

INSTITUTO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS  
FACULDADE DE LETRAS — UNIVERSIDADE DE COIMBRA



# Cadernos de Geografia

## EXPERIMENTAÇÃO EM GEOMORFOLOGIA FLUVIAL \*

CELESTE O. A. COELHO

### INTRODUÇÃO

A herança das influências davisianas manteve-se quase inalterável, até meados deste século, entre os cultores da geomorfologia a nível mundial (CHORLEY, 1978). O abandono progressivo do modelo davisiano, a favor de uma aproximação sistémica, traz implícito uma mudança na atitude científica utilizada. HARVEY (1969) apontou duas vias alternativas conducentes a uma explicação científica satisfatória: a via indutiva e a dedutiva (Fig. 1). Na via indutiva, a explicação final está muito dependente do conhecimento dos factos iniciais à disposição do investigador e do método de classificação utilizado. Até à década de sessenta, a maior parte dos estudos de geomorfologia fluvial era dominada pela aproximação indutiva histórica, onde os elementos do relevo eram classificados e ordenados de acordo com a idade. O *tempo* era visto como um processo e não como uma variável explicatória. HARVEY (1969, p. 424) afirma que o *tempo*, entendido como processo só se pode aceitar quando se conhecem os processos causadores de mudança (*change*). Porém, no esquema davisiano os processos operantes eram muitas vezes desconhecidos e o mecanismo responsável pela mudança devia actuar continuamente a fim do relevo passar pelas fases cíclicas necessárias. Tem sido muito difícil encontrar formas de relevo nas fases cíclicas, em particular quando surgem interrupções no ciclo. O modo temporal da explicação do relevo não se invalida metodologicamente, mas pressupõe um processo (ou processos) para actuar clara e continuamente através do tempo e exige a definição clara das fases de evolução do relevo. Gradualmente, foi-se

---

\* Comunicação apresentada à *Semana de Geografia Física* — «Problemática da Quantificação dos Processos Morfogenéticos» (Instituto de Estudos Geográficos, Coimbra, 9-12 de Fevereiro de 1988).

abandonando a noção de mudança em si e começou-se a investigar quais os processos geradores de mudança, a sua velocidade de actuação e que efeitos produzem nas formas de relevo em apreço. A tendência para contemplar sistemas de processo-resposta foi acompanhada pelo abandono progressivo da atitude temporal na explicação das formas de relevo e do método indutivo que lhe estava implicitamente associado. Os geomorfólogos afastam-se duma metodologia classificatória e passam a adoptar uma atitude científica suportada pelo método dedutivo (Fig. 1-B). A adopção sistemática do método dedutivo em geomorfologia pode entender-se como causa e efeito nas tendências recentes da geomorfologia (BURT & WALLING, 1984). Até meados deste século, o ciclo de erosão de W. M. Davis é o paradigma no seio do qual os problemas geomorfológicos são organizados. Porém, qualquer paradigma que não consegue responder a algumas questões, deixa a porta aberta para ser substituído por outro (KUHN, 1962). O advento do novo paradigma é iniciado pela introdução da quantificação em geomorfologia e pelo uso das análises estatísticas e probabilísticas como meio de testar hipóteses (STRAHLER, 1950; CHORLEY, 1966). Implícito na utilização da quantificação em geomorfologia é o uso do método dedutivo (Fig. 1-B). A via teórica para o estudo do relevo vem substituir a explicação das formas únicas que dominava na época da desnudação cronológica. Esta via assenta na formulação do modelo ideal que pode ser testado para verificar se reflecte ou não a realidade, modelo que pode ser revisto, melhorado, até se tornar numa estrutura que satisfaça o modelo ideal. A verificação do modelo exige a colheita de dados.

