

ANÁLISE DA ERODIBILIDADE DE SAPROLITOS DE GNAISSE⁽¹⁾

F. MORAIS⁽²⁾, L. A. P. BACELLAR⁽³⁾ & F. G. SOBREIRA⁽³⁾

RESUMO

As voçorocas são freqüentes em áreas com rochas do embasamento cristalino. A evolução destas feições é sempre fortemente condicionada pelos processos de erosão hídrica subsuperficial, embora os processos superficiais também sejam importantes. Este trabalho objetivou investigar os processos erosivos subsuperficiais atuantes nas voçorocas e compreender que fatores mineralógicos e texturais poderiam influenciar a erodibilidade dos saprolitos. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização e de avaliação da erodibilidade em amostras representativas, sendo o principal destes o ensaio de furo de agulha. Os resultados indicam que a erosão por carreamento não ocorre e que os saprolitos apresentam susceptibilidade variável à erosão por *piping*, mesmo quando derivados de uma mesma unidade litológica, mas superior à do horizonte B latossólico. Dados preliminares indicam que os saprolitos mais susceptíveis à erosão por *piping* são os de textura siltosa (determinados em ensaios granulométricos sem defloculante e agitação) e pobres em minerais agregadores, como os argilominerais.

Termos de indexação: solo, erosão, voçoroca, textura, horizonte B.

SUMMARY: *ERODIBILITY ANALYSIS OF GNEISS SAPROLITE*

Gully erosion are very common in areas with gneiss basement rocks. Their development is strongly influenced by subsuperficial processes, although the surface ones are also important. This study aimed to investigate the subsuperficial erosion mechanisms of these gullies and to understand how mineralogy and texture could influence the saprolite erodibility. Some basic trials and erodibility tests were carried out in representative samples, with imphasis to especially the pin-hole test. The results showed that seepage erosion does

⁽¹⁾ Trabalho extraído da Tese de Mestrado do autor principal, financiada pela Fundação de Assistência a Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG. Recebido para publicação em janeiro de 2003 e aprovado em outubro de 2004.

⁽²⁾ Geógrafo, Pós-Graduando do Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Bolsista de doutorado da CAPES. Campus Morro do Cruzeiro s/n, CEP 35400-000 Ouro Preto – UFOP. E-mail: morais@degeo.ufop.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Geologia, UFOP. E-mail: bacellar@degeo.ufop.br; sobreira@degeo.ufop.br

not occur and that saprolite present variable susceptibility to piping erosion, even if they are in the same geologic unit. The data confirm that soils with Bw horizon (Oxisols) are less erodible than any of the tested saprolites. Preliminary data suggest that saprolites with a silty texture (determined without dispersant and agitation) and poor in aggregant materials, such as clay minerals, are more prone to piping erosion.

Index terms: soil, erosion, gully, texture, B horizon.

INTRODUÇÃO

Grande parte do nordeste e sudeste do Brasil localiza-se em áreas de rochas graníticas e gnáissicas do embasamento cristalino. Na maioria destas áreas, sobretudo nas mais úmidas, o embasamento está recoberto por espessa capa de regolito, muito susceptível à erosão por voçorocas. Entende-se por voçoroca a forma de erosão em canais condicionada pela ação conjunta das águas superficiais e subsuperficiais (DAEE/IPT, 1990).

Por conta de sua grande área de ocorrência, as voçorocas constituem um dos principais riscos ambientais no Brasil (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Embora ocorram naturalmente no tempo geológico (Bacellar, 2000), grande parte das voçorocas ativas resulta de atividades antrópicas mal planejadas.

Segundo Resende et al. (1995), nas áreas do embasamento cristalino, os horizontes superficiais, sobretudo o B, são mais resistentes à erosão que o horizonte C (saprolito). Assim, as voçorocas tendem a se desenvolver plenamente, quando o saprolito é exposto aos processos de erosão (Parzanese, 1991). Todavia, apesar de quase sempre mais alta que a dos horizontes superficiais, a erodibilidade dos saprolitos (horizonte C) de rochas do embasamento pode variar até dentro de um mesmo tipo de rocha, dependendo de sutis variações composicionais e texturais (Bacellar, 2000).

A geração das voçorocas pode ocorrer por processos de erosão superficial ou subsuperficial, mas, quando o lençol freático é atingido pelo aprofundamento do canal, os processos subsuperficiais passam a ser preponderantes, o que torna seu controle muito mais difícil e oneroso.

