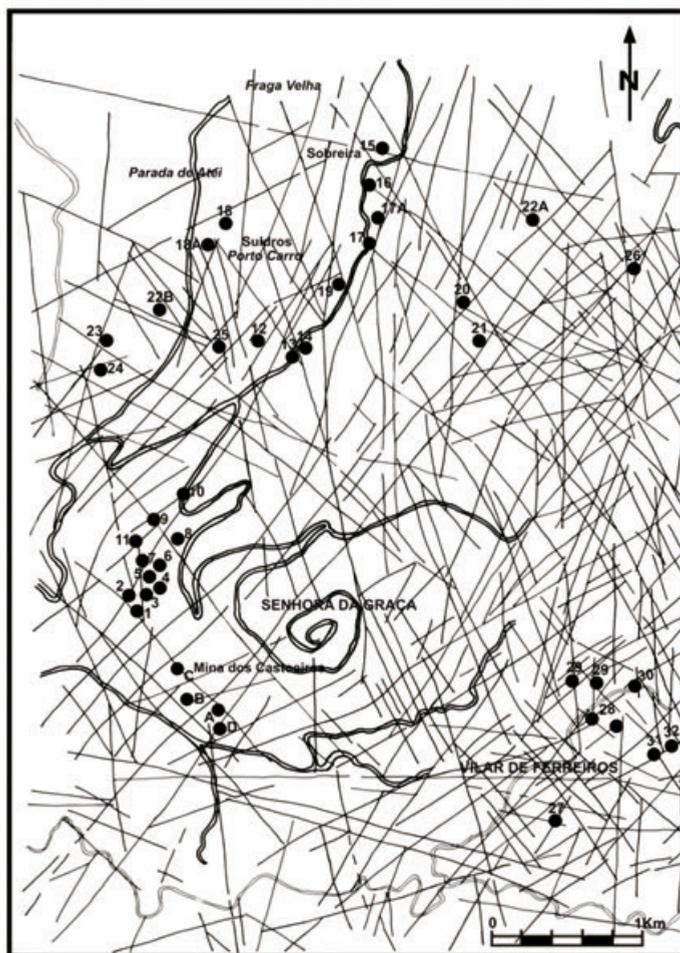


Fig. 3 - Lineamentos observados na fotografia aérea da região do Monte Farinha (os pontos assinalados dizem respeito aos locais onde se procedeu a estudos de diaclasamento) (adaptado de ALVES, 2010).

O espaçamento médio, associado ao número de famílias de diaclases, pode dar uma indicação do grau de fraturação do maciço. Os valores obtidos para este parâmetro são influenciados pela tipologia de locais escolhidos para a obtenção de dados: locais de extração, selecionados aleatoriamente ou selecionados de acordo com algumas condicionantes. Para o granito Amarelo Real foram obtidos, em três estudos diferentes, valores do espaçamento médio de 1,0 m, 1,3 m e 1,5 m (SOUSA, 2007). Nos locais de exploração do granito de Mondim de Basto foi obtido um valor de 0,8m, ligeiramente inferior ao valor obtido em circunstâncias idênticas no granito Amarelo Real (1,0 m). Estes valores são muito baixos e indicam-nos que a quantidade de material sem aproveitamento comercial é elevada. A gestão desta quantidade de escombros, que acarreta uma elevada despesa, é inerente às explorações deste tipo de granitos. Este facto, aliado à evolução em extensão das pedreiras, é causa de importantes impactes visuais em muitas das situações.

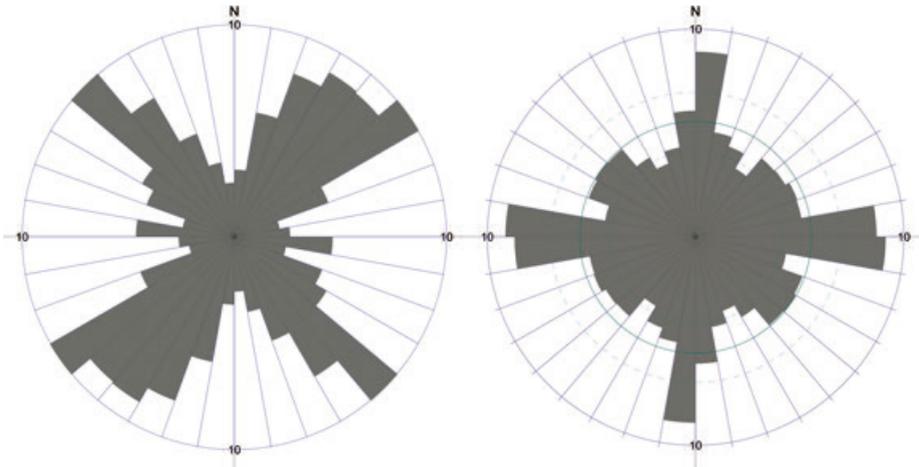


Fig. 4 - Diagramas de rosetas do diaclasamento nos locais de exploração (esquerda: granito Amarelo Real; direita: granito de Mondim de Basto).