A «nova geomorfologia quantitativa» tem sido responsável pela redução das escalas espaço-temporais de investigação dos fenómenos geomorfológicos (TRICART, 1965). A introdução da teoria dos sistemas à Geografia Física (CHORLEY & KENNEDY, 1971) e gradualmente à Geomorfologia tem contribuído para alterações significativas nas atitudes explicativas das formas e dos processos operantes. As formas de relevo são entendidas como sistemas em equilíbrio dinâmico (*steady state*). O uso dos sistemas como paradigma organizativo da geomorfologia tem levado ao desenvolvimento crescente dos modelos em geomorfologia (CHORLEY, 1966).

STODART (1967) invocou quatro razões válidas para o uso dos sistemas:

- 1) são monísticos — reúnem conjuntamente todos os componentes do ambiente físico e humano.
- 2) são estruturas ordenadas e racionais, donde a forma do sistema poder ser facilmente estudada;
- 3) são corpos funcionais, englobando fluxos de energia e de matéria;

- 4) a maioria dos sistemas são governados por mecanismos de retroação negativa que limitam a mudança (*change*) e mantêm a estabilidade do mesmo.

A estrutura sistêmica permite o uso de equações e modelos matemáticos e ainda o estudo detalhado dos processos e das inter-relações entre processos e formas.

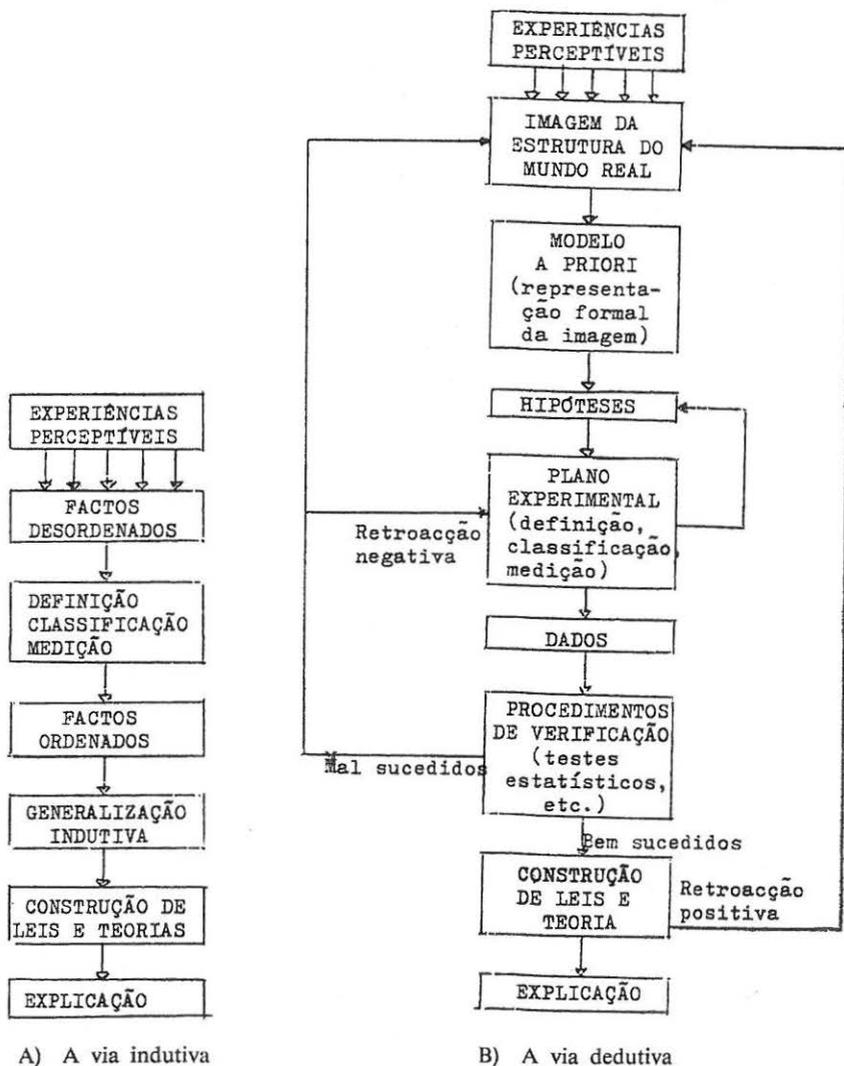


FIGURA 1 — Vias de explicação científica (HARVEY, 1969).