A erosão hídrica subsuperficial atuante nas voçorocas dá-se por dois mecanismos: o primeiro deles está relacionado com o carreamento das partículas menores do solo por entre as maiores, em decorrência da força do fluxo subsuperficial exfiltrante, o que provoca um desmantelamento da estrutura do solo, formando vazios no seu arcabouço. Esse mecanismo é conhecido por *seepage erosion* ou erosão por vazamento (Coelho Netto, 1998) ou carreamento (Rodrigues, 1984). Este mecanismo pode ocorrer em voçorocas com solos finos com textura bimodal (Rodrigues, 1984). O segundo mecanismo é provocado pelo fluxo hídrico em

macroporos, que gera forças cisalhantes nas suas margens. Estas forças cisalhantes podem provocar o destacamento e o transporte das partículas, fazendo com que o macroporo se alargue até o ponto em que ocorre colapso do material do teto. Tal mecanismo, que pode surgir em vários tipos de macroporos (ex.: fissuras, cavidades biológicas e juntas de origem tectônica), é conhecido por *piping* ou *tunnel erosion* (Coelho Netto, 1998). O mecanismo de *piping* tem sido frequentemente descrito em estudos sobre voçorocas.

A diferença de erodibilidade entre o horizonte B, pouco erodível, e os saprolitos de rochas do embasamento é facilmente identificável em campo, bem como em ensaios laboratoriais clássicos, como de estabilidade dos agregados e Inderbitzen, dentre outros (Parzanese, 1991; Bacellar, 2000; Santos, 2001). Em contrapartida, as pequenas diferenças de erodibilidade dos saprolitos nem sempre são identificáveis pelos métodos convencionais. A determinação destas diferenças é importante, pois contrastes sutis de erodibilidade no saprolito modificam significativamente as formas e as taxas de avanço das voçorocas e ajudam a explicar porque a concentração destas feições é diferente mesmo em áreas geologicamente homogêneas (Bacellar, 2000).

Por esse motivo, utilizando vários métodos, pretendeu-se, neste trabalho, compreender os processos subsuperficiais de erosão e determinar quais são as variáveis mineralógicas e texturais que influenciariam a erodibilidade dos saprolitos.

ASPECTOS REGIONAIS

A área estudada situa-se na região sul do complexo de rochas do embasamento cristalino (Complexo Bação), no interior do Quadrilátero Ferrífero, entre as cidades de Ouro Preto e Belo Horizonte, no centro-sul do estado de Minas Gerais (Figura 1). Nesta região, afloram rochas gnáissicas finamente bandadas, de composição predominantemente granodiorítica (Door, 1969). O manto de intemperismo é normalmente muito espesso, alcançando localmente até 50 m de espessura. O saprolito (horizonte C), que apresenta espessuras de até 40 m, é composto essencialmente por quartzo, feldspato (variavelmente alterado para caulinita), illita e muscovita (Parzanese, 1991; Sobreira 2000).

