

Comparação da erodibilidade de diferentes solos saprolíticos em regiões de ocorrência de voçorocas

Letícia Rodrigues Pimentel Magalhães

Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, leticiarp96@gmail.com

Lucas Henrique Vieira

Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, lvieira@dfmais.eng.br

Tatiana Tavares Rodriguez

Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, tatiana.rodriguez@ufjf.edu.br

Jonathas Batista Gonçalves Silva

Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, jonathas.silva.ufjf@gmail.com

RESUMO: Um dos principais fatores para a expansão de áreas degradadas no Brasil e no mundo são os processos erosivos, frequentemente originados pela ação da água e pela formação de voçorocas. Dentre as variáveis relacionadas, a erodibilidade diz respeito à suscetibilidade do solo à erosão, podendo ser determinada de maneira direta ou indireta por ensaios de laboratório e/ou de campo. Este trabalho teve como objetivo avaliar e relacionar a erodibilidade de solos saprolíticos característicos de duas voçorocas da cidade de Juiz de Fora (MG), sendo a Voçoroca I localizada no Jardim Botânico e a Voçoroca II no Bairro Salvaterra, destacando suas implicações para a engenharia geotécnica. Foram realizados ensaios de caracterização física, de dispersão, de desagregação e de Inderbitzen, além de classificações por correlações indiretas. Os resultados granulométricos indicaram solos areia-siltosos e silte-arenosos. Pelos métodos indiretos, confirmou-se que solos com menor massa específica dos sólidos apresentam maior erodibilidade, enquanto, quanto à granulometria, as areias-siltosas foram mais erodíveis que os silte-arenosos. Entre os métodos diretos, o ensaio de dispersão não diferenciou o comportamento erodível devido ao baixo teor de argila, enquanto o de desagregação destacou o solo de menor erodibilidade. O ensaio de Inderbitzen evidenciou diferenças significativas de resistência à erosão, subsidiando análises voltadas ao controle da degradação e à estabilidade de taludes em regiões tropicais.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão, Voçoroca, Erodibilidade, Ensaios de laboratório.

ABSTRACT: One of the main factors contributing to the expansion of degraded areas in Brazil and worldwide is soil erosion, often driven by water action and the development of gullies. Among the related variables, erodibility refers to the soil's susceptibility to erosion and can be determined directly or indirectly through laboratory and/or field tests. This study aimed to evaluate and relate the erodibility of saprolitic soils from two gullies in Juiz de Fora (MG), namely Gully I, located in Jardim Botânico, and Gully II, in Bairro Salvaterra, emphasizing their implications for geotechnical engineering. Physical characterization, dispersion, disaggregation, and Inderbitzen tests were performed, in addition to classifications obtained by indirect correlations. Particle-size analyses indicated sandy-silty and silty-sandy soils. Indirect methods confirmed that soils with lower specific gravity are more erodible, and, regarding grain size, sandy-silty soils were more erodible than silty-sandy ones. Among direct methods, the dispersion test did not distinguish erodibility due to the low clay content, while the disaggregation test identified the soil with lower erodibility. The Inderbitzen test revealed significant differences in resistance to erosion, supporting assessments for erosion control and slope stability in tropical regions.

KEYWORDS: Erosion, Gully, Erodibility, Laboratory tests.



1 INTRODUÇÃO

A erosão tem sido foco de diversos estudos em diferentes áreas do conhecimento, dentre as quais pode-se citar a agronomia, hidráulica, geologia e engenharia. Na engenharia geotécnica, a erodibilidade dos solos relaciona-se diretamente à estabilidade de taludes, fundações rasas e sistemas de drenagem, pois solos mais erodíveis tendem a apresentar menor coesão e maior suscetibilidade à perda de partículas (SOUSA PINTO, 2006; DAS, 2019). Por isso, é importante que seja feita a avaliação do potencial erosivo de cada região antes mesmo desta ser ocupada ou receber uma obra, a fim de evitar o surgimento de problemas mais sérios como voçorocas, instabilidade de encostas e movimentos de massa. Em regiões tropicais, como o Brasil, onde predominam solos residuais, compreender o potencial erosivo é essencial para prevenir processos de instabilidade e orientar soluções de contenção e drenagem (ALONSO; PINYOL, 2010).