Da análise conjunta dos dados relativos à fraturação, é nítida a situação mais desfavorável no granito de Mondim de Basto. Nas explorações deste granito verifica-se uma maior variabilidade da direção do diaclasamento, ou seja maior número de famílias de diaclases, e também um menor espaçamento médio dessas mesmas diaclases. Estes factos justificam o baixo rendimento das pedreiras do granito de Mondim de Basto e a necessidade de se proceder ao aproveitamento dos blocos irregulares para produtos de cantaria.

### 3.3 – Ordenamento do território

A localização geográfica dos recursos geológicos resulta estritamente dos acontecimentos geológicos e não poder ser modificada. Destes factos poderão surgir conflitos de interesses quando as diferentes valências de um mesmo território forem incompatíveis. Os planos de ordenamento do território, salvo raras exceções, não consideram a informação relativa aos recursos geológicos, originando conflitos pela dificuldade em licenciar a sua exploração. A situação destes dois granitos é muito diferente no que respeita às consequências do ordenamento do território.

A área de exploração do granito Amarelo Real está enquadrada numa zona de reserva (Fig. 5), a *Área de Reserva na serra da Falperra* (Decreto Regulamentar nº6/2009, de 2 de abril). Esta área de reserva é o reconhecimento da importância económica e social das atividades extrativa e transformadora associadas a este granito, e a sua definição teve consequências benéficas para o ordenamento da exploração. Todas as pedreiras em atividade possuem licença de exploração e há uma maior e melhor fiscalização.

A área de extração do granito de Mondim de Basto, devido à sua localização numa zona emblemática, o Monte Farinha, e a diversos constrangimentos de ordenamento do território, nomeadamente a Reserva Ecológica e a Rede Natura 2000, apresenta uma difícil sustentabilidade a longo prazo. O processo de licenciamento das pedreiras foi

iniciado há já alguns anos e até à data apenas em três casos foi concluído com êxito. Os promotores foram obrigados a licenciar as áreas possíveis, aquelas onde o Plano Diretor Municipal permitia a instalação de pedreiras, e não aquelas que seriam necessárias ao desenvolvimento normal da atividade extrativa (Fig. 6).