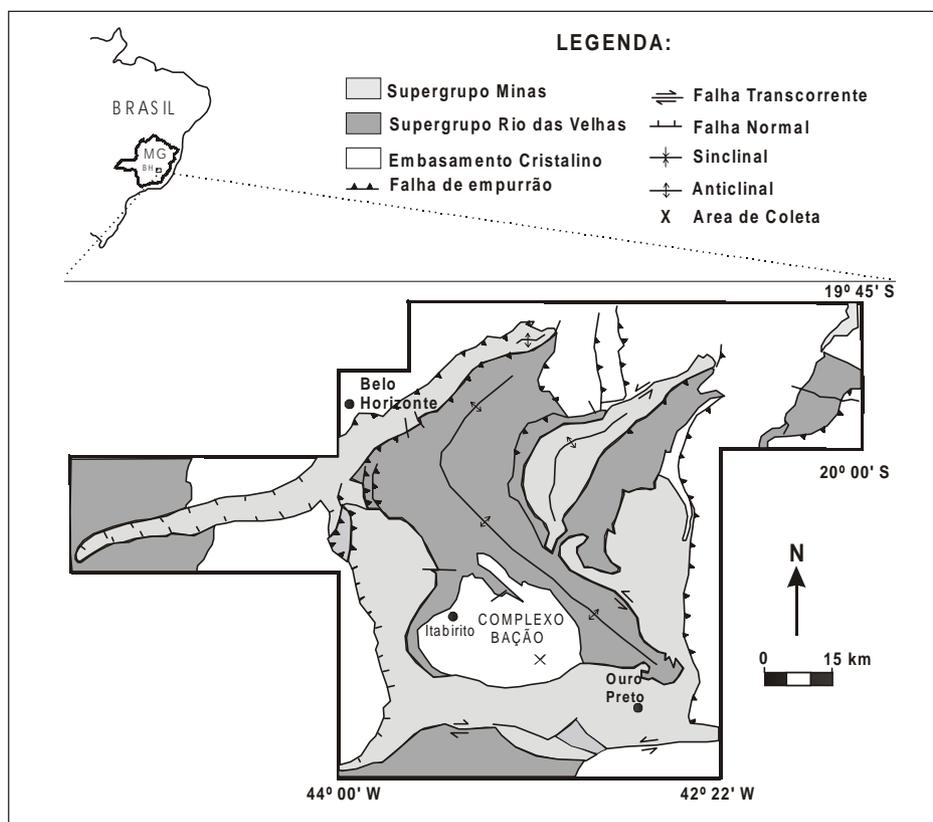


Figura 1. Localização da área de coleta de amostras de solos no Complexo do Bação (MG).

Na região, predominam Argissolos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos, caracteristicamente argilosos. O horizonte A foi quase totalmente eliminado por atividades antrópicas inadequadas desde o Século XVIII (Parzanese, 1991), enquanto o horizonte B, cujas espessuras alcançam até 10 m (Bacellar, 2000), é composto predominantemente por caulinita, oxiidróxidos de Fe e Al e quartzo (Parzanese, 1991; Sobreira, 1998).

A erodibilidade dos solos da região tem sido avaliada por métodos de campo, como as parcelas de erosão, e por diversos tipos de ensaios laboratoriais, como estabilidade de agregados, penetração ao cone, desagregação, dispersão, expansão livre e *pin-hole* (Parzanese, 1991; Sobreira, 1998; Silva, 2000; Bacellar, 2000; Santos, 2001). Estes dados indicam que o horizonte B dos Latossolos, Argissolos e Cambissolos é pouco erodível frente aos fluxos hídricos atualmente observados, tanto superficiais como subsuperficiais (Parzanese, 1991; Bacellar, 2000; Silva, 2000; Santos, 2001). Por outro lado, estes mesmos dados confirmam que os saprolitos dos gnaisses da região são normalmente muito erodíveis, tanto nos processos de erosão superficial como subsuperficial, especialmente no processo de *piping* (Silva, 2000; Moraes, 2003). Contudo, a erodibilidade destes saprolitos pode variar significativamente (Bacellar, 2000).

MÉTODOS

Com base nesses estudos, foram selecionadas áreas representativas dos solos da região, sendo nove amostras de saprolito (horizonte C) e uma amostra no horizonte B latossólico, esta para balizar os resultados anteriores. As amostras 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 foram coletadas no interior de uma mesma voçoroca nas proximidades da localidade de Gouveia, enquanto as amostras 5 e 10 em outras duas voçorocas situadas mais a norte. Uma das amostras de saprolito (amostra 1) apresentou, por critérios de campo, maior resistência à erosão, tal como a amostra do horizonte B latossólico (amostra 8).

Estas amostras foram submetidas aos seguintes ensaios de caracterização básica e a outros ensaios indicadores, direta ou indiretamente, de susceptibilidade à erosão:

- Análise granulométrica (ABNT, NBR 7181/1984).
- Análise granulométrica sem defloculante (ABNT, NBR 13602/1996), que se diferencia do anterior pela não-utilização de agente dispersor (hexametáfosfato de Na, com concentração de 45,7 g L⁻¹) e de agitador mecânico.
- Limite de liquidez (ABNT, NBR 6459/1984).
- Estabilidade dos agregados (Embrapa, 1997).

- Ensaio de furo de agulha (*pin-hole*) (ABNT, NBR 14114/1998).
- Ensaio de penetração ao cone (Head, 1992).
- Ensaio de expansão livre (Head, 1992).
- Ensaio de desagregação (Silva, 2000).

