

# Técnicas e métodos utilizados no monitoramento dos processos erosivos

Antonio José Teixeira Guerra

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Departamento de Geografia  
LAGESOLOS-Laboratório de Geomorfologia Experimental e Erosão dos Solos  
21.940-590 - Rio de Janeiro - RJ  
lagesolo@ufrj.igeo.br

**Abstract.** This paper regards the role of different techniques and methods on soil erosion studies. The paper is divided into different kinds of monitoring, including laboratory and field work. The advantages and disadvantages of these techniques are here described, in order to discuss their role on soil erosion investigation. Some examples of what can be achieved with these techniques are also given in this paper.

**Keywords:** Monitoring, Experimental Station, Rainfall Simulator

## Introdução

O estudo dos processos erosivos vem sendo feito há diversas décadas, em todo o mundo. Para tal os pesquisadores têm lançado mão de uma série de métodos e técnicas, dependendo dos objetivos do estudo, dos recursos humanos e financeiros disponíveis, das condições climáticas, dos tipos de solos, das condições ambientais e de outras características relevantes para o tema em questão.

Alguns pesquisadores têm proposto várias formas de monitoramento dos processos erosivos (Farres, 1978; Boardman, 1984; Boardman e Robinson, 1985; Boardman *et al.*, 1996; De Ploey, 1985; Morgan, 1978, 1985 e 1986; Morgan *et al.*, 1987; Govers e Poesen, 1988; Mutter e Burnham, 1990; Guerra, 1991, 1994, 1995 e 1996; Coelho Netto, 1995; Coelho Netto e Avelar, 1996; Cunha e Guerra, 1996). No mundo todo, desde antes do estabelecimento da Equação Universal de Perda do Solo (Wishmeier e Smith, 1968), que estações experimentais têm sido montadas para monitorar perdas de água e de solo. Além das estações, outras formas de monitorar os processos erosivos têm sido adotadas (Morgan, 1986).

Nesse trabalho, foram selecionadas algumas técnicas e métodos de monitoramento utilizados nos estudos dos processos erosivos causados pela ação da água. Não serão aqui abordados métodos utilizados para estudos de erosão eólica, glacial e marinha, que requerem algumas técnicas específicas, que diferem das técnicas e dos instrumentos utilizados nos estudos de erosão causada pelo escoamento superficial e subsuperficial.

Dessa forma, serão apresentadas algumas formas de se monitorar a perda de solo, como por exemplo, através de: 1. estações experimentais, que são, talvez, as mais utilizadas no mundo inteiro; 2. simuladores de chuva, que são empregados tanto no campo, como nos laboratórios, para que se possa simular eventos

chuvosos com a quantidade, intensidade e tempo desejados; 3. *splash-cups*, que são recipientes propostos por Morgan (1978), para medir erosão por salpicamento; 4. monitoramento da evolução de voçorocas, proposto por Guerra, *et al.* (1995); 5. pinos de erosão, que são enterrados no terreno, para medir a taxa de rebaixamento do solo. Apesar de existir uma infinidade de outras técnicas e métodos para monitorar a perda de água e solo, nesse trabalho são abordadas apenas algumas. A bibliografia aqui apresentada pode remeter o leitor a pesquisar e encontrar outras formas de monitorar os processos erosivos.

## Estações experimentais

As estações experimentais têm sido utilizadas há muitos anos para monitorar a perda de água e sedimentos, em segmentos das encostas. As opções de tratamento em cada uma das parcelas, nas estações experimentais, são infinitas. Isso pode acontecer tanto em termos de diferentes coberturas vegetais, como também em termos da adição de diversos elementos para simular condições que podem ocorrer em situações variadas (Morgan, 1986; Mutter e Burnham, 1990; Guerra, 1991; Guerra e Oliveira, 1995), como matéria orgânica, calcário moído, etc.

Existem várias maneiras de se instalar uma estação experimental e os materiais utilizados também são os mais variados possíveis. Mas uma estação deve ter algumas parcelas, que devem estar separadas uma das outras por madeira, cimento ou placas de ferro galvanizado, entre outros materiais. As parcelas, geralmente, apresentam tratamentos diferentes, que podem ou não ser replicados, para se poder checar sua representatividade. Além disso, devem ter um comprimento e uma largura mínimos. A literatura geomorfológica tem indicado que cada parcela tenha no mínimo 1 metro de largura por 10 metros de comprimento (Morgan, 1986). Comprimentos inferiores

a 10 metros podem resultar em dificuldades na formação de ravinas no interior da parcela, devido ao pequeno trajeto percorrido pela água do escoamento superficial.