516

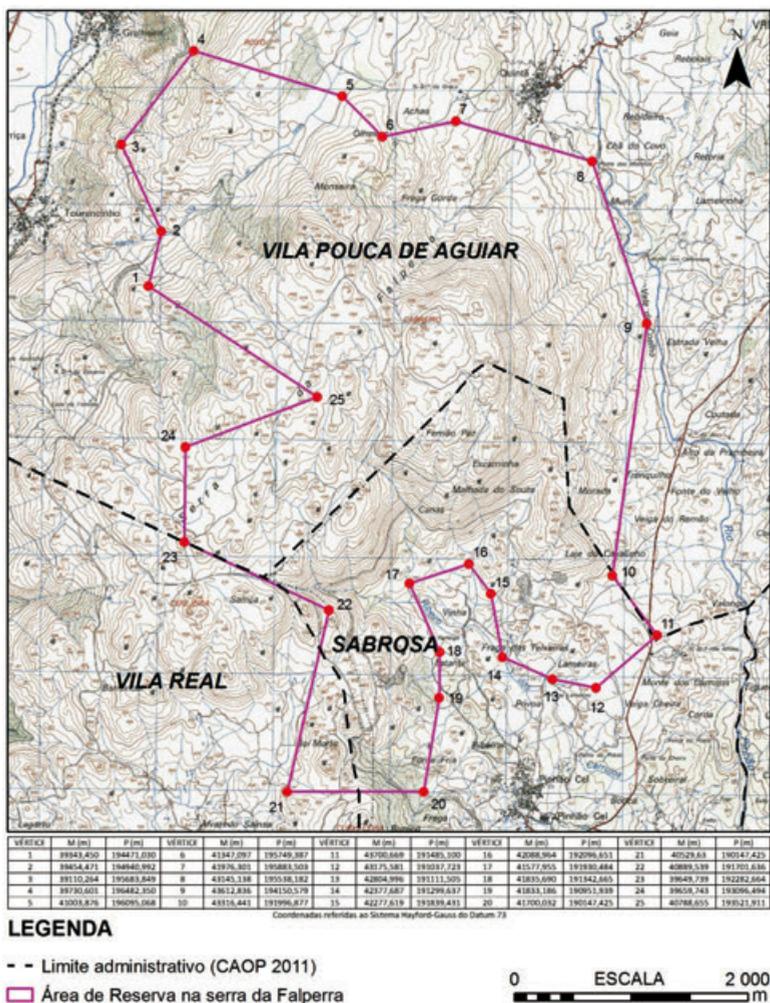


Fig. 5 - Poligonal da Área de Reserva na serra da Falperra (excerto das folhas n<sup>os</sup> 88 e 102 da Carta Militar de Portugal, Série M888; Limites administrativos publicados na Carta Administrativa Oficial de Portugal (IGP, 2011)).

Como atrás foi referido, a extração deste tipo de granitos, necessita de grandes áreas para obstar à pouca profundidade útil do depósito e à elevada percentagem de escombros resultantes. Assim, caso não haja modificação da atual situação será difícil licenciar pedreiras com dimensão suficiente que assegure a sua viabilidade futura, contribuindo-se assim para a manutenção de situações dúbias sob o posto de vista legal.

#### 4 – Considerações finais

Os granitos estudados apresentam características típicas dos designados granitos amarelos, nomeadamente elevada meteorização que lhe confere uma coloração muito variável em função da ação local dos agentes meteóricos. A densidade de fraturação é muito elevada em ambos os granitos, mas o espaçamento médio é maior no granito Amarelo Real (1,0 m) do que no granito de Mondim de Basto (0,8 m). A diminuição da intensidade de meteorização em profundidade e a baixa taxa de recuperação levam à necessidade de ocupação de grandes áreas de extração de modo a permitir uma exploração economicamente rentável. As condicionantes ditadas pelo ordenamento do território estão a limitar a exploração deste recurso na região de Mondim de Basto, com prejuízos pela não extração e pelos impactes ambientais resultantes que não são cabalmente controlados.

517

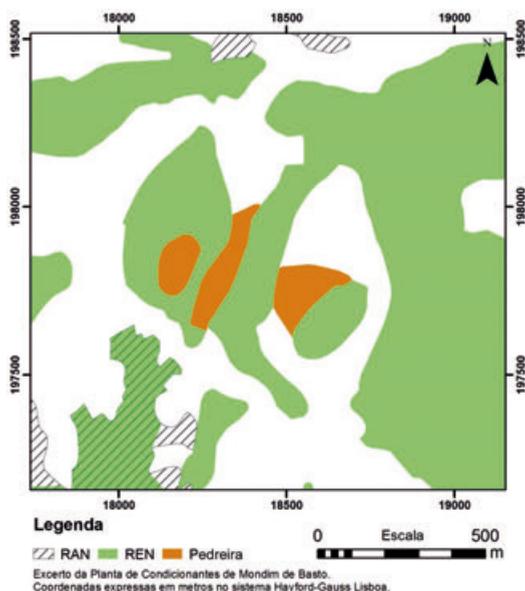


Fig. 6 - As áreas propostas para licenciamento de pedreiras são limitadas pelas condicionantes do PDM local, neste caso pelas áreas de Reserva Ecológica.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro do Centro de Geociências e do Centro de Geofísica, da Universidade de Coimbra.

#### Referências Bibliográficas

- ALVES, I. M. C. (2010) - Exploração de granito em Mondim de Basto: caracterização e potencialidades didáticas. Tese de Mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- CARVALHO, J. F., HENRIQUES, P., FALÉ, P. & LUÍS, G. (2008) - Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45(8), p.1306-1319.

DECRETO REGULAMENTAR nº6/2009. Diário da República, 1.ª série, N.º 65, 2 de Abril de 2009, pp. 2050-2052.

FORT, R., BUERGO, M. A., PEREZ-MONSERRAT, E. & VARAS, M. J. (2010) - Characterisation of monzogranitic batholiths as a supply source for heritage construction in the northwest of Madrid. *Engineering Geology*, 115(3-4), p. 149-157.

INSTITUTO GEOGRÁFICO PORTUGÊS (2011) - Carta Administrativa Oficial de Portugal. <http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/caop/inicial.htm> (consultado em 2012.01.15)

PEREIRA, E. (1987) - Estudo geológico-estrutural da região de Celorico de Basto e a sua interpretação geodinâmica. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

SOUSA, L.M.O. (2007) - Granito Amarelo Real: características gerais e contribuição para o ordenamento da exploração na serra da Falperra. *Boletim de Minas*, 41(2), p. 161-174.