A cidade de Juiz de Fora (MG), foco deste estudo, é caracterizada por uma grande atuação antrópica e vulnerabilidade do meio físico, contribuindo para uma erosão acelerada (ROCHA *et al.*, 2003). O Núcleo de Pesquisa em Zoneamento e Risco Ambiental (ZONERISC, 2002) identificou problemas relacionados à perda de solo fértil, altos níveis de erosão linear, assoreamento e inundação, principalmente devido à atuação antrópica e fragilidade do meio físico da região. Cabe destacar que não existe o risco zero, isto é, todas as áreas da cidade estão sujeitas a algum tipo de erosão, sendo que a região sul é a mais preocupante, pois apresenta níveis de risco altíssimo e também maior densidade populacional. Desta forma, vários locais do município têm sido alvo de estudo quanto à erosão ao longo dos últimos anos.

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar e relacionar a erodibilidade de solos saprolíticos característicos de duas voçorocas da cidade de Juiz de Fora, sendo a Voçoroca I localizada no Jardim Botânico e a Voçoroca II no Bairro Salvaterra, através de métodos diretos e indiretos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os solos residuais são aqueles que permanecem no mesmo local em que se formaram. Sua ocorrência é comum em regiões tropicais, como o Brasil, devido às condições climáticas que favorecem a rapidez na velocidade de decomposição das rochas. Estes solos podem ser diferenciados, em função do grau de intemperismo, em: Residual Maduro ou Laterítico (superficial, sem vestígios da rocha-mãe) e Residual Jovem ou Saprolítico (mantém a estrutura da rocha-mãe, mas perdeu a consistência de rocha).

O fenômeno erosão pode ser entendido como sendo uma sequência de processos que resultam na fragmentação da estrutura do solo através do carreamento de suas partículas, na maior parte das vezes, por meio da ação da água ou de outros agentes erosivos, como vento, rio, mar, geleira, plantas, animais, ou o próprio ser humano (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). A erosão ocorre em três processos: inicialmente as partículas são separadas da estrutura do solo (pelo impacto das gotas de chuva, por exemplo), depois são transportadas pelo agente transportador e por fim são depositadas em outras regiões (MAGALHÃES, 2001).

A erosão pode apresentar-se em quatro diferentes feições: laminar, em sulcos, em ravinas e em voçorocas (Lima, 2003). A voçoroca, portanto, é o estágio mais avançado da erosão, porém cabe colocar que existem diferentes linhas de definição do termo. Marques (2015) considera as voçorocas como ravinas que atingiram o lençol freático, causando também erosão interna; o Instituto de Pesquisas Tecnológicas define como feições que apresentam queda em bloco e afloramento do lençol freático e/ou surgência de água. Já Pruski (2009) conceitua como sulcos com profundidade superior a 30 cm e largura superior a 1 m, sendo mais comuns em divisas de propriedades, para onde o escoamento superficial costuma ser direcionado.

Os processos erosivos podem ser divididos em duas categorias distintas, a saber: erosão natural ou geológica; e, erosão acelerada ou antrópica. Os dois principais fatores que levam à erosão acelerada são as taxas de erosividade e de erodibilidade. A erosividade é a capacidade das chuvas para causar erosão e depende das características físicas da chuva, como intensidade total, tamanho das gotas e velocidade. A erodibilidade é a vulnerabilidade ou suscetibilidade do solo à erosão, dependendo da capacidade de infiltração e de armazenamento da água, das forças de resistência do solo à ação da chuva e ao escoamento superficial, conforme Pruski (2009).

