

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA
Coordenação

A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 1 • GEOLOGIA DE ENGENHARIA



Coimbra • Imprensa da Universidade

ANÁLISE DE PROBLEMAS DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA EM ZONAS DIAPÍRICAS: OS CASOS DE BELO HORIZONTE, SANTA CLARA E MORRO DO LENA (LEIRIA)

CLÁUDIA AMADO ¹, ANABELA VEIGA ²,
MÁRIO QUINTA FERREIRA ³ e JOSÉ VELHO ⁴

PALAVRAS CHAVE: Geologia de engenharia, diapiros, ensaios, solos e rochas, fundações.

KEY WORDS: Engineering geology, salt domes, tests, rocks and soils, foundations.

RESUMO

As áreas de Belo Horizonte, Santa Clara e Morro do Lena constituem locais de expansão e de actual desenvolvimento urbano da cidade de Leiria. Encontram-se no limite W do diapiro de Leiria ocorrendo aí um conjunto de aspectos geológicos que as tornam como um caso de referência em Portugal, no que diz respeito aos problemas de geologia de engenharia numa zona diapírica. Estas três zonas apresentam uma assinalável diversidade geológica que torna bastante complexa a implantação de obras de engenharia civil. A associar à complexidade geológica, as áreas possuem uma topografia variável que torna o estudo de geologia de engenharia crítico para a resolução dos problemas existentes, nomeadamente: instabilidade de taludes; ocorrência de argilas expansivas; compartimentação por vezes densa, dos maciços, devido à presença de falhas e ainda nascentes de água. O trabalho identifica e analisa os principais factores de risco, de uma forma

¹ Mestranda em Minerais e Rochas Industriais, Universidade de Aveiro, Aveiro

² Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria, Leiria

³ Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Coimbra

⁴ Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro

integrada, reflectindo também sobre as características dos terrenos e as condicionantes para a definição do tipo de fundações a realizar.

ABSTRACT: Engineering Geology in diapiric zones: the case studies of Belo Horizonte, Santa Clara and Lena hill (Leiria)

Belo Horizonte, Santa Clara and Morro do Lena are new areas of urban expansion of Leiria town. Geologically, these areas are located in a diapiric structure, Leiria-Parceiros, characterized by a great geological diversity. The main goal of this research is to stress out the critical aspects not only about geology but essentially to emphasize the consequences of such a complex structure like a diapir on the implementation of engineering structures. The work identifies and analyses the main problematic aspects, in an integrated way, the geomechanical properties of rocks and soils as well as some technical restrictions to be made in the type of foundation in diapiric areas.

INTRODUÇÃO

As áreas de estudo de Belo Horizonte, Santa Clara e Morro do Lena, localizam-se a WNW da cidade de Leiria, abrangendo um relevo com cotas que variam entre os 40 m e os 85 m. Estas áreas situam-se no interior do diapiro de Leiria-Parceiros e constituem três casos de estudo dos problemas relativos à implantação de estruturas urbanas em formações diapíricas. Este trabalho tem como objectivo inventariar os problemas geotécnicos daquelas três áreas bem como caracterizar o tipo de solo e o comportamento geomecânico bem como a capacidade de suporte dos terrenos, dada a elevada taxa de construção verificada naquelas áreas (fig. 1).

Para o efeito, foram realizados ensaios de laboratório e *in-situ*, nos solos e nas rochas. Os resultados obtidos permitiram fazer algumas reflexões quanto às características dos terrenos de fundação existentes naquelas áreas.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A estrutura tectónica onde se inserem as áreas de estudo é o diapiro de Leiria-Parceiros, constituído por um núcleo formado pelo complexo "Margas de Dagorda", constituído por margas salíferas e gipsíferas, calcários dolomíticos e gesso com intercalações de sal. O diapiro apresenta uma orientação NE-SW e os seus flancos são constituídos por formações jurássicas, cretácicas e terciárias, afectadas de fortes pendores, especialmente no flanco ocidental, onde as camadas aparecem em posição vertical, ou mesmo, invertidas.