O ensaio de furo de agulha (*pin-hole*), conforme o método proposto por Sherard et al. (1976), foi o principal método utilizado para a diferenciação de erodibilidade desses solos. Este é o ensaio mais comumente utilizado para identificar, quantificar a dispersão (coloidal) e classificar os solos argilosos quanto à sua dispersibilidade em água. No entanto, Camapum et al. (1998) e Silva (2000) demonstraram também sua eficácia para avaliar a erodibilidade de solos tropicais. Este ensaio consistiu basicamente em escoar água sob diferentes cargas hidráulicas através de um corpo de prova indeformado, cilíndrico, com 2,8 cm de diâmetro, no qual tenha sido feito um pequeno furo ($\varnothing = 1$ mm) com uma agulha. As leituras de vazão às cargas maiores (380 e 1.020 mm), a observação da coloração do efluente e o diâmetro final do orifício no corpo de prova permitiram definir a susceptibilidade dos solos investigados à erosão por *piping*. Para avaliar a erosão por carreamento (*seepage erosion*), foram realizados ensaios com tempo prolongado e sem o furo de agulha nos corpos de prova.

Alcântara (1997) propôs a utilização do ensaio de penetração ao cone para determinar a erodibilidade de solos. Segundo esse autor, a diferença de penetração em amostras saturadas e não saturadas apresentaria boa correlação com a erodibilidade. Este ensaio, normalmente aplicado para determinação do limite de liquidez (Head et al., 1992), consistiu em submeter uma amostra indeformada (de 40 mm de altura e 73 mm de diâmetro) ao impacto de um cone (com 300 g, 30° de ângulo de abertura e 35 mm de altura), deixado cair de uma altura de 10 mm. Mediu-se em cada teste a profundidade de penetração alcançada pela sua ponta em nove pontos diferentes na superfície de cada amostra, tanto na umidade atual (umidade de campo), quanto no estado saturado. A partir dos valores de penetração nessas condições: natural (Pnat) e saturada (Psat), definiu-se a diferença de penetração (DP), conforme a equação:

$$DP(\%) = \frac{Psat - Pnat}{Pnat} \quad (1)$$

Bacellar (2000) demonstrou que a penetração na condição saturada (Psat) mostrou-se mais eficaz que DP para distinguir solos mais erodíveis.

No ensaio de expansão livre, a amostra de solo seco foi passada na peneira de malha de 2 mm e colocada em uma proveta graduada até atingir o volume de 10 mL. Em seguida, adicionaram-se 50 mL de água destilada e, após 30 min de repouso,

fez-se a leitura do volume final (V). O índice de expansão livre foi expresso pela seguinte relação:

$$\text{Expansão Livre} = \frac{V - 10}{10} \times 100 \%$$

O ensaio de desagregação, frequentemente utilizado na engenharia para avaliar a erodibilidade, seguiu os procedimentos descritos por Silva (2000), que consistem na modelagem de um corpo de prova cúbico com 6 cm de aresta e submetê-lo a diferentes níveis de submersão, observando-se a desagregação da amostra em cada estágio. A submersão das amostras deu-se em quatro estádios: no primeiro, colocou-se a amostra sobre uma placa porosa submersa em água destilada para saturação por capilaridade por 30 min. Nos dois estádios subsequentes, elevou-se o nível d'água a 1/3 e 2/3 da amostra durante 15 min. No último estágio, a amostra foi totalmente submersa por 24 h.

Com o intuito de compreender a influência da mineralogia na erodibilidade, procedeu-se à análise mineralógica sob lupa binocular e por difração de raios X. Os resultados dos ensaios, em conjunto com as características mineralógicas, texturais e estruturais das amostras, foram então analisados, buscando-se o entendimento do comportamento dos saprolitos à erosão subsuperficial.

RESULTADOS

Os resultados dos ensaios granulométricos com e sem defloculante (Figuras 2 e 3) mostraram grande variação textural entre os saprolitos (horizonte C) e entre estes e o horizonte B latossólico (amostra 8). Tais diferenças também foram ser observadas nos demais resultados de caracterização básica (Quadro 1).