A erodibilidade de um solo pode ser determinada qualitativa ou quantitativamente por meio de ensaios, estes podem ser diretos ou indiretos. Nos métodos diretos, os resultados já representam o potencial erosivo do solo analisado, enquanto os métodos indiretos permitem a avaliação da erodibilidade utilizando correlações.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Local de estudo

O município de Juiz de Fora, como pode ser observado no mapa da Figura 1, possui uma área de 1.435 km². Está situado geomorfologicamente na Unidade Serrana da Zona da Mata mineira, incluída na Região Mantiqueira Setentrional e o bioma corresponde à Mata Atlântica (SIMGEO, 2016).

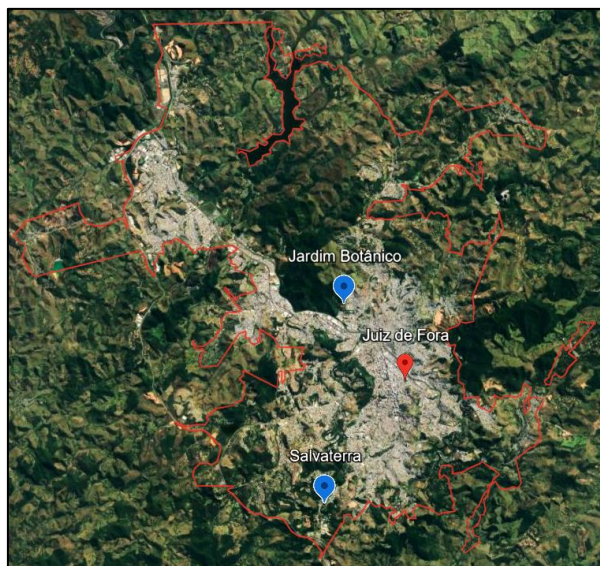


Figura 1. Mapa de Juiz de Fora com as localidades do Jardim Botânico e Bairro Salvaterra

Um dos principais fragmentos de vegetação nativa do município é a Mata do Krambeck, onde localiza-se o Jardim Botânico, em que está situada a Voçoroca I do estudo de caso (Figura 2a). No local há predominância de rochas do tipo gnaiss e granito, muito antigas, recobertas por uma camada originada pelo processo de sedimentação e solo do tipo latossolo vermelho amarelo distrófico (FEAM, 2011).

A Voçoroca II (Figura 2b) localiza-se no Bairro Salvaterra, na Avenida Deusdedith Salgado, a uma distância de aproximadamente 3,0 km da BR-040. A região é predominantemente formada por latossolo amarelo, originado de rochas como charnockitos e granulitos.

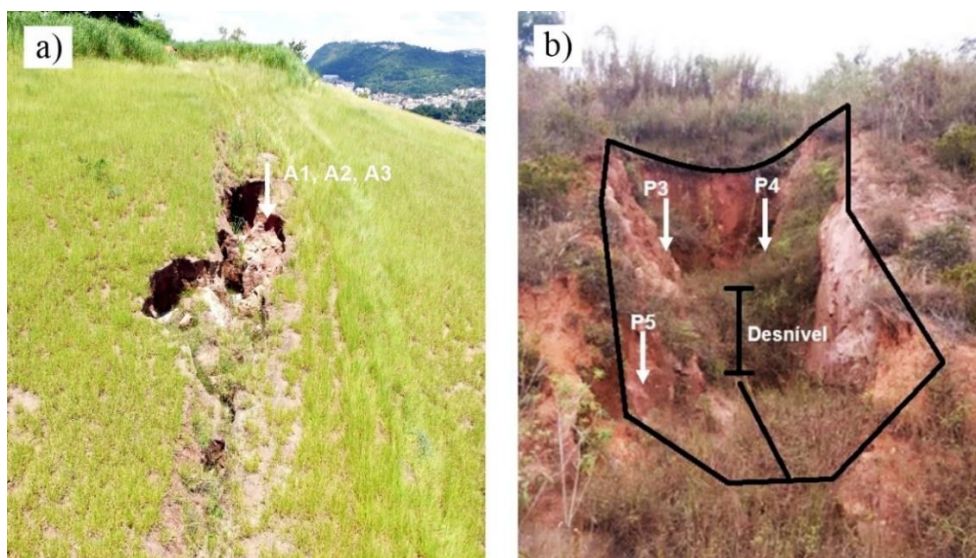


Figura 2. Voçoroca I (a) e Voçoroca II (b)