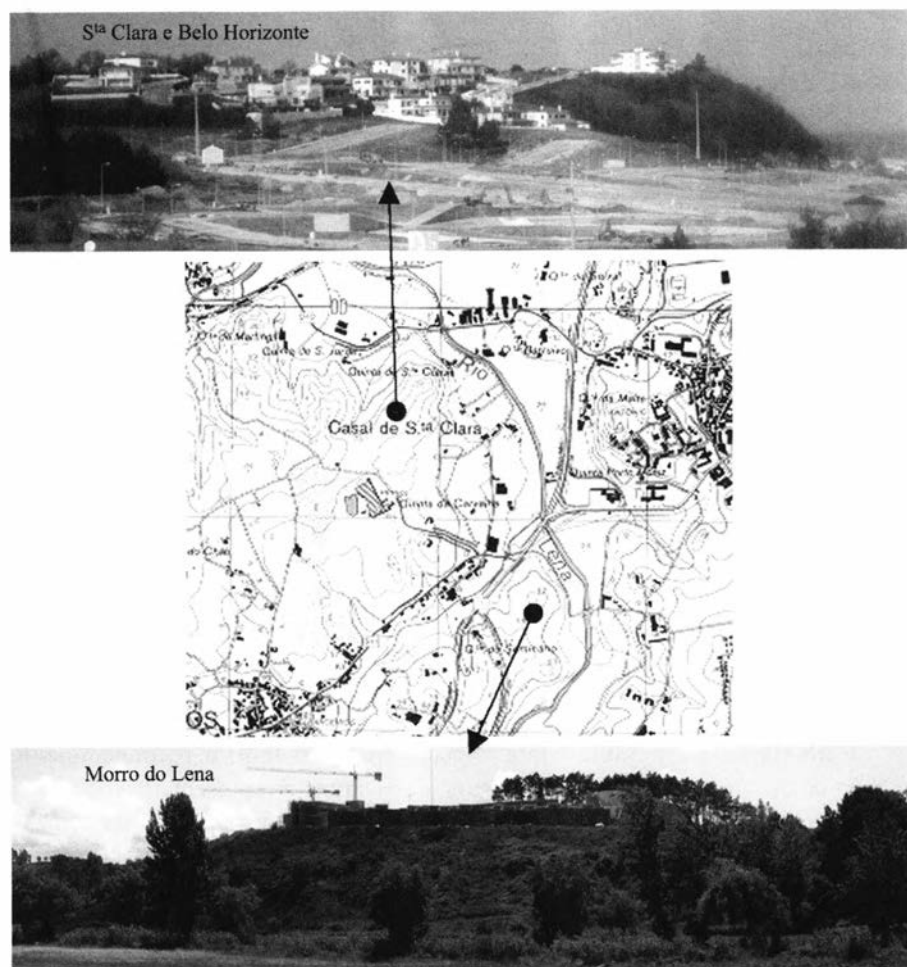


Fig. 1 — Aspectos gerais e localização das áreas estudadas (Carta Militar de Portugal, à escala 1/25 000, folha 297).

Trata-se de um anticlinal de perfil dissimétrico, que terá sofrido compressão de SE para NW (TEIXEIRA *et al.*, 1968). O fenómeno diapírico teve o seu início no Jurássico médio, após o que ocorreu a ascensão magmática, com a formação do domo dolerítico de Belo Horizonte e dos filões doleríticos que atravessam o Morro do Lena e Santa Clara. Os movimentos deformadores permaneceram activos até ao Pliocénico (fig. 2).

Para além daquelas formações geológicas ocorrem ainda solos residuais, depósitos coluvionares, aluviões e aterros de solos e de rochas doleríticas com diferentes graus de alteração.