SOUSA, L.M.O. (2010) - Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension stone exploitation. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43, p. 85-94.



## ANEXOS

(Página deixada propositadamente em branco)

## REVISÃO CIENTÍFICA

### Coordenação

Rui Pena dos Reis – Portugal  
Mário Quinta Ferreira – Portugal  
Maria Teresa Barata – Portugal

### Membros

Adriane Machado – Brasil  
Adriano Viana – Brasil  
Alberto Caselli – Argentina  
Alethea Ernandes Martins Sallun – Brasil  
Amadeu dos Muchangos – Moçambique  
Ana Aguiar Castilho – Portugal  
Ana Isabel Andrade – Portugal  
Ana Maria Muratori – Brasil  
Ana Rodrigo Sanz – Espanha  
André Buta Neto – Angola  
Angel Corrochano Sanchez – Espanha  
António Filipe Lobo de Pina – Cabo Verde  
António Almeida Saraiva – Portugal  
Artur Sá – Portugal  
Bernard Legall – França  
Carlos Augusto Sommer – Brasil  
Celeste Gomes – Portugal  
Christian Seyve – Angola  
Duncan Alistair Lockhart – Portugal  
Edison Archela – Brasil  
Eduardo Ivo Alves – Portugal  
Eduardo Morais – Angola  
Elisa Preto Gomes – Portugal  
Elonio Muiuane – Moçambique  
Elsa Gomes – Portugal  
Evandro F. de Lima – Brasil  
Fernando Augusto Coimbra – Portugal  
Fernando Carlos Lopes – Portugal  
Fernando Pita – Portugal  
Fernando Rull – Espanha  
Flávia Fernanda Lima – Brasil  
Francisco Idalécio de Freitas – Brasil  
Francisco Jose Correa Martins – Brasil  
Francisco S. Bernardes Ladeira – Brasil  
Francisco Vieira – Moçambique  
Fredy Leon – Argentina  
Gabriel Luis Miguel – Angola  
George Nash – Inglaterra  
Gilmar Bueno – Brasil  
Giorgio Basilici – Brasil  
Graciela Sarmento – Espanha  
Guy Martini – França  
Hélio Casimiro Guterres – Timor Leste  
Howard R. Feldman – EUA  
Isabel Margarida Antunes – Portugal  
Ismar Souza Carvalho – Brasil  
João Cabral – Portugal  
João Pratas – Portugal  
José António Lopes Velho – Portugal  
José Brilha – Portugal  
José Luiz de Morais – Brasil  
José Manuel Azevedo – Portugal  
Juan Gutiérrez-Marco – Espanha  
Jussara Alves Pinheiro Sommer – Brasil  
Kátia Mansur – Brasil  
Keynesménio Neto – R. São Tomé e Príncipe  
Lopo Vasconcelos – Moçambique  
Luís Alcalá – Espanha  
Luis Carcavilla – Espanha  
Luis Gonzalez Vallejo – Espanha  
Luis Oosterbeek – Portugal  
Luís P. Teixeira – R. São Tomé e Príncipe

Luís Sousa – Portugal  
 Luiz Eduardo Travassos – Brasil  
 Margarida Ventura – Angola  
 Maria Amélia Calonge García – Espanha  
 Maria Dolores Pereira – Espanha  
 Maria Helena Henriques – Portugal  
 María Luisa Canales – Espanha  
 Maria Manuela da V. G. Silva – Portugal  
 Mena Schemm-Gregory – Alemanha  
 Monica Heilbron – Brasil  
 Mussa Achino – Moçambique  
 Narendra Srivastava – Brasil  
 Nei Ahrens Haag – Brasil  
 Nuno Pimentel – Portugal  
 Paolo Mozzi – Itália  
 Paulo Cesar Rocha – Brasil  
 Pedro Santarém Andrade – Portugal

Pierluigi Rosina – Portugal  
 Ramon Salas – Espanha  
 Ramon Vegas – Espanha  
 Reginaldo Assêncio Machado – Brasil  
 Ricardo Scholz – Brasil  
 Rosemeri Melo e Souza – Brasil  
 Rubem Porto Jr. – Brasil  
 Rudy Ferreira – Brasil  
 Santiago Alija – Espanha  
 Sónia Victória – Cabo Verde  
 Tatiana Tavares Silva – Angola  
 Teresa Monteiro Seixas – Portugal  
 Tibor Stigter – Holanda  
 Tomás Campos – Brasil  
 Valéria G. Silvestre Rodrigues – Brasil  
 Vera Alfama – Cabo Verde