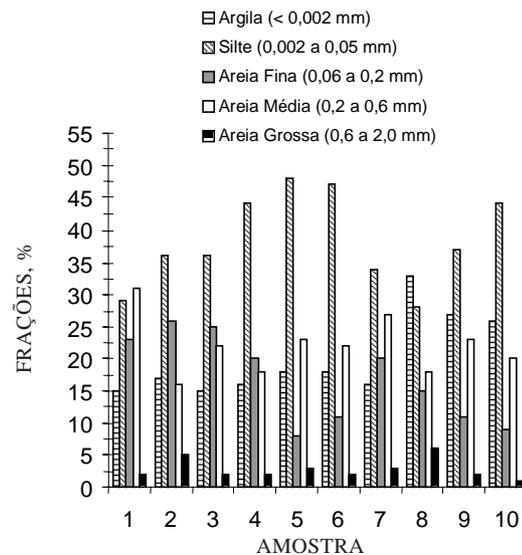
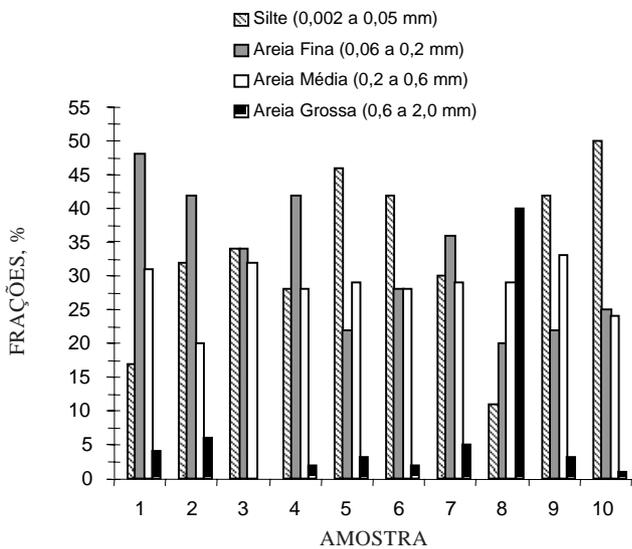


Figura 2. Distribuição granulométrica com uso de defloculante.

Quadro 1. Caracterização das amostras⁽¹⁾

Amostra	Limite de liquidez	Expansão	Massa específica natural	Umidade ⁽²⁾	Massa específica dos grãos	Massa específica aparente seca	Índice de vazios	Porosidade
	kg kg ⁻¹	%	g cm ⁻³	%	g cm ⁻³			m ³ m ⁻³
01	0,294	18	1,77	13,7	2,34	1,56	0,50	0,330
02	0,358	30	1,47	13,1	2,31	1,30	0,77	0,430
03	0,378	35	1,63	18,8	2,35	1,38	0,70	0,410
04	0,300	35	1,74	23,7	2,65	1,41	0,87	0,460
05	0,390	30	1,60	16,1	2,54	1,37	0,85	0,450
06	0,190	40	1,51	7,4	2,34	1,41	0,65	0,390
07	0,260	39	1,81	22,0	2,62	1,48	0,77	0,430
08	0,470	20	1,27	16,9	3,14	1,59	0,97	0,490
09	0,359	30	1,53	9,3	2,41	1,40	0,72	0,410
10	0,180	40	1,55	11,8	2,34	1,39	0,68	0,400

⁽¹⁾ Todos os resultados foram obtidos baseados nos cálculos propostos por Bueno & Vilar (1980) e Vargas (1978). ⁽²⁾ Base gravimétrica.

**Figura 3. Distribuição granulométrica sem uso de defloculante.**

Conforme Bacellar (2000), a penetração saturada no ensaio penetrométrico constituiu um bom índice para caracterizar sutis diferenças na erodibilidade de solos de mesma natureza. Assim, foi possível separar as amostras em três grupos quanto à resistência à penetração, sendo as amostras 1 e 8 mais resistentes, as 7, 2, 3, 5 e 9, de resistência média, e 6, 10 e 4, de menor resistência (Quadro 2).

Os ensaios de desagregação classificaram as amostras como desagregáveis por abatimento e dispersão, corroborando os dados obtidos por Silva (2000). Estes ensaios permitiram separar as amostras em três graus quanto à desagregabilidade (Quadro 3).

Embora tenha ocorrido alguma dispersão dos resultados, decorrentes das heterogeneidades naturais dos solos, os ensaios de *pin-hole* definiram dois grupos de saprolitos quanto à susceptibilidade

Quadro 2. Resultados dos ensaios de penetração ao cone

Amostra	Psat.	Pnat.	DP
	mm		%
1	4,47	3,99	12,03
2	11,09	5,13	116,18
3	11,16	5,00	123,20
4	12,87	4,33	197,23
5	11,59	5,88	97,11
6	17,37	5,41	221,07
7	10,49	5,76	82,12
8	5,51	2,28	141,67
9	10,56	4,74	122,78
10	16,49	5,46	202,01

Psat.: Penetração saturada; Pnat.: Penetração natural; DP: Diferença de penetração.