A experiência tem demonstrado que as estações experimentais devem ocupar segmentos das encostas, onde não ocorram grandes rugosidades do terreno, pois caso contrário, fica muito difícil sua montagem, bem como sua manutenção.

Apesar de não existirem regras fixas quanto à sua montagem, manutenção, bem como periodicidade de monitoramento, a experiência adquirida por diversos pesquisadores (Morgan, 1986; Mutter e Burnham, 1990; Guerra, 1991; Guerra, 1996; Guerra e Oliveira, 1995; Cunha e Guerra, 1996) tem demonstrado que são necessárias algumas condições mínimas, que muitas vezes são incorporadas ao longo de anos de monitoramento. Por exemplo, as estações experimentais montadas pelo LAGESOLOS (Laboratório de Geomorfologia Experimental e Erosão dos Solos - Departamento de Geografia da UFRJ), situadas no município de Petrópolis (RJ), que vêm sendo monitoradas há três anos têm mostrado, que mesmo no período seco, é preciso uma visita periódica às estações para que sua manutenção seja feita. Além disso, mesmo nesse período, pequenos eventos chuvosos provocam algum escoamento superficial e perda de solo, que deve ser coletado.

Toda estação experimental deve ter um pluviômetro, para que seja também monitorado o total de chuvas, que pode ser correlacionado com as perdas de água e de sedimentos. Além do volume da perda de solo de cada parcela, ao longo de um determinado período (dia, semana, mês, estação do ano, etc) é possível também determinar o grau de seletividade do agente transportador. Para tal, é preciso que seja determinado, em laboratório, a composição granulométrica do solo de cada parcela. A comparação pode ser feita ao recolher das calhas coletoras o solo que foi transportado pela água. Através da determinação da sua textura, é possível saber que fração granulométrica está sofrendo maior ou menor transporte.

Uma vez instalada a estação experimental, é preciso evitar o pisoteio sobre as parcelas, pois o valor da densidade aparente do solo pode se alterar, devido a compactação. Essas estações devem estar situadas em locais onde o público não tem acesso fácil, pois os resultados podem não ser confiáveis se alguém, durante o intervalo entre um monitoramento e outro, mexer em algum componente da estação. A experiência tem demonstrado que os locais ideais para a instalação das estações experimentais são em fazendas, onde os proprietários estejam interessados nesse tipo de pesquisa. Isso tem ocorrido nas estações que vêm sendo monitoradas há três anos em Petrópolis, na Fazenda Marambaia, cujo proprietário não só autorizou a

instalação das estações, como dispõe de um dos seus funcionários para fazer as anotações do total de chuva diário.

Apesar da eficácia que as estações experimentais têm demonstrado, em todo o mundo, é preciso que os resultados sejam extrapolados com muita cautela, pois na maioria dos casos essas estações representam apenas pequenos segmentos das encostas. Portanto, desde a escolha do local para sua montagem, até sua manutenção e o monitoramento devem ser muito cuidadosos e feitos por pessoas treinadas, pois caso contrário os resultados podem ser pouco confiáveis. De qualquer maneira, a experiência tem mostrado que as estações são altamente relevantes, no avanço do conhecimento dos processos erosivos, tanto em áreas de clima temperado, como semi-árido e tropical.

### Simuladores de chuvas

Os simuladores de chuvas vêm sendo utilizados há algum tempo no estudo dos processos erosivos (Bryan e De Ploey, 1983; Morgan, 1986; Guerra, 1991 e 1994). Esses instrumentos podem ter dimensões variadas e características diferenciadas. Mas o princípio de uso dos simuladores torna esses instrumentos mais ou menos semelhantes entre si.