Decorrente da atitude científica presente em geomorfologia, a medição e avaliação dos processos é fundamental. Sem medições válidas, as hipóteses, as teorias não podem ser testadas e/ou modificadas. A capacidade para medir com sucesso é um aspecto central a qualquer explicação científica, daí que as *técnicas* seleccionadas permitam a recolha rigorosa da informação para todas as variáveis identificadas dentro de limites de confiança aceitáveis. A *qualidade* das medições deve merecer particular atenção, quer no terreno, quer no laboratório, donde a necessidade de se desenvolverem técnicas-padrão que permitam a comparação de resultados. A *representatividade* dos dados colhidos é essencial; CHURCH (1984) demonstrou que, em condições experimentais, o rigor da amostragem condiciona os meios estatísticos a utilizar. A definição das características numéricas de uma dada variável requer uma amostra muito grande e o tamanho da amostra é por vezes esquecido e/ou ignorado, assentando por vezes grandes conclusões apenas numa amostra de solo, numa determinação laboratorial ou numa cheia.

Na via dedutiva (Fig. 1-B) surgem separados os níveis de teoria, de definição do que se vai medir, de classificação e de verificação, na realidade é impossível separá-los. De facto, a definição da variável que se vai medir precede obrigatoriamente a própria medição. Também a definição da variável a medir deve contemplar os meios de medição ao dispor do investigador. A estruturação da teoria e/ou modelo pode estar dependente das dificuldades operacionais existentes: que técnicas se vão usar, em que condições as medições são feitas. Então a estrutura operacional tem de acompanhar necessariamente qualquer investigação gerando uma interrelação inevitável entre teoria, medições e testes estatísticos e, por outro lado, com os resultados e as conclusões obtidas. Em muitas circunstâncias a própria capacidade para medir uma variável é o factor limitativo em qualquer investigação geomorfológica. Com o aparecimento duma nova técnica todo o processo científico pode vir a ser alterado e atingir-se um nível superior de investigação e explicação (GOUDIE, 1981).

A aplicação com sucesso dos modelos realizados é a última etapa do método científico dedutivo. Em geomorfologia, a aplicação dos modelos requer a continuação da investigação em termos meramente académicos, a fim de se caminhar para um contributo crescente para o conhecimento dos mecanismos entre processos e formas. A geomorfologia começa a demonstrar capacidade para chegar a soluções satisfatórias para certos problemas ambientais usando modelos bem construídos.

A necessidade duma geomorfologia aplicada pode entender-se no âmbito dos sistemas controlados (CHORLEY & KENNEDY, 1971). Nestes sistemas, a intervenção no sistema físico de processo-resposta é encarada como sendo

apenas um elemento no conjunto do sistema sócio-económico de decisão. Muitos destes sistemas são dominados por mecanismos de retroacção positiva que mantêm a mudança. No passado, muitas das intervenções no sistema físico natural levaram à destruição do próprio sistema, como o exemplo do «Dust Bowl» dos Estados Unidos nos anos trinta documenta. Os sistemas físicos naturais são, em regra, dominados por mecanismos de retroacção negativa <sup>1</sup>, mantendo o equilíbrio e evitando a destruição do próprio sistema. Os geomorfólogos devem assegurar-se de que qualquer intervenção nos sistemas geomorfológicos é investigada devidamente a fim de que se possa usar e/ou explorar o sistema satisfatoriamente sem, no entanto, se atingir a sua degradação. Esta intervenção deve basear-se na aplicação de modelos geomorfológicos já testados que permitam prever com rigor o impacto resultante de qualquer intervenção planeada no seio do próprio sistema.