Quadro 3. Agrupamento dos solos ensaiados quanto à desagregabilidade

Grau de desagregabilidade	Amostra
Desagregam-se até o 2º estágio	2, 3, 4, 5, 6 e 10
Desagregam-se no 3º estágio	1, 7 e 9
Não-desagregável	8

à erosão por *pipinge* e confirmaram a maior resistência do horizonte B (Figuras 4 e 5 e Quadro 4). Os resultados destes ensaios não comprovaram a influência da estrutura dos saprolitos na erodibilidade, que não variou significativamente em ensaios executados paralelamente ou perpendicularmente ao bandamento das amostras.

Também foram feitos ensaios com o aparelho de *pin-hole*, mas sem o furo de agulha (de 1 mm), para analisar a susceptibilidade das amostras à erosão

por carreamento (*seepage erosion*). Não se observou aumento da vazão nem coloração do efluente, o que demonstra que nenhuma das amostras mostrou-se

susceptível a este mecanismo de erosão, mesmo com aplicação de carga hidráulica máxima (1.020 mm) e com o prolongamento do tempo de ensaio.

Os resultados de análise mineralógica por lupa binocular mostraram que os solos estudados são basicamente compostos por quartzo, feldspato e fragmentos de rocha. As frações submetidas à análise mineralógica por difração de raios X confirmaram o predomínio do quartzo em todas as amostras, seguido da caulinita e da muscovita. As amostra 2, 1 e 8 foram as mais ricas em caulinita, enquanto, na amostra 2, além desses três minerais, observou-se também a presença de gibbsita.

DISCUSSÃO

Os resultados das análises granulométricas com e sem uso de agente defloculante foram muito diferentes (Figuras 2 e 3). Sem defloculante, houve predomínio ora da fração silte, ora da fração areia nos saprolitos, tendo as amostras 10, 6, 5 e 9 apresentado maior percentual de silte. No tocante ao horizonte B latossólico, percebeu-se o predomínio de argila seguida por silte. Notou-se que a grande diferença dos ensaios com defloculante deveu-se à presença da fração argila, que, por encontrar-se agregada, não apareceu nos resultados dos ensaios sem o agente dispersor, sobretudo no horizonte B. Estes dados e a análise sob lupa binocular indicaram que os agregados do solo puderam atingir até à dimensão de areia e confirmaram a explícita diferença entre o horizonte B e os saprolitos da área (Parzanese, 1991; Sobreira 1998; Bacellar, 2000; Silva 2000; Santos 2001).

Os ensaios de *pin-hole* sem furo de agulha e com tempo prolongado mostraram que estes solos não foram susceptíveis à erosão por carreamento (*seepage erosion*), mesmo com aplicação de grandes gradientes hidráulicos por 24 h, o que pode ser atribuído ao fato de apresentarem bimodalidade textural, condição essencial ao desenvolvimento deste mecanismo (Rodrigues, 1984). Em contrapartida, os ensaios de *pin-hole* convencionais demonstraram que a erosão por *pinning* foi possível nos saprolitos, tendo sido os mais erodíveis (amostras 5, 6 e 10) aqueles que apresentaram vazões médias superiores a 10 mL s⁻¹ sob carga de 1.020 mm.

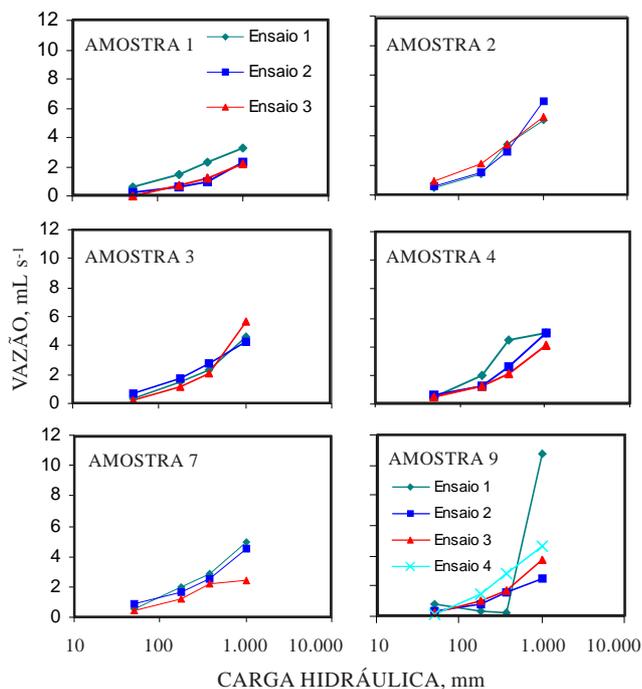


Figura 4. Vazão decorrente da carga hidráulica nos ensaios de furo de agulha dos saprolitos menos erodíveis.