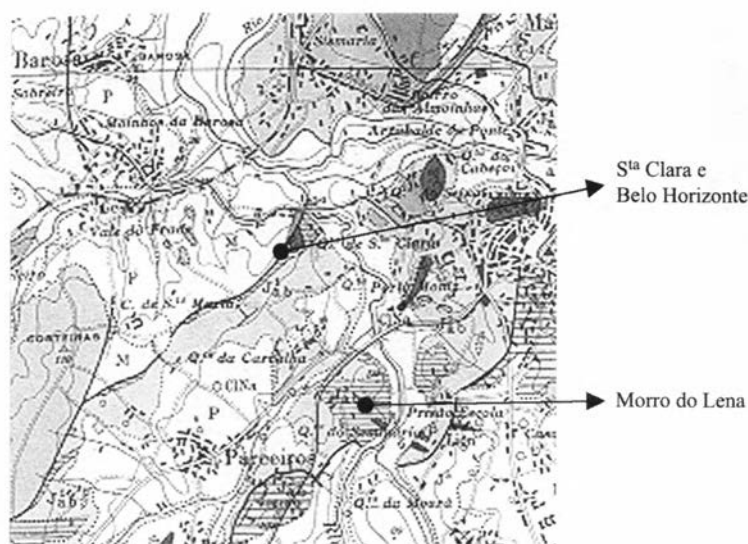


Fig. 2 – Geologia do local (Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50 000, folha 23-C).

MÉTODOS

Belo Horizonte e Santa Clara: Nestas áreas foi feito o reconhecimento geológico de superfície, ao qual se seguiu a amostragem representativa dos solos e das rochas, com o objectivo de efectuar o seu estudo laboratorial. Para a caracterização do material rochoso foram utilizados os ensaios de resistência à compressão pontual, massa volúmica, porosidade aparente, absorção de água, desgaste em meio húmido e dureza Schmidt, cujos métodos se baseiam nas normas da International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1978; 1979; 1985). Os ensaios realizados em solos foram a análise granulométrica (E 196, 1966 – LNEC), os limites de Atterberg (NP-143, 1969), o azul de metileno VBS (NF P 94-068, 1993), o equivalente de areia (E 199, 1967 – LNEC), a compactação (E 197, 1966 – LNEC) e o CBR (E 198, 1967 – LNEC). Foram ainda realizados a difracção de raios-X das fracções total, $<63\mu\text{m}$ e $<2\mu\text{m}$, para solos e rochas, e a microscopia óptica, apenas para os doleritos.

Morro do Lena: Os trabalhos de reconhecimento consistiram numa campanha de prospecção geotécnica que envolveu a realização de 30 sondagens mecânicas com comprimentos até aos 176.5m, nos locais destinados aos edifícios da cantina, o bloco D, bem como os da Associação de Estudantes e da Biblioteca, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria (ESTG). Foram realizados os ensaios de penetração normalizada (SPT) que permitiram avaliar as características geomecânicas dos solos prospectados, em termos de resistência,

compacidade relativa e/ou consistência para a definição das condições de fundação. Foram ainda realizados, na formação margosa hetangiana, os seguintes ensaios de laboratório: análise granulométrica, limites de Atterberg, compactação e CBR. Dada a limitação do espaço, serão apresentados os resultados mais significativos.

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Solos: A tabela I apresenta os dados de análise granulométrica (AG), equivalente de areia (EA), azul de metileno (VBS), Proctor e CBR, bem como a classificação dos solos, segundo os sistemas mais utilizados em geologia de engenharia.

Quanto à plasticidade, os solos apresentam grande variedade, desde solos argilosos de baixa plasticidade (CL) a solos argilosos de alta plasticidade (CH). As amostras localizadas no Morro do Lena (Jm6 e Jm7, pertencentes ao Jurássico Inferior) bem como as amostras da mesma formação, nas outras duas zonas (Jm1 e Jm3), apresentam propriedades geotécnicas idênticas.

Os solos arenosos (Ol, Pc2, Pc3, Pc4, Pm2, A1, A2, A3, A4 e M) são areias mal graduadas (SP e SP-SM), geralmente com uma granulometria pouco extensa, em que a fracção fina é quase exclusivamente constituída por siltes não plásticos. Do ensaio de embebição por água verificou-se que as amostras apresentavam uma expansão quase nula, como são os casos das formações Pc e A.