### Instituições

Agência Nacional do Petróleo, Associação dos Geólogos em Angola, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Galpenergia, Geoparque Araripe, Geoparque Maestrazgo, Institut Universitaire Européen de la Mer, Instituto Geológico, Instituto Geológico y Minero de España, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Instituto Politécnico de Tomar, Laboratório Nacional de Geologia, Ministério das Obras Públicas e dos Recursos Naturais, Ministério do Ensino Superior e da Ciência e Tecnologia, Museum of Natural History New York, Partex, Petrobras, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Réserve Géologique de Haute-Provence, TOTAL EP, Universidad de Alcalá de Henares, Universidade Agostinho Neto, Universidade Complutense de Madrid, Universidade de Aveiro, Universidade de Barcelona, Universidade de Bristol, Universidade de Buenos Aires, Universidade de Cabo Verde, Universidade de Coimbra, Universidade de Lisboa, Universidade de Pádua, Universidade de Salamanca, Universidade de São Paulo, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Universidade de Valladolid, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade do Minho, Universidade do Porto, Universidade Eduardo Mondlane, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Estadual de Londrina, Universidade Estadual Paulista, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal de Ouro Preto, Universidade Federal de Sergipe, Universidade Federal do Acre, Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Universidade Luterana do Brasil, Universidade Privada de Angola e Universidade Técnica de Lisboa.

## PATROCÍNIOS E APOIOS

(Página deixada propositadamente em branco)

## PATROCÍNIOS

### PATROCÍNIO DIAMANTE



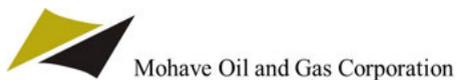
### PATROCÍNIO OURO



### PATROCÍNIO PRATA



### PATROCÍNIO AMETISTA

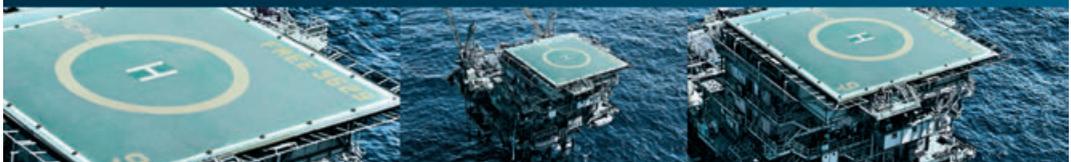




Para chegarmos até aqui, seguimos as normas de segurança mais rígidas



e as teorias mais revolucionárias.



Em mais de 50 anos de história e presente em 29 países, a Petrobras tornou-se uma das maiores empresas de energia do mundo. É líder na exploração e produção de petróleo em águas profundas e ultraprofundas e já está produzindo naquela que é a maior acumulação petrolífera da história do Brasil, o pré-sal. Para superar esse desafio, a Petrobras usa a mesma estratégia de sempre: pesquisa, tecnologia, investimento e segurança. Se o futuro é um desafio, a Petrobras está pronta.

[www.petrobras.com](http://www.petrobras.com)



O DESAFIO É A NOSSA ENERGIA



**5** **36**  
Sonangol

O nosso trabalho é fazer a sua vida melhor

A nossa missão é promover a sustentabilidade e o crescimento da indústria petrolífera nacional, de forma a garantir maior retorno para o Estado Angolano, assegurando a participação das empresas e dos quadros nacionais nas actividades da indústria e o benefício da Sociedade nos resultados gerados.

**Sonangol**  
PRODUIZIR PARA TRANSFORMAR

**DO SOL A SI**

Luz, calor e movimento. É isso a energia, desde que o Sol a liberta em estado bruto até ao ponto em que a consumimos na nossa vida. Nasce numa imensa bola de fogo e espalha-se na Terra, ao nosso redor. Aí vamos recolhê-la, tratá-la e levá-la até si nas mais diversas formas. É por estar em todas as fases do processo energético - a exploração, produção e distribuição - que a Galp Energia é o único Operador Integrado de Energia português. Afinal, tudo o que fazemos é levar o Sol até si.

a sua energia positiva  galp energia

(Página deixada propositadamente em branco)

## APOIOS INSTITUCIONAIS



DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA TERRA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



(Página deixada propositadamente em branco)

Série Documentos

Imprensa da Universidade de Coimbra

Coimbra University Press

2012

9 789892 605319