Ambos os locais são marcados por feições erosivas que vêm sendo estudadas em diferentes projetos de pesquisa da UFJF desde 2015, como Rodriguez *et al.* (2015), Rodriguez *et al.* (2016), Vieira *et al.* (2018) e Carvalho *et al.* (2022).

3.2 Estudos anteriores

Para a Voçoroca I, os dados referentes à granulometria, densidade real dos grãos, ensaio de dispersão e desagregação foram obtidos por Carvalho *et al.* (2022) segundo a NBR 7181 (ABNT, 2016), ME093 (DNER, 1994), a NBR 13601 (ABNT, 1996) e o método de Holmgren e Flanagan (1977 *apud* MASCARENHA *et al.*, 2015).

Quanto à distribuição granulométrica, o solo da Voçoroca I possui 82% de areia, 14% de silte e 4% de argila, sendo classificado como areia siltosa e tendo 25% passante na peneira #200. Além disso, a densidade real dos grãos foi de 2,65 g/cm³. Pelo ensaio de dispersão, a Voçoroca I apresentou grau 3 (moderadamente dispersivo) e pelo ensaio de desagregação houve colapso por fraturamento.

Para a Voçoroca II, além dos dados referentes à granulometria, densidade real dos grãos, ensaio de dispersão e ensaio de desagregação, Vieira *et al.* (2018) realizaram também o ensaio de Inderbitzen modificado nas amostras coletadas e designadas de P3, P4 e P5.

Quanto à granulometria, P3 e P4 foram classificados como silte arenosos e P5 como areia siltosa, tendo a densidade real dos grãos de 2,79 g/cm³, 2,73 g/cm³ e 2,69 g/cm³ respectivamente. Pelo ensaio de dispersão, P3 e P5 apresentaram grau 1 (não dispersivo), enquanto P4 obteve grau 2 (levemente dispersivo). Já pelo ensaio de desagregação, P3 e P5 apresentaram colapso por abatimento e fraturamento, enquanto P4 ficou sem resposta. Pelo ensaio de Inderbitzen, os valores da velocidade de erosão para P3, P4 e P5 foram de 24,79 g/cm²/h, 1,17 g/cm²/h, 51,21 g/cm²/h, respectivamente.

4 METODOLOGIA

Dentre os métodos indiretos para avaliar a erodibilidade dos solos em estudo, foram escolhidas, para o presente trabalho, as correlações de Meireles (1967 *apud* VIEIRA, 2018), Bastos (1999) e Mendes (2006) que avaliam quanto à análise granulométrica e densidade real dos grãos, obtidas pelo ensaio de caracterização física. Essas correlações podem ser observadas na Tabela 1. A granulometria possibilita a determinação do diâmetro das partículas de um solo, que influencia nos fenômenos de desagregação e transporte. Conforme Chuquipiondo (2007), alguns autores afirmam que solos mais erodíveis apresentam partículas da ordem de areia fina ou silte, e pouca quantidade de argila.

Tabela 1. Alguns métodos indiretos para avaliar a erodibilidade dos solos

Autor	Correlações
Meireles (1967)	Solos com % passante na #200 $\leq 20\%$ são fortemente erodíveis; entre 20% e 40% são passíveis de forte erosão; $> 40\%$ são pouco erodíveis
Bastos (1999)	Solos com % passante na #200 $\leq 55\%$ são potencialmente erodíveis
Mendes (2006)	Quanto maior o γ_s , menos erodível é o solo

Quanto aos métodos diretos para análise da erodibilidade, optou-se por realizar o ensaio de Inderbitzen na Voçoroca II, a partir da coleta de cinco amostras indeformadas, no formato de blocos de aresta de 10 cm e altura 5 cm, das quais três foram aptas para ensaio: A1, A2 e A3.