Os solos margosos (Jm1-Jm7) apresentam argilas expansivas exibindo um comportamento problemático devido às suas elevadas plasticidade e expansibilidade.

Tabela I – Valores médios dos ensaios realizados em solos (A=% seixo; B=% areia; C=% argila).

Amostras/ Ensaio	AG %			EA (%)	VBS g/100g	Proctor		CBR			Classificação		
	A	B	C			Wópt. (%)	γ _d máx. (g.cm ³)	CBR (%)	GC %	Exp. (%)	ASTM	AASHTO	RTR
D5	12	66	22	7,03	5,583	15	1,9				SC-CH*	A-2-7	B6
Jm1	4	95	72	13,55	1,6	12,2	2,02				SP*	A-2-7	B2
Jm3	28	70	2	17,71	2,8	19,3	1,815				SC-CH	A-2-7	B6
Jm6	7	75	18			15,7	1,81	2	93	33	SP-CL	A-2-6	
Jm7	12	61	27								SP-CL	A-2-6	
Ol	3	72	28								SW*	A-1-b	
Jc2	7	48	45	6,31	3,5						SW-CH*	A-2-7	B4
Jc4	12	61	27	1,64	1,8						SW-SM*	A-2-4	B6
Pc2	0	96	4	21	0,64	10,4	1,995	22	94	0,22	SP	A3	B2
Pc3	6	90	4	19,7	0,65	11,2	2,062				SP	A3	B2
Pc4	0	92	8	14,8	1,36						SP	A3	B2
Pm2	0	99	1	90,6	0,47	Não compactáveis					SP	A3	B2
Dv1	8	77	15	1,3	3,5	13,5	1,89				SW-SC*	A-2-7	B6
Dv2	15	66	19	3,36	2,5	13	1,9				SC-CH*	A-2-7	B6
Dv3	8	57	35	14,83	3,9	14	1,85				SW-SC*	A-2-7	B4
A1	13	82	5	13,94	1,5						SM	A-2-4	B5
A2	9	65	26	14,62	3						SW-SM*	A-1-b	B6
A3	29	68	3	2,95	2,3	10,2	2,105				SM	A-2	B6
A4	18	75	7	8,2	2,4						SC-CL	A-2-6	B6
M	25	64	11	6,1	1,524	12	1,8				SW-SC*	A-2-6	B6

O solo residual dolerítico (D5) é essencialmente uma areia silto-argilosa, de cor castanha, sendo as argilas predominantes, esmectites e caulinites. Este solo apresenta elevada sensibilidade à água, dado o seu elevado valor de azul de metileno (VBS).

Os solos carbonatados, em particular Jc4, apesar de granulometricamente serem areias siltsas é-lhes atribuído o grupo B6 na classificação RTR, pelo que terá também sensibilidade hidrófila.

Os depósitos coluvionares (Dv) apresentam elevados valores de limite de liquidez e índice de plasticidade e no ensaio do azul de metileno (VBS) obtiveram-se adsorções a variar entre 2,5 e 3,9 g/100g.

Na tabela II encontram-se identificados os complexos lito-geotécnicos bem como os valores médios do índice de resistência à penetração e o respectivo comportamento geotécnico.

Os depósitos de aterro contêm, por vezes, alguns fragmentos líticos e restos de cerâmica; foram depositados para modelação do terreno sem qualquer controle de compactação. Os depósitos de idade pliocénica estão representados por uma alternância de leitões predominantemente granulares. Os valores de Nspt mais elevados correspondem aos solos argilosos muito duros e duros e aos solos arenosos compactos. O substrato Jurássico aumenta de resistência e de compacidade com a profundidade (Tabela II).

Em termos hidrogeológicos, foi referenciado o nível freático, pouco produtivo, a uma profundidade variável entre 4,5 m e 16,5 m.

Tabela II – Complexos lito-geotécnicos e valores médios dos índices de resistência à penetração obtidos nos terrenos do Morro do Lena.

