

PARÂMETROS FÍSICOS COMO INDICADORES DA ERODIBILIDADE DE SOLOS

Haline Dugolin Ceccato

Mestranda no curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Haline.ceccato@gmail.com

Rafael Matias Feltrin

Professor Adjunto, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Caçapava do Sul
agrofeltrin@gmail.com

Andrea Valli Nummer

Professora Adjunto, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria
a.nummer@gmail.com

Francisco Siqueira Wollmann

Discente em Geologia, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Caçapava do Sul - RS
Wollmann00@hotmail.com

Resumo. *A erodibilidade do solo é um dos fatores quando se trata de erosão e está diretamente relacionado com as propriedades geotécnicas. Através de características intrínsecas dos solos pode-se inferir a questão da susceptibilidade do mesmo frente a erosão e auxiliar desta forma, a identificar áreas mais propícias para tal ocorrência. A avaliação da erodibilidade de um solo pode ser feita através de métodos diretos e indiretos. O estudo teve como objetivo avaliar de maneira indireta a erodibilidade de uma estrada situada na zona rural do município de Caçapava do Sul – RS, a partir de ensaios de caracterização física e mineralógica levando em consideração os diversos critérios sugeridos na literatura. Os resultados encontrados apontaram que os diferentes critérios presentes na literatura, muitas vezes, apresentam divergências entre si, porém, neste caso, os três horizontes estudados, apontaram uma alta susceptibilidade a erosão, convergindo com o observado in loco.*

Palavras-chave: *Erosão. Estrada. Caçapava do Sul.*

1. INTRODUÇÃO

A erodibilidade do solo é um dos principais fatores condicionantes da erosão, estando intimamente relacionada com suas propriedades geotécnicas. A erodibilidade é o fator que justifica o motivo de alguns solos erodirem mais facilmente do que outros, mesmo quando submetidos à ação dos mesmos agentes erosivos. Bastos (1999) descreve que a erodibilidade é uma propriedade do solo que evidencia a maior ou menor facilidade com que as partículas dos solos são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo, sendo a propriedade de maior complexidade de determinação, por estar condicionada a um grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes.

Estudos de características intrínsecas dos solos podem indicar a susceptibilidade do mesmo frente a erosão e auxiliar na previsão de áreas mais propensas à ocorrência de tais processos, auxiliando, desta forma, no planejamento territorial e em medidas preventivas.

A avaliação da erodibilidade de um solo pode ser feita através de métodos diretos e

indiretos. Dentro da avaliação indireta têm-se diversos ensaios, entre eles caracterização física e mineralógica. Ensaios de caracterização física são de extrema importância tanto para a avaliação da erodibilidade quanto para a determinação de qualquer propriedade que envolva solos e rochas sedimentares.

O presente estudo teve como objetivo a avaliação indireta da erodibilidade através de ensaios de caracterização física e mineralógica de uma estrada de terra que dá acesso à Cascata do Salso, um dos 46 geossítios presentes no município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul (BORBA, et al. 2013).

2. MÉTODOS INDIRETOS DE AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS

A caracterização física compreende uma série de características inerentes aos solos que auxiliam na avaliação da erodibilidade. Estes ensaios são regidos pelas normas ABNT 6502/97, 7181/84, 6459/84, 7180/84. De acordo com estudos realizados por Stanchi et al. (2012), os limites de Atterberg estão relacionados com a estrutura e erodibilidade dos solos.

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física são correlacionados à erodibilidade de maneiras diferentes por diversos autores. A seguir, serão detalhados alguns dos métodos que são utilizados.

Segundo Bouyoucos (1935), é possível relacionar a erodibilidade (E) dos solos com sua porcentagem de areia, silte e argila, de acordo com a equação (1):

$$E = \frac{\% \text{ areia} + \% \text{ silte}}{\% \text{ argila}} \quad (1)$$

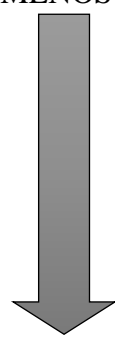
De acordo com Mannigel et al. (2002), através da expressão de Bouyoucos (1935), é

possível obter o fator de erodibilidade do solo (k) (Equação 2), expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm. Ambos os autores classificaram os valores de erodibilidade do solo (k) em três classes diferentes, sendo elas: valores entre 0,01 e 0,03 – baixo; valores entre 0,03 e 0,06 – médio; e, valores acima de 0,06 – alto.

$$K = \frac{(\% \text{ areia} + \% \text{ silte})}{(\% \text{ argila})} \cdot 100 \quad (2)$$

De acordo com Gray e Leiser (1989), é possível estabelecer uma relação do solo quanto à susceptibilidade a erosão, levando em consideração o Sistema Unificado de Classificação dos solos (SUCS/ASTM), conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Critérios adotados por Gray e Leiser (1989) quanto à relação do solo a susceptibilidade a erosão, SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos).

SÍMBOLO	ERODIBILIDADE	
GW		
GP		
SW		
GM		
CH		
CL		
OL		
MH		
SC		
SM		
ML		MAIS

Outros autores levam em consideração os parâmetros do limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP) para correlacionar a erodibilidade com as propriedades dos solos. Desta forma, Santos e Castros (1966) estabeleceram que:

- Solo com comportamento bom ou regular:
 - $LP \leq 32\%$
 - $IP \leq 17\%$
- Solo altamente erodíveis:
 - $LL < 50\%$
 - IP próximo de 20%.

Meireles (1967), em seus estudos, classificou da seguinte forma