## MEDIÇÃO DOS PROCESSOS NA BACIA HIDROGRÁFICA

As preocupações actuais dos estudiosos da geomorfologia fluvial, em especial nos países anglo-saxónicos, contemplam principalmente os processos contemporâneos. A bacia hidrográfica tem sido considerada a unidade fundamental para experimentação e investigação em geomorfologia fluvial. A bacia hidrográfica é uma unidade funcional bem definida dentro da qual se podem isolar vários subsistemas. O emprego da aproximação sistémica acentua as relações entre a forma e os processos e permite visualizar a natureza multivariada de muitos processos geomorfológicos, bem como a representação espacial da actuação dos mesmos (GREGORY & WALLING, 1973). A instrumentação das bacias hidrográficas pode dar elementos acerca de um processo em particular, bem como acerca da sua frequência e magnitude. A recolha de dados hidrometeorológicos e hidrométricos é feita em geral por organismos nacionais, a nível das bacias hidrográficas, e o geomorfólogo dispõe de informações úteis para o estudo da dinâmica fluvial em especial para o estudo de séries temporais (caudais, precipitação, caudal sólido...). No entanto, e na maioria dos casos, o geomorfólogo necessita de recolha de informação adicional, mais específica, o que implica a instrumentação de pequenas bacias hidrográficas ou o recurso a pequenas bacias-vertente ou apenas a segmentos de vertente. Em regra, as medições mais úteis são as que contemplam ambas as fases do estudo dos processos: a dinâmica nas vertentes e nos leitos fluviais, atendendo às entradas no sistema (água e sedimentos), às interacções com as

---

<sup>1</sup> Sistemas glaciares são um exemplo de sistema com retroacção positiva (KING, 1970).

características específicas da bacia e às saídas sob a forma de água, sedimentos e solutos.

Dispõe-se actualmente de técnicas de medição muito variadas. A obra editada por GOUDIE, em 1981, intitulada *Geomorphological Techniques* reúne uma síntese das principais técnicas já usadas com sucesso para cada processo

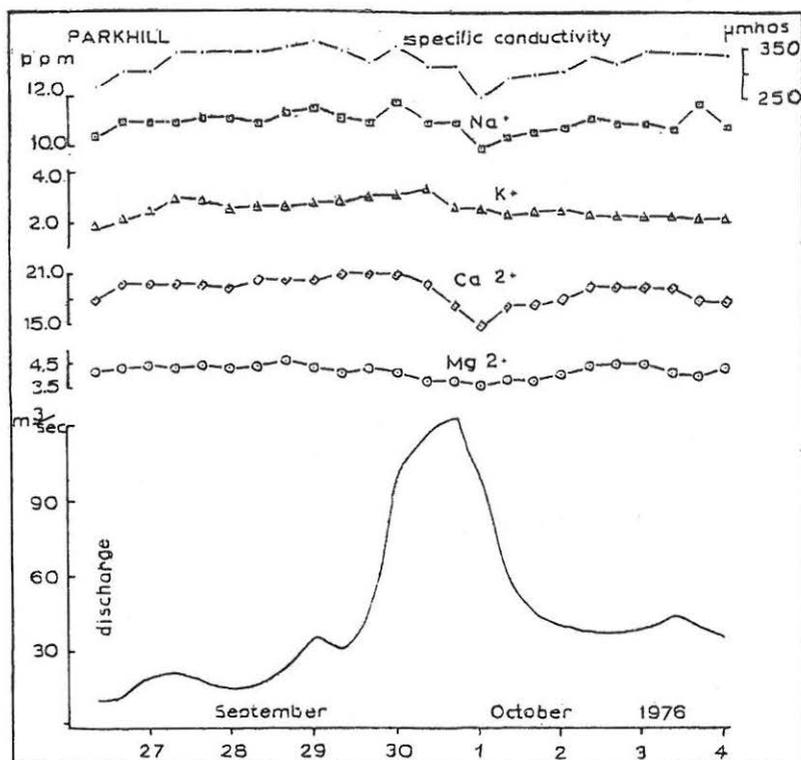


FIGURA 2 — Caudal e solutos durante um episódio de cheia no Rio Don (COELHO, 1979).