Complexo Lito-geotécnico	Espessura	Caracterização Geológica	Nspt	Comportamento Geotécnico
Horizonte de terra vegetal	1,5m	constituição argilo-siltosa		
Depósitos de aterro	0,6 a 9m	depósitos castanhos de argilas siltsas e margosas por vezes, c/ passagens arenosas	2 a 23	desfavorável
Depósitos Pliocénicos	4 a 6m	areias finas amarelas	7 a 33	solto a medianamente compacto
		horizonte areno-argiloso alaranjado	15 a 60	medianamente compacto a muito compacto
		horizonte arenoso fino c/ fracção argilo-siltosa, tonalidade amarela c/ laivos alaranjados	27 a + 60	medianamente compacto a muito compacto
	7 a 22m	areias grosseiras c/ seixos rolados castanhas-amareladas	22 a + 60	medianamente compacto a muito compacto
	1,5m	nível argilo-siltoso acastanhado	15 a 19	solo coesivo e duro
Terrenos Jurássicos	5,5 a 12m	horizonte sup. argilo-siltoso e margoso de tonalidades cinzentas-avermelhadas	1 a 30	duro e muito duro
		horizonte inf. c/ fácies argilo-margosa e vénulas gipsíferas, de tom cinzento escuro	6 a + 60	muito duro e rijo
Filão dolerítico		rocha amigdalóide, c/ fenocristais de olivina muito alterada e decomposta	13 a 26	duro e muito duro

Rochas: Na zona de Belo Horizonte, assume particular relevância o talude que se localiza à entrada da urbanização, devido às suas características de instabilidade, relacionadas com a litologia e estrutura das formações que aí ocorrem. Este talude apresenta características essencialmente rochosas a W e terrosas a E. A zona estudada tem uma extensão de 300 m, uma altura média de 20 m e uma inclinação quase vertical. Litologicamente, este talude é predominantemente constituído por margas (Jm4 e Jm5), solos margosos (Jm3), calcários dolomíticos (Jc1) dispostos em bancadas semi-verticais, que se encontram bastante tectonizados com dobras e falhas, calcários margosos (Jc3), intrusão dolerítica (D1-3) e solos coluvionares (Dv1-3). As rochas apresentam-se desde ligeiramente alteradas (à excepção de D3), até desagregadas, provocando desmoronamentos e queda de blocos. O talude apresenta problemas de estabilidade, devido essencialmente à alternância de margas gipsíferas com calcários margosos e dolomíticos.

Na base e parte intermédia E do talude, o material margoso (Jm3), em contacto com a intrusão dolerítica, encontra-se alterado, solto e permanentemente molhado devido a uma nascente. A parte W do talude, embora rochosa e compacta (Jm4, Jm5, Jc1 e Jc3) encontra-se extremamente fracturada e com dobramentos de eixo próximo da vertical, formando-se no pé do talude um depósito de material desagregado. Na crista do talude, o horizonte de terra vegetal é pouco espesso, sendo a vegetação arrastada pelos deslizamentos sucessivos. Também contribuem para a instabilidade do talude as inúmeras falhas, praticamente com orientação N-S, e as diaclases. As descontinuidades facilitam as acções dos agentes de meteorização.

Tabela III – Resultados dos ensaios de caracterização físico-mecânica das rochas estudadas.

Amostras/ Ensaio	Mineralogia e Petrografia	Massa Volumica Aparente (g/cm ³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção rápida (%)	Durabilidade Id (%)	Carga Pontual Is (Mpa) Cs (Mpa)	Dureza Schmidt (r)	Resist. Comp. (Mpa)
D ₁	Dolerito de grão fino, cinzento, pouco alterado (W2)	2,52	18,7	3,07	97	2,1 46,2	59,2	100
D ₂	Dolerito de grão fino, cinzento (W1)	-	-	-	-	- -	61,8	-
D ₃	Dolerito de grão fino, castanho e descolorada (W3)	1,97	12	10,01	93	1,85 40,7	23,2	28
D ₄	Filão de dolerito, castanho e desintegrado			-	-	- -	-	-
Jc ₁	Calcário dolomítico, compacto, de cor creme, duro e resistente	3,04	22	1,32	95	2,38 52,36	40,6	94
Jc ₃	Calcário margoso, cinzento escuro	2,4	17,8	-	78,3	2,1 46,2	16,42	22
Jm ₄	Margas gipsíferas, acizentadas	1,78	14	-	84,5	1,39 30,58	19,42	19
Jm ₅	Margas gipsíferas, avermelhadas	2,32	15,5	-	74,6	0,74 16,28	20,5	22