Tratam-se de aparelhos que, como o próprio nome sugere, simulam chuvas em intensidades e quantidades desejada pelo pesquisador. Eles devem estar a uma determinada altura do solo (geralmente cinco metros), para que as gotas de chuva possam atingir sua velocidade terminal, ou seja, bem semelhante a de uma chuva natural. São, em geral, construídos de madeira, com capilares de silicone, e tubos de PVC, por onde a água passa, antes de cair no alvo desejado (uma parcela no campo ou um flume no laboratório). É preciso que seja controlada a pressão da água e que seja muito bem determinada, antes do experimento, qual a intensidade da chuva desejada. A água, antes de entrar no simulador, propriamente dito, passa por um galão, que mantém o nível constante da água (5, 10 ou 15 litros). Quando a água atinge o nível desejado, dentro do galão, uma parte é colocada no simulador, através de um tubo de plástico e o restante sai para fora do sistema, através de um ladrão. Entre o simulador e o alvo, deve existir uma tela para "quebrar" as gotas que saem dos capilares de silicone, fazendo com que a distribuição do tamanho dessas gotas se aproxime à de uma chuva natural.

Os simuladores podem ser utilizados em campo ou em laboratório, ou em ambos. Alguns pesquisadores só utilizam no campo, outros no laboratório e ainda outros nas duas situações. As críticas feitas ao uso dos simuladores no campo é que há uma certa dificuldade de transporte e de operação no campo, bem como em relação ao suprimento de água (Morgan, 1986). Além disso, o vento pode ser um fator limitante na sua

operação, além da possibilidade de ocorrer uma chuva natural durante o experimento, o que resultaria na paralisação dos ensaios. Por outro lado, quando se opera o simulador no campo se está simulando a chuva sobre um solo sem ser alterado, ou seja, apenas a chuva é artificial. Aqueles que utilizam o simulador apenas no laboratório, explicam que apesar de trabalhar com um tipo de solo que foi transportado e colocado nos flumes, o controle da operação é bem mais completo do que no campo (Guerra, 1991 e 1994), pois não se está sujeito às variações meteorológicas da natureza. Além disso, em termos de operação, uma pessoa sozinha pode conduzir os ensaios.

Apesar de algumas críticas que possam ser feitas, em relação ao uso dos simuladores, como por exemplo as condições artificiais em que a chuva é produzida e, em especial, à simulação nos laboratórios, onde as condições são bastante artificiais, esses aparelhos vêm cada vez mais sendo utilizados por pesquisadores no mundo todo. Suas principais vantagens são as de produzir chuvas com a intensidade desejada e possibilitar a replicagem dos experimentos, quantas vezes forem necessárias, além de independem da ocorrência das chuvas naturais, para realizar estudos que ampliem os conhecimentos sobre os processos erosivos.

### *Splash-cups*

Foi preferido adotar o termo utilizado na literatura internacional, não só pelo seu amplo conhecimento por parte daqueles pesquisadores que adotam esses instrumentos, mas também pelo fato de ainda não existir uma tradução adequada para o português.

Os *splash-cups* tratam-se de instrumentos que podem ser construídos em PVC, ou qualquer outro material, para medir a ação da erosão por salpicamento (*splash-erosion*). Existem, uma série de tipos de aparelhos. Nesse trabalho, será apresentado um instrumento de fácil construção, manutenção e operação, que foi proposto por Morgan (1978 e 1986). O aparelho consiste de um cilindro de PVC, com 30cm de diâmetro e 10cm de altura, dividido ao meio por duas pequenas placas de PVC. No centro desse cilindro é colocado um outro cilindro, com 10cm de diâmetro e 2,5cm de altura, que é enterrado no solo. A parte de baixo do cilindro maior é totalmente fechada com uma placa de PVC, enquanto o cilindro central é vazado para que o solo preencha esse espaço.

O *splash-cup* é enterrado no terreno, e a parte central fica totalmente preenchida com solo. Uma parte do instrumento fica voltada para o topo da encosta e a outra fica voltada para a base da encosta. Após cada evento de chuva, é coletado, em cada um dos compartimentos do instrumento, o solo que foi salpicado para cima e para baixo da encosta. Se

somarmos o total de solo salpicado de cada compartimento, teremos o total de solo que foi salpicado, mas se subtrairmos o total de solo do compartimento da parte de baixo pelo da parte de cima, teremos a erosão por salpicamento (*splash-erosion*). Sabendo-se a área do cilindro menor (10cm de diâmetro), preenchido pelo solo, é possível extrapolar o valor de solo erodido por *splash*, para uma área de 1 ha, em especial se forem instalados várias *splash-cups* em uma mesma encosta.