O ensaio de Inderbitzen é considerado simples e de fácil utilização. O procedimento seguiu as instruções de Grando (2011) e o equipamento utilizado em Vieira *et al.* (2018) e Magalhães (2021), que pode ser visto na Figura 3. É comumente realizado para avaliação da erosão superficial e consiste em simular o escoamento superficial de água no solo, considerando fatores como vazão e tempo de atuação do fluxo, declividade da rampa e propriedades do solo, a fim de avaliar o seu efeito. A inclinação utilizada no ensaio foi de 32°, obtida a partir do ângulo de atrito obtido no ensaio de cisalhamento direto e análise de estabilidade do talude em Magalhães (2021).



Figura 3. Equipamento utilizado no ensaio de Inderbitzen

Com o resultado em valores de perdas de solo, é possível estimar o fator de erodibilidade (E) e o fator E acumulado, isto é, somado ao longo do tempo, para que seja feito o cálculo da velocidade de erosão (V_e). A relação entre a massa de solo erodido e a área superficial da amostra em contato com o gotejamento permite uma classificação do solo quanto à erodibilidade, dividida em: faixa A (mais resistente à erosão), B e C (menos resistente à erosão). A Tabela 2 indica os valores definidos para cada faixa segundo diferentes autores, sendo que a adotada nesta pesquisa foi a de Vieira *et al.* (2018), de ensaio com vazão 50 cm³/s.

Tabela 2. Faixas de classificação de erodibilidade pelo Ensaio de Inderbitzen

Referência	Vazão (cm ³ /s)	Faixas de classificação (g/cm ² /h)		
		A	B	C
DNER (1979)	314	0 - 7,0	7,0 - 50,0	> 50,0
Fragassi (2001)	25	0 - 0,8	0,8 - 25,0	> 25,0
Vieira (2018)	50	0 - 1,35	1,35 - 27,0	> 27,0

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados obtidos com os métodos indiretos para análise da erodibilidade dos solos das Voçorocas I e II.

Tabela 3. Quadro-resumo com os resultados dos métodos indiretos

Características analisadas	Voçoroca I - Jardim Botânico	Voçoroca II - Bairro Salvaterra		
Amostras de solo	A1, A2 e A3	P3	P4	P5
Granulometria	Areia siltosa	Silte arenoso	Silte arenoso	Areia siltosa
	82% areia / 14% silte / 4% argila	23% areia / 71% silte / 5% argila	24% areia / 68% silte / 7% argila	61% areia / 37% silte / 3% argila
% Passante na peneira #200	25%	Entre 80 e 85%	68%	Entre 45 e 50%
Densidade real dos grãos (g/cm ³)	2,65	2,79	2,73	2,69
Classificação Meireles (1967)	Passível de forte erosão	Pouco erodíveis		
Classificação Bastos (1999)	Potencialmente erodível	-	-	Potencialmente erodível
Classificação Mendes (2006)	Mais erodível	Menos erodível	Intermediário	Intermediário

Quanto à análise granulométrica, a Voçoroca I possui solo areia siltosa, com 25% passante na peneira #200. Portanto, foi classificada como potencialmente erodível por Bastos (1999) e passível de forte erosão por Meireles (1967 *apud* VIEIRA, 2018). Já a Voçoroca II apresentou P3 e P4 como silte arenoso e P5 como areia siltosa, também potencialmente erodível pela classificação de Bastos, porém pouco erodíveis por Meireles. Os resultados de granulometria corroboraram com Chuquipiondo (2007) de que solos mais erodíveis tem baixo teor de argila.