As rochas foram descritas, do ponto de vista geológico e petrográfico, a que se seguiu a determinação das propriedades índice em laboratório, como a porosidade, massa volúmica, alterabilidade e resistência (Tabela III).

Do ponto de vista mineralógico, o estudo ao microscópio do dolerito mostrou tratar-se de uma rocha básica de grão médio, formada essencialmente por labradorite, augite, óxidos de ferro e de titânio, olivina, para além de minerais argilosos que são produtos de meteorização. A textura é ofítica, típica desta rocha, com os cristais de plagioclase orientados aleatoriamente encontrando-se rodeados por cristais de piroxena. Foi impossível a colheita de uma amostra sã, pelo que as amostras D₁ e D₂ são consideradas como amostras de referência (VELHO *et al.*, 2003).

A análise de difracção de Raios X da fracção <2 mm, para as amostras não orientadas, permitiu a identificação de montmorilonite como o mineral argiloso principal resultante da meteorização do dolerito. As amostras D₁ e D₂ mostram um grau de meteorização muito baixo, enquanto na amostra D₁ é possível a identificação de montmorilonite, de caulinite e de clorite; a amostra D₂ não revela a presença de montmorilonite, estando presentes a caulinite e a ilite. De todas as amostras, aquela que mostra um teor mais elevado em montmorilonite é a D_f (VELHO *et al.*, 2003).

O potencial de desagregação (“slake”) foi avaliado pelo ensaio de desgaste húmido (Slake Durability Test – SDT) segundo a norma da ISRM (1979). O índice Id permitiu classificar as rochas analisadas, pelo que o dolerito e o calcário dolomítico têm uma durabilidade média a alta, enquanto as margas e o calcário margoso têm uma baixa durabilidade. O calcário margoso Jc3, apresentou-se frágil, tendo-se obtido uma perda de massa de 21,7%, superior à rocha carbonatada dolomítica, Jc1, uma vez que este calcário do Sinemuriano, compacto e de textura fina, apresenta elevada resistência.

Os diversos ensaios realizados com o dolerito revelaram valores que possibilitam classificá-lo como alterado. A presença dos minerais mais alterados na amostra D3 é responsável pela diminuição dos valores de massa volúmica aparente, resistência à compressão pontual, resistência à compressão uniaxial, dureza Schmidt e índice de durabilidade. O baixo valor de massa volúmica aparente registada para D3 deverá resultar do elevado grau de alteração desta rocha.

152

A resistência à compressão simples foi estimada a partir dos ensaios de carga pontual (PLT). As amostras de rocha D1, D3, Jc3, Jm4 e Jm5 são moderadamente resistentes, enquanto Jc1 é resistente. As amostras de rocha (Jc3, Jm4 e Jm5) com elevados teores em minerais argilosos, são muito influenciáveis pela presença de água, apresentando uma importante diferença entre os comportamentos nos estados seco e saturado.

A resistência das rochas doleríticas e dos calcários dolomíticos diminui significativamente com o aumento da alteração e da fracturação.

A elevada dureza dos calcários dolomíticos deve-se ao facto de se apresentarem recristalizados, em resultado da circulação de fluidos ao longo das fracturas. Nestas rochas é ainda evidente, para além de falhas e fracturas, um complexo de dobras e micro-dobras.