específico, acompanhadas de uma bibliografia exaustiva. As publicações do British Geomorphological Research Group designadas «Technical Notes» são uma fonte de consulta obrigatória, bem como o trabalho de GREGORY e WALLING, 1973, *Drainage Basin Form and Process — A Geomorphological Approach*. As medições são em regra de dois tipos-pontuais ou contínuas. No entanto, uma das principais dificuldades na instrumentação das bacias hidrográficas é a amostragem no espaço e no tempo. O recurso a medições contínuas resolve quase totalmente os problemas de amostragem no tempo

(Fig. 2), porém, quando as medições são pontuais, são necessários vários cuidados, por exemplo, registos feitos semanalmente, ou mesmo mensalmente, podem deixar de fora episódios extremos associados a parâmetros com variações temporais bastante acentuadas. O desenho do esquema de amostragem a empregar está muito dependente da natureza dos processos que vão ser investigados, dos objectivos do trabalho e até mesmo do tipo de aparelhos usados para as observações. Outro aspecto de importância: em regra, os dados colhidos num período relativamente curto são uma amostra não aleatória

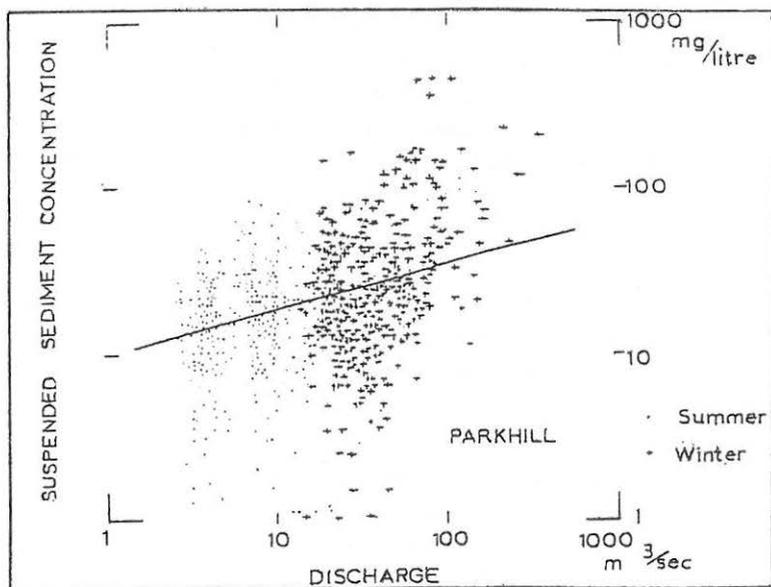


FIGURA 3 — Relações empíricas entre o caudal e a concentração de sedimentos em suspensão, no Rio Don (COELHO, 1979).

duma série temporal e, por vezes, são necessários vários anos de registos para se obterem dados suficientemente seguros que permitam tirar conclusões válidas acerca da magnitude e frequência dos processos. Por vezes, estimativas de erosão do solo (toneladas/km<sup>2</sup>/ano) a partir duma bacia-vertente, podem ser totalmente invalidadas por uma cheia excepcional que transporta mais material num só dia do que nos dez anos antes. O recurso à análise estatística permite definir os níveis de confiança das séries temporais e permite, a partir de séries curtas, a simulação dos registos a médio prazo (Fig. 3).

A amostragem no espaço reveste-se também de algumas dificuldades. Além do caudal e dos sedimentos suspensos e elementos dissolvidos, obtidos

à saída da bacia hidrográfica, a maior parte dos dados são colhidos por amostragem e são apenas representativos de pequenas áreas ou pontos da bacia, daí a maior parte das medições assentar em técnicas de amostragem aleatória, a fim de se garantir a representatividade dos dados em relação à área total. O planeamento da rede de instrumentação é parte de capital importância em qualquer estudo. As medições não são um fim em si mesmas, mas apenas o prelúdio para longas análises estatísticas que, por vezes, exigem o tratamento informatizado, a que se seguem a extrapolação dos resultados e verificação das hipóteses ou modelos. Outro género de dificuldades são também de considerar como a existência de locais disponíveis e acessíveis para a realização do estudo, longe da interferência de estranhos. Disponibilidade de áreas «naturais», referentes a locais onde a intervenção do homem é diminuta.