Para finalizar os resultados dos métodos indiretos, segundo a classificação de Mendes (2006), o solo mais erodível seria a Voçoroca I, com a menor densidade real dos grãos, e o solo menos erodível seria o P3 da Voçoroca II, com o maior valor.

Quanto aos métodos diretos para avaliar a erodibilidade dos solos em estudo, os resultados obtidos foram reunidos na Tabela 4.

Tabela 4. Quadro-resumo com os resultados dos métodos diretos

Características analisadas	Voçoroca I - Jardim Botânico			Voçoroca II - Bairro Salvaterra		
Amostras de solo	A1	A2	A3	P3	P4	P5
Ensaio de Dispersão	Grau 3 - moderadamente dispersivo			Grau 1 - não disp.	Grau 2 - lev. disp.	Grau 1 - não disp.
Ensaio de Desagregação	Colapso por fraturamento			Abatimento e fraturamento	Sem resposta (direção 1 e 2)	Fraturamento e abatimento (direção 1 e 2)
Inclinação do Ensaio Inderbitzen	32°			35°		
E acumulado (g/cm ²)	8,75	7,08	8,32	5,16	0,59	5,42
Ve (g/cm ² /h)	288,05	273	405,11	24,79	1,17	51,21
Classificação pelo Ensaio de Inderbitzen	Faixa C	Faixa C	Faixa C	Faixa B	Faixa A	Faixa C

Os resultados de dispersão mostraram que a Voçoroca I apresentou grau de dispersão 3, enquanto na Voçoroca II o grau de dispersão foi 1 ou 2. Havendo ocorrência de dispersão, provavelmente trate-se de um solo erodível, porém cabe pontuar que nem todo solo erodível é dispersivo, conforme Mascarenha *et al.* (2015). Pelo ensaio de desagregação, um dos solos silte arenosos ficou sem resposta (P4), enquanto os demais apresentaram colapso por fraturamento ou abatimento. Os resultados visuais do ensaio de Inderbitzen para cada amostra podem ser observados na Figura 4.

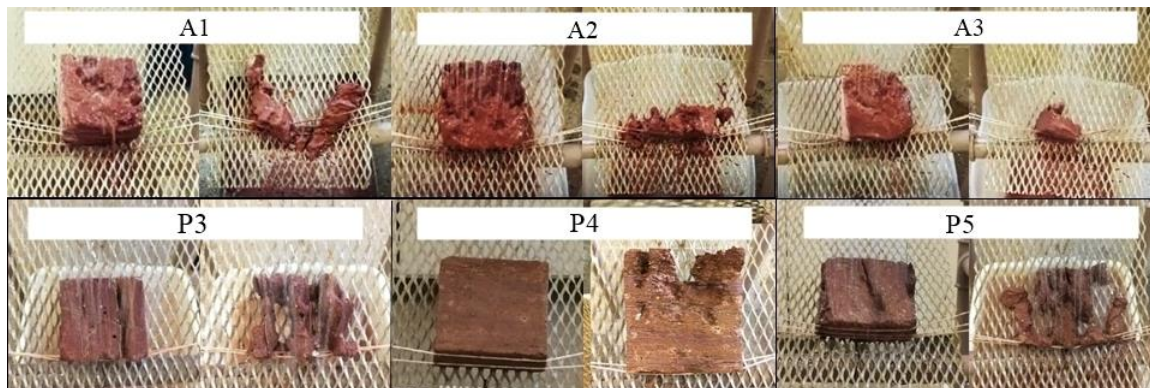


Figura 4. Comparação dos resultados do ensaio de Inderbitzen

Com este ensaio, pôde-se observar nas amostras da Voçoroca I significativas perdas de solo logo nos primeiros minutos. Os valores de E acumulado foram de 288,05 g/cm², 273,0 g/cm² e 405,11 g/cm² para as amostras A1, A2 e A3, respectivamente, a partir dos quais pôde-se calcular a velocidade de erosão.