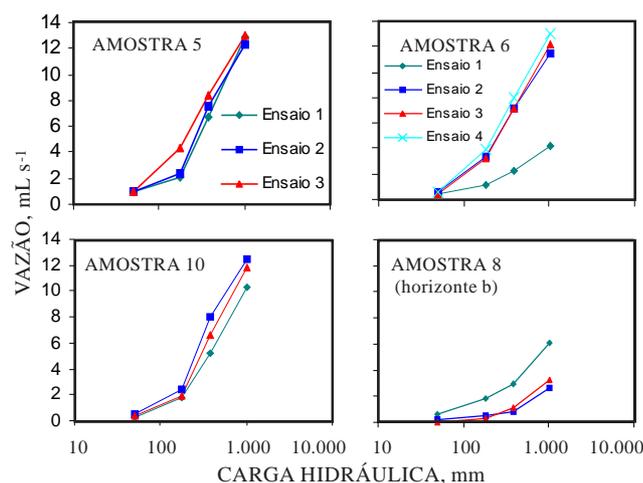


Figura 5. Vazão decorrente da carga hidráulica nos ensaios de furo de agulha dos saprolitos mais erodíveis e do horizonte B.

Quadro 4. Classificação dos solos quanto à erodibilidade, obtida pelos ensaios de furo de agulha

	Amostra									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Erodibilidade	ND1	ND2	ND1-ND2	ND1-ND2	D2	ND3	ND1-ND2	ND1	ND1-ND2	ND3

D2: Dispersivo; ND1: Não-dispersivo; ND2: Incipientemente Dispersivo; ND3: Levemente Dispersivo.

A susceptibilidade à erosão por *piping* apresentou boa correlação com a percentagem de silte obtida em ensaios sem defloculante e agitação (Morais, 2003). A única exceção foi a da amostra 9, que, embora siltosa, mostrou baixa taxa de erodibilidade no ensaio de *pin-hole* (Figura 4). A possível explicação para isto reside no fato de esta amostra apresentar maior teor de partículas de caulinita que as outras amostras ricas em silte (amostras 5, 6 e 10). Assim, a caulinita pode ter agido como agente agregador, dificultando a erosão por *piping*, como já sugerira Silva (2000). Em contrapartida, não se observou boa correlação entre os resultados do ensaio de *pin-hole* e a textura determinada em ensaios granulométricos com defloculante e agitação, o que vem a comprovar que a erodibilidade foi mais bem avaliada em ensaios que reproduzem a textura sob condições próximas às de campo (Bacellar 2000; Silva, 2000; Santos, 2001).

O ensaio de estabilidade de agregados (DMP) permitiu separar o horizonte B, menos erodível, dos saprolitos, mais erodíveis, confirmando estudos prévios (Parzanese, 1991). Estes ensaios, porém, não detectaram as sutis diferenças de erodibilidade entre os saprolitos, provavelmente por ser a menor peneira utilizada neste ensaio (0,25 mm) muito maior que a dimensão do silte, que parece ser a fração mais significativa.

Os resultados dos ensaios de penetração ao cone, de expansibilidade e de desagregação não apresentaram correlação satisfatória com os dados de erodibilidade por *piping* (Morais, 2003), porém indicaram haver uma tendência de os solos mais erodíveis serem mais expansíveis e menos resistentes à penetração saturada, confirmando trabalhos anteriores (Bacellar, 2000). Por fim, as propriedades básicas dos solos (Quadro 1) não exibiram qualquer correlação com a susceptibilidade ao *piping*.

Portanto, o conjunto de dados permitiram separar três classes de solo quanto à erodibilidade:

Classe 1 (amostras 1 e 8): baixa erodibilidade no ensaio *pin-hole*; baixa percentagem de silte em ensaios sem defloculante; alta resistência à penetração ao cone; baixa expansibilidade e desagregabilidade nula (amostra 8, horizonte B) a baixa (amostra 1).