REFLEXÃO SOBRE AS CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS

1 – Belo Horizonte e Santa Clara

O talude de Belo Horizonte permitiu observar um maciço heterogéneo, com zonas tectonizadas, alteradas e de diferente composição litológica, exibindo comportamentos e resistências diferentes em função do grau de meteorização dos materiais, da facilidade de dissolução das rochas carbonatadas e gipsíferas, da alterabilidade e da capacidade de expansão das rochas (Tabelas I e III).

Em profundidade o domo dolerítico encontra-se num estado praticamente são (grau I), possuindo elevada resistência. No entanto, devido às descontinuidades (falhas, fracturas e diaclasas) e à percolação da água, as características da rocha sofrem uma progressiva degradação. O processo de meteorização provoca a desintegração e a decomposição do dolerito constituído por minerais quimicamente instáveis, como as olivinas, os feldspatos e as piroxenas, formando-se minerais de alteração argilosos e expansivos, que constituem o solo residual D5.

As margas do Hetangiano expandem por hidratação, podendo produzir deformações que podem levar a deficientes comportamentos em obra. De notar, a presença de uma nascente, num local (Jm5) onde o maciço margo-calcário se encontra muito fracturado, diaclasado e dobrado. A parte ocidental do talude mostra a passagem de uma rocha branda (margas e calcário margoso) a uma rocha dura (calcário dolomítico recristalizado), apresentando um carácter descontínuo e anisotrópico.

É na parte oriental do talude, onde este passa a terroso, que a resistência ao corte dos vários tipos litológicos se encontra mais reduzida, o que é agravado pela presença da nascente localizada em Jm3, originando pressões neutras e degradando as propriedades do maciço, tornando-o mais susceptível a processos de deslizamento.

Os solos com esmectites, são muito plásticos e expansivos exibindo baixa capacidade de carga quando possuem elevados teores em água (e.g. solo Jm3).

Os solos como Jm1, Jc2 e Jc4 têm uma plasticidade média a baixa devido ao moderado comportamento (plástico) da caulinite.

Os solos argilo-margosos têm um comportamento particularmente desfavorável quando aplicados em obras de engenharia civil geralmente devido às elevadas percentagens de finos, agravado pela natureza expansível das argilas.

Os solos aluvionares e coluvionares são geralmente de baixa de resistência, uma vez que são essencialmente constituídos por areias siltosas e silto-argilosas muito soltas.

Os depósitos Pliocénicos, sendo mais permeáveis que o substrato, funcionam como mantos retentores das águas superficiais que, por percolação conduzem à lixiviação do substrato Hetangiano.

Os principais mecanismos que condicionam a expansão e o comportamento geotécnico das rochas argilosas são a descompressão e as variações do teor em água, podendo, em casos extremos, ocasionar danos muito elevados nas obras de engenharia civil.

Nestas áreas existe grande possibilidade de ocorrerem posteriormente assentamentos diferenciais nas edificações com fundações directas correntes, provocando o aparecimento de fissuras em vivendas e muros, tal como se verifica na urbanização Belo Horizonte.

2 – Morro do Lena

Na área do Morro do Lena as sondagens evidenciaram a regularidade do substrato Hetangiano coberto por depósitos Pliocénicos com espessuras variáveis. As deficientes características dos terrenos Pliocénicos obrigaram a recorrer a fundações indirectas, procurando atingir o firme, evitando os assentamentos diferenciais posteriormente. As sondagens permitiram reconhecer o maciço e interpretar as unidades geotécnicas ocorrentes, tal como se indica:

- Aterros: Em termos de resistência e de deformabilidade, são materiais sem aptidão para serem mobilizados como nível de fundação.
- Terrenos jurássicos: Muito descomprimidos nos níveis superiores, que apesar de poderem viabilizar uma solução de fundação directa, impõem a utilização de tensões modestas. Os baixos valores de N_{spt} obtidos, denunciam uma acentuada degradação mecânica, em princípio relacionada com a saturação dos terrenos. O estudo geotécnico estabeleceu a presença de solos coesivos de consistência média a rija, com base nos valores de N_{spt} registados.
- Filões doleríticos: Apresentam um comportamento geotécnico não muito diferente da formação encaixante margosa.