A areia siltosa da Voçoroca I teve velocidade de erosão variando de 273 a 405 g/cm²/h, enquanto a areia siltosa da Voçoroca II teve velocidade de erosão de 51 g/cm²/h, sendo ambos classificados como Faixa C (menos resistente à erosão), conforme visto na Tabela 2. Já os siltes arenosos da Voçoroca II, tiveram velocidade de erosão 24 g/cm²/h e 1 g/cm²/h, sendo classificados como Faixa B e Faixa A (mais resistente à erosão), respectivamente.

Mais uma vez, confirmou-se que o P4 é o solo com maior resistência à erosão. Dentre as duas áreas analisadas, a Voçoroca I mostrou-se com maior tendência à erosão, tanto pelos métodos diretos quanto indiretos, sendo a amostra A3 a mais erodível.

Os resultados obtidos permitem estabelecer uma relação direta entre a erodibilidade dos solos e sua aplicação em análises geotécnicas. A maior suscetibilidade à erosão identificada nos solos da Voçoroca I representa condição crítica em projetos de estabilidade de encostas, uma vez que a perda progressiva de partículas reduz a resistência ao cisalhamento e acelera processos de instabilização (DIAS; ASSIS, 2010). Por



outro lado, a menor erodibilidade observada em solos da Voçoroca II sugere um comportamento mais estável, ainda que a presença de silte exija atenção em termos de drenagem, devido à sua baixa permeabilidade relativa e à tendência de reter água em condições não saturadas (FREDLUND; RAHARDJO, 1993).

Dessa forma, a análise integrada dos ensaios de erodibilidade e de parâmetros geotécnicos clássicos possibilita subsidiar medidas de proteção, como revestimentos superficiais, bioengenharia e drenagem, práticas recomendadas em obras de infraestrutura para mitigar riscos de instabilidade (CAMAPUM DE CARVALHO *et al.*, 2006).

6 CONCLUSÃO

A partir da pesquisa, pode-se concluir pelos métodos indiretos que os solos de granulometria areia siltosas (Voçoroca I e P5 da Voçoroca II) são mais erodíveis que os siltes arenosos (P3 e P4 da Voçoroca II), confirmando que os de maior densidade real dos grãos também são os menos erodíveis.

Pode-se dizer que o ensaio de dispersão não foi suficiente para diferenciar o comportamento erodível dos solos estudados, pois estes possuem baixo teor de argila. Já o ensaio de desagregação permitiu distinguir o solo de baixa erodibilidade dos demais (P4), que também correspondeu ao solo com maior porcentagem de argila.

Pelo ensaio de Inderbitzen, observou-se uma diferença considerável entre os solos que foram classificados na faixa C, tanto na velocidade de erosão quanto no comportamento dispersivo e na propagação da feição erosiva. Com isso, seria interessante subdividir a faixa C em outra classificação por meio de novos estudos, onde o solo da Voçoroca I provavelmente seria classificado como mais erodível que o solo da Voçoroca II.

Além de contribuir para o entendimento dos processos erosivos em solos saprolíticos, este estudo apresenta aplicações diretas no campo da geotecnia ambiental. A caracterização da erodibilidade dos solos permite avaliar a propensão à instabilidade de taludes e subsidia o dimensionamento de obras de contenção e drenagem, aspectos fundamentais para a segurança de infraestruturas em áreas suscetíveis à erosão.