### Monitoramento da evolução de voçorocas

As voçorocas são formas resultantes de processos erosivos acelerados que evoluem no tempo e no espaço. Dessa maneira, para se conhecer como, onde e para onde estão evoluindo, é necessário fazer o seu monitoramento. Existem diversas formas de avaliar a sua evolução. Guerra *et al.* (1995), Guerra (1996) e Cunha e Guerra (1996) propõem uma maneira de se monitorar a evolução das voçorocas que é extremamente simples e fácil de ser conduzida.

O monitoramento consiste em se enterrar no solo estacas numeradas, ao redor da voçoroca, afastadas uma das outras cerca de 20 metros, e pelo menos 10 metros da borda da voçoroca. Após a colocação dessas estacas, é preciso que se faça um esquema da distribuição espacial das estacas e seja medida a distância de cada uma até a borda da voçoroca. A cada dois ou três meses (ou uma periodicidade relacionada à distribuição das chuvas) retorna-se ao local e realiza-se nova medição da distância de cada estaca à borda da voçoroca. Com isso, pode-se traçar, com um bom grau de precisão a evolução da voçoroca, no tempo e no espaço. Essa evolução pode ser associada com a distribuição das chuvas, com as propriedades do solo, uso da terra, etc. Esse método foi utilizado em Açailândia (MA), por Guerra *et al.* (1995), e mostrou-se altamente eficiente. Além da eficiência, é de baixo custo, não só para sua instalação, como manutenção e monitoramento.

### Pinos de erosão

Os pinos de erosão (*erosion pins*) são mais uma técnica para monitorar os processos erosivos acelerados. De Ploey e Gabriels (1980) e Guerra (1996) demonstram como o método é simples e eficiente para monitorar a perda de solo. Basta escolher uma encosta (de preferência sem cobertura vegetal), e cravar no solo os pinos de erosão, numerados. Tudo deve ser plotado num diagrama, para se saber exatamente a sua distribuição espacial.

O monitoramento dos pinos de erosão consiste em voltar à área de estudo (de preferência após cada evento chuvoso significativo) e medir o quanto o pino está ficando proeminente em relação ao solo (as medidas são

feitas em milímetros). Os pinos devem ser enterrados no solo a 10 centímetros, ou mais, de preferência em encostas onde não haja passagem de pessoas e de animais, ou então, a área estudada deve ser cercada para que não haja nenhum tipo de perturbação.

Após um tempo determinado (um ou dois anos, por exemplo), é possível verificar a taxa de rebaixamento da encosta, a partir dos pinos instalados e monitorados (pelo menos uns 50 pinos em cada encosta). Além do rebaixamento, se a densidade aparente for determinada, é possível também estimar (com um razoável grau de precisão), a perda de solo, em toneladas por hectare. Essa técnica é mais indicada para encostas onde estejam ocorrendo erosão em lençol, ou então em sulcos, caso contrário, os pinos podem ser arrancados, entre um evento chuvoso e outro, prejudicando o monitoramento.

### Conclusões

O presente trabalho não objetiva esgotar o tema referente ao monitoramento dos processos erosivos, mas sim destacar algumas técnicas e métodos utilizados pelos pesquisadores, em várias partes do mundo e, em especial, no Brasil. É importante ressaltar que as técnicas abordadas, além de simples, são também de fácil execução.

A partir da adoção e da criação de outras técnicas e métodos para monitorar os processos erosivos, no território brasileiro, será possível conhecer melhor a dinâmica da erosão e, conseqüentemente, a adoção de práticas de conservação dos solos que é, em última análise, um dos objetivos do estudo dos processos erosivos.

### Agradecimentos

Agradeço à FUJB (Fundação Universitária José Bonifácio) e ao CNPq pelo apoio dado à essa pesquisa. Agradeço também à Rosângela Garrido Machado Botelho, professora Visitante do Departamento de Geografia da UFRJ, pela leitura e pelos comentários na primeira versão desse trabalho.

### Bibliografia

BOARDMAN, J. (1984). Erosion on the South Downs. *Soil and Water*, 12, 1, 19-21.

BOARDMAN, J. e ROBINSON, D.A. (1985). Soil erosion, climatic vagary and agricultural change on the South Downs around Lewes and Brighton, autumn 1982. *Applied Geography*, 5, 243-258.