As condições geotécnicas, em quase toda a área da Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG) do Instituto Politécnico de Leiria, para a construção de edifícios de vários andares, tornam mais adequado o recurso a fundações indirectas por estacas, a encastrar no complexo Jurássico, mobilizando os níveis profundos, mais resistentes com N_{spt} superiores a 60. Para SE, onde se regista a ocorrência da formação pliocénica, considera-se a possibilidade de mobilizar directamente estes terrenos, a partir dos 4,5m de profundidade, caracterizados por valores de N_{spt} compreendidos entre 23 a 47. No entanto, são interessados terrenos com comportamento geotécnico mais débil aos 6m de profundidade, com valores de N_{spt} entre 15 e 17. Para efeitos de dimensionamento das fundações preconizou-

se a adopção de tensões de contacto modestas, podendo ser necessário privilegiar o recurso à solução de fundações indirectas por micro-estacas a mobilizar os horizontes pliocénicos (GEOCONTROLE, 2001, 2002a, 2002b e 2003; RODIO, 2002).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram a complexidade de implantação de obras de engenharia em zonas diapíricas. A diversidade geológica é enorme, a que se associa a presença de materiais geológicos bastante deformáveis, muitas vezes condicionados por acidentes tectónicos. A tectónica foi responsável pela presença à superfície de rochas e solos gipsíferos e salíferos para além da presença de minerais argilosos expansivos e de rochas com diferentes graus de alteração. A execução de escavações originou alguns taludes que se mostram bastante instáveis. Alguns dos aterros construídos com materiais evolutivos possuem volumetrias assinaláveis.

Podemos apontar como principais problemas de geologia de engenharia ocorrentes em zonas diapíricas os seguintes:

- solos expansivos e de baixa resistência;
- doleritos muito evolutivos;
- margas sensíveis à acção da água;
- intensa compartimentação devido à tectónica e aos dobramentos.

A variabilidade e complexidade das condições geológicas e geotécnicas encontradas em zonas diapíricas aconselham à realização de estudos aprofundados que permitam a escolha fundamentada das soluções técnicas mais económicas e adequadas às estruturas a construir.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ESTG a autorização de publicação de elementos dos relatórios de prospecção geotécnica na área do Morro do Lena.

BIBLIOGRAFIA

- GEOCONTROLE (2001) – Estudo Geotécnico do edifício da biblioteca, da ESTG, Morro do Lena – Alto do Vieiro – Leiria.
- GEOCONTROLE (2002a) – Estudo Geotécnico do edifício da cantina, da ESTG, Morro do Lena – Alto do Vieiro – Leiria.
- GEOCONTROLE (2002b) – Reconhecimento Geotécnico Complementar do edifício D, da ESTG, Morro do Lena – Alto do Vieiro – Leiria.

- GEOCONTROLE (2003) – Estudo Geotécnico do edifício da Associação de Estudantes, da ESTG, Morro do Lena – Alto do Vieiro – Leiria.
- ISRM (1978) – Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., Vol. 15, nº 3.
- ISRM (1979) – Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties. Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 16, pp. 141-156.
- ISRM (1985) – Suggested method for determining point load strength. Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. Vol 22.
- RODIO (2002) – Reconhecimento Geológico e Geotécnico do edifício D e edifício da cantina, da ESTG, Morro do Lena – Alto do Vieiro – Leiria.
- TEIXEIRA, C.; ZBYSZEWSKI, G., TORRE DE ASSUNÇÃO, C. & MANUPPELLA, G. (1968) – Carta Geológica de Portugal, na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 23-C (Leiria). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- VELHO, J.; AMADO, C.; QUINTELA, A. & QUINTA FERREIRA, M. (2003) – Processo de alteração química do dolerito de Belo Horizonte (Leiria). Apresentação em poster no IV Congresso Ibérico de Geoquímica, Univ. Coimbra.