O embasamento teórico confirma que a integração entre análises geotécnicas clássicas e a avaliação da erodibilidade representa uma abordagem eficaz para prevenir processos de degradação do solo e reduzir custos associados a intervenções corretivas. Os resultados desta pesquisa reforçam, portanto, a relevância de incorporar parâmetros de erodibilidade como componente essencial dos estudos geotécnicos, sobretudo em regiões tropicais brasileiras, onde a interação entre características do solo e condições climáticas potencializa os riscos de instabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, E.; Pinyol, N. Slope stability concepts when dealing with large deformations. *International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, v. 34, n. 5, p. 477-499, 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1996). NBR 13601. *Solo - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio do torrão (Crumb test)*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. *Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Bastos, C. (1999) *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 303 p.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. (1990) *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone. 355 p.
- Camapum de Carvalho, J. *et al.* (Orgs.). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. São Paulo: ABMS, 2006.
- Carvalho, L. *et al.* (2022) *Avaliação da Erodibilidade dos Solos da Erosão do Jardim Botânico de Juiz de Fora*. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), Campinas.
- Chuquipiondo, I. (2007) *Avaliação da estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de água: estudo de caso trecho de vazão reduzida capim branco | Araguari Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 185 p.
- Das, B. M. *Fundamentos de engenharia geotécnica*. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2019.



- Dias, R.; Assis, A. Mecânica dos solos aplicada à estabilização de taludes. *Revista Brasileira de Geotecnia*, v. 30, n. 1, 2010. p. 45-60.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (1979). *Pesquisa de estabilidade de taludes: recomendação para proteção de taludes contra erosão*. Rio de Janeiro, Brasil.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (1994). ME093. *Solos – Determinação da Densidade Real*. 4 p.
- Fragassi, P. (2001) *Estudo da Erodibilidade dos solos Residuais de Gnaisse da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG)*. Tese de doutorado. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 136 p.
- Fredlund, D.; Rahardjo, H. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. New York: Wiley, 1993.
- FEAM (2011). *Mapa de solos do Estado de Minas Gerais*. Disponível em <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- Grando, A. (2011) *Monitoramento e modelagem hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental*. Dissertação de mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 175 p.
- Lima, M. (2003) *Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas*. Tese de doutorado. Brasília: Universidade Federal de Brasília, 336 p.
- Magalhães, L. (2021) *Uso de ensaios geotécnicos na concepção de projetos de recuperação de áreas degradadas: estudo de caso da voçoroca do Jardim Botânico da UFJF, em Juiz de Fora (MG)*. Dissertação de Mestrado. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora. 221 p.
- Magalhães, R. (2001) *Erosão: definições tipos e formas de controle*. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7., Goiânia. Anais... ABGE, 11 p.
- Marques, E. (2015) *Engenharia e bioengenharia aplicadas à recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: Curso de Pós-Graduação lato sensu em Recuperação de Áreas Degradadas. 40 p.
- Mascarenha, M. et al. (2015) *Erosão*. In: Camapum de Carvalho et al. (Orgs.), *Solos não saturados no contexto geotécnico*. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.
- Mendes, C. (2006) *Erosão em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim – RJ*. Tese de doutorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 237 p.
- Pruski, F. (2009) *Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica*. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV. 279 p.
- Rocha, C. et al. (2003) *Mapeamento de riscos ambientais à escorregamentos na área urbana de Juiz de Fora, MG*. *Geografia*, v. 12. p. 509-516.
- Rodriguez, T. et al. (2015) *Estudo da erodibilidade de solos por ensaios geotécnicos*. Relatório de pesquisa. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora. 62 p.
- Rodriguez, T. et al. (2016) *Estudo da erodibilidade de solos de Juiz de Fora por ensaios geotécnicos*. Relatório de pesquisa. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora. 34 p.
- SIMGEO (2016). *A cidade de Juiz de Fora*. Seminário de Pós-Graduação em Geografia, UFJF. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/simgeo/local/>>. Acesso em: 02 abr. 2025.
- Sousa Pinto, C. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. São Paulo: Oficina de Textos. 367 p.
- Vieira, L. et al. (2018) *Influência das Estruturas Reliquiárias em Ensaios de Erodibilidade*. In: Anais do XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), Salvador.
- ZONERISC (2002). *Mapa de risco à erosão em Juiz de Fora – MG*. Produção Científica. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/zonerisc/publicacoes/mapa-de-risco-a-erosao-em-juiz-de-fora-mg/>>. Acesso em: 15 mar. 2025.