BOARDMAN, J. BURT, T.P., EVANS, R., SLATTERY, M.C., SHUTTLEWORTH, H. (1996). Soil erosion and flooding as a result of a summer thunderstorm in Oxfordshire and Berkshire, May, 1993. *Applied Geography*, 16, 1, 21-34.

BRYAN, R.B. e DE PLOEY, J. (1983). Comparability of soil erosion measurements with different laboratory rainfall simulators. In: *Rainfall simulation, runoff and soil erosion*. Ed. J. De Ploey, Catena Supplement, 4, 33-56.

COELHO NETTO, A.L. (1995). Hidrologia na Interface com a Geomorfologia. In: *Geomorfologia-uma atualização de bases e conceitos*. Orgs. A.J.T. Guerra e S.B. Cunha, Ed. Bertrand Brasil, 2ª ed, 93-148.

COELHO NETTO, A.L. e AVELAR, A.S. (1996). Hidrologia na Interface com a Geomorfologia. In: *Geomorfologia - exercícios, técnicas e aplicações*. Orgs. S.B. Cunha e A.J.T. Guerra. Ed. Bertrand Brasil, 103-138.

CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T. (1996). Degradação Ambiental. In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Orgs. A.J.T. Guerra e S.B. Cunha, Ed. Bertrand Brasil, 337-379.

DE PLOEY, J. (1985). Experimental data on runoff generation. In: *Soil erosion and conservation*. Eds. S.A. Swaify, W.C. Moldenhauer e A. Lo, 528-539.

DE PLOEY, J. e GABRIELS, D. (1980). Measuring soil loss and experimental studies. In: *Soil erosion*. Eds. M.J. Irkby e R.P.C. Morgan, 63-108.

FARRES, P. (1978). The role of time and aggregate size in the crusting process. *Earth Surface Processes*, 243-254.

GOVERS, G. e POESEN, J. (1988). Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot. *Geomorphology*, 1, 343-354.

GUERRA, A.J.T. (1991). Soil characteristics and erosion, with particular reference to organic matter content. Tese de Doutorado, Universidade de Londres, 441p.

GUERRA, A.J.T. (1994). The effect of organic matter content on soil erosion in simulated rainfall experiments in W. Sussex, U.K. *Soil Use and Management*, Harpenden, Inglaterra, 10, 60-64.

GUERRA, A.J.T. (1995). Processos erosivos nas encostas. In: *Geomorfologia - uma atualização de bases e conceitos*. Orgs. A.J.T. Guerra e S.B. Cunha, Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2ª edição, 149-209.

GUERRA, A.J.T. (1996). Processos erosivos nas encostas. In: *Geomorfologia - exercícios, técnicas e aplicações*. Orgs. S.B. Cunha e A.J.T. Guerra, Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 139-155.

GUERRA, A.J.T. e OLIVEIRA, M.C. (1995). A influência dos diferentes tratamentos do solo, na seletividade do transporte de sedimentos: um estudo comparativo entre duas estações experimentais. In: *Anais do VI Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada*, Goiânia, 455-458.

GUERRA, A.J.T., MARÇAL, M., ALENCAR, A. e SILVA, E. (1995). Monitoramento de voçorocas em Açailândia-Maranhão. In: *Anais do V Simpósio*

- Nacional de Controle de Erosão*, ABGE, Bauru, 373-376.
- MORGAN, R.P.C. (1978). Field studies of rainsplash erosion. *Earth Surface Processes*, 3, 295-299.
- MORGAN, R.P.C. (1985). Establishment of plant cover parameters for modelling splash and detachment. *In: Soil erosion and conservation*. Eds. S.A.El-Swaify, W.C. Moldenhauer e A. Lo. Soil Conservation Society of America, 377-383.
- MORGAN, R.P.C. (1986). *Soil erosion and conservation*. Longman Group, Inglaterra, 298p.
- MORGAN, R.P.C., MARTIN, L. E NOBLE, C.A. (1987). Soil erosion in the United Kingdom: a case study from mid-Bedfordshire. *Occasional Paper*, 14, Silsoe, Cranfield Institute of Technology, Inglaterra.
- MUTTER, G.M. e BURNHAM, C.P. (1990). Plot studies comparing water on chalky and non-calcareous soils. *In: Soil erosion on agricultural land*. Eds. J. Boardman, I.D.L. Foster e J.A. Dearing, 15-23.
- WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. *Guide to conservation farming*, US Department of Agriculture Handbook, 537, 58p.