Uma breve retrospectiva sobre a bibliografia geomorfológica portuguesa até à década de oitenta (*Bibliografia Geográfica de Portugal, 1974 a 1984*) demonstra que a maioria dos estudos realizados se insere na metodologia clássica da explicação do modelado actual através da sua reconstituição genética, sendo privilegiados os estudos das aplanções e da influência da tectónica (DAVEAU, 1984). Os estudos de geomorfologia dinâmica tem alguma representação entre nós, mas a investigação dos processos contemporâneos começa apenas a esboçar-se (F. REBELO 1981; MOREIRA LOPES, 1982; COELHO & OLIVEIRA, 1984). Os estudos dos processos nas bacias hidrográficas está em fase de arranque nas Universidades de Aveiro e Coimbra, como a natureza das comunicações apresentadas e as saídas de estudo realizadas nesta Semana de Geografia Física, dedicada à Problemática da Quantificação dos Processos Morfogenéticos pelo Instituto de Estudos Geográficos da Universidade de Coimbra, tão bem documenturam.

## BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, I. L. — «Tendências da Geomorfologia», *Finisterra*, Vol. II, 3, 17-38, 1967.  
*Bibliografia Geográfica de Portugal*, Lisboa, 1974.
- BURT, T. P., WALLING, D. E. — «Catchment experiments in Fluvial Geomorphology: a review of objectives and methodology», *Catchment experiments in Fluvial Geomorphology*, 3-18, Norwich, 1984.
- CHORLEY, R. J. — «The application of statistical methods to geomorphology», *Essays in Geomorphology*, 1966.
- CHORLEY, R. J., KENNEDY, B. A. — *Physical Geography — A Systems Approach*, Londres, 1971.
- CHORLEY, R. J. — «Bases for theory in geomorphology», *Geomorphology present problems and future prospects*, Oxford, 1988.
- CHURCH, M. J. — «On experimental method in geomorphology», *Catchment Experiments in Fluvial Geomorphology*, 563-580, 1984.
- COELHO, C. O. A. — *A study of suspended sediments and solutes from de River Don, Aberdeenshire*, Tese de Ph. D., 1979.
- COELHO, C. O. A., OLIVEIRA, J. — «Variação espacial da qualidade da água», *Biblos*, LX, 13-22, 1984.
- DAVEAU, S. — «O ambiente geográfico natural de Portugal no enquadramento Peninsular e Atlântico. II — Progressos recentes em geomorfologia», *Finisterra*, XIX, 38, 225-236, 1984.
- HARVEY, D. — *Explanation in Geography*, Londres, 1966.
- GOUDIE, A. S. (edit) — *Geomorphological Techniques*, Londres, 1981.
- GREGORY, K. J., WALLING, D. E. — *Drainage Basin Form and Process — A geomorphological Approach*, Londres, 1973.
- KING, C. A. M. — «Feedback relationships in geomorphology», *Geografiska Annaler*, 52A, 147-59, 1970.
- KUHN, T. S. — *The structure of scientific revolutions*, Chicago, 1972.
- MOREIRA-LOPES, M.E. — «Ensaio de Cartografia Automática da Foz do Guadiana a partir do Landsat 1», *Comunicações, II Colóquio Ibérico de Geografia*, 291-300, 1982.
- REBELO, F. — «A acção humana como causa de desabamentos e deslizamentos», *Biblos*, LVII, 629-644, 1981.
- STODDART, D. R. — «Organism and ecosystem as geographical models», *Models in Geography*, 511-48, Londres, 1967.