Classe 2 (amostras 2, 3, 4, 7 e 9): erodibilidade baixa a média no ensaio *pin-hole*; percentagem média de silte em ensaios sem defloculante (com exceção da amostra 9); resistência à penetração e expansibilidade médias, e desagregabilidade média (amostra 9) a alta.

Classe 3 (amostras 5, 6 e 10): alta erodibilidade no ensaio *pin-hole*; alto teor de silte em ensaios sem defloculante; resistência à penetração ao cone baixa (amostras 6 e 10) a média (amostra 5); expansibilidade alta a média (amostra 5), e alta desagregabilidade.

CONCLUSÕES

1. Os ensaios de *pin-hole* demonstraram que a erosão por *piping* mostrou-se possível nos saprolitos derivados de rochas do embasamento da região.

2. Os ensaios *pin-hole* realizados sem furo de agulha e com tempo prolongado evidenciaram a ausência da erosão por carreamento (*seepage erosion*) nestes solos.

3. O horizonte B dos solos da região mostrou-se mais resistente à erosão, tanto nos processos superficiais como subsuperficiais.

LITERATURA CITADA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação do limite de liquidez. NBR 6459, fevereiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solo - análise granulométrica. NBR 7181, fevereiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solo - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio sedimentométrico comparativo - Ensaio de dispersão SCS. NBR 13602, maio, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solo - Solos Argilosos dispersivos. Identificação e classificação por meio do ensaio de furo de agulha (*Pin-hole test*). NBR 14114, junho, 1998.
- ALCÂNTARA, M.A.T. Aspectos geotécnicos da erodibilidade dos solos. São Carlos, SP, Universidade de São Paulo, 1997. 99p. (Tese de Mestrado)
- BACELLAR, L.A.P. Condicionantes geológicos, geomorfológicos e dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá. Ouro Preto, MG Geotécnicos. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2000. 225p. (Tese de Doutorado)
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.
- BUENO, B.S. & VILAR, O.M. Mecânica dos solos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1980. 131p.
- CAMAPUM, C.J.; PALOCCI, A. & SILVA, R.P. Considerações sobre a granulometria de alguns solos do centro-oeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., Brasília, 1998. Anais, Brasília, 1998. v.2. p.1001-1005.
- COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B., eds. Geomorfologia - Uma atualização de base e conceitos, 2.ed., Rio de Janeiro, Bertrand, 1998. 472p.
- DAEE/IPT. Controle de erosão. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), São Paulo, 1990. 92p.
- DOOR, J.N. "Physiographic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais". U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, V.641-A. 110S, 1969.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos para análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- HEAD, K.H. Manual of soil laboratory testing. 2.ed. London, Pentech Press, 1992. 387p.
- MORAIS, F. Estudo dos processos erosivos subsuperficiais na bacia do rio Maracujá-MG. Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, 2003. 98p. (Tese de Mestrado)
- PARZANESE, G.A.C. Gênese e desenvolvimento das voçorocas em solos originados de rochas granitóides da região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 117p. (Tese de Mestrado)
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes - Viçosa, NEPUT, 1995. 304p.
- RODRIGUES, J.E. Estudo geotécnico dos fenômenos erosivos acelerados (voçorocas). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 4., Belo Horizonte, 1984. Anais. Belo Horizonte, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1984. p.169-182.
- SANTOS, C.A. Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto - MG. Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, 2001. 108p. (Tese de Mestrado)
- SHERARD, J.L.; DUNNIGAN, L.P. & DECKER, R.S. Pinhole test for identifying dispersive soils. J. Geotechn. Engin. Divis., 102:69-85, 1976.
- SILVA, T.R.M. Caracterização e erodibilidade dos solos de uma voçoroca na região de Ouro Preto - MG. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, PEC/COPPE/UFRJ, 2000. 106p. (Tese de Mestrado)
- SOBREIRA, F.G. Estudo das Erosões de Cachoeira do Campo - MG. Relatório FAPEMIG, UFOP/EM/DEGEO. Ouro Preto, 1998. 130p.
- SOBREIRA, F.G. Processos erosivos acelerados (voçorocas): O exemplo de Cachoeira do Campo, Ouro Preto, MG. Solos Rochas: R. Latino-Americana Geotec., 254:217-233, 2000.
- VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, Universidade de São Paulo, 1978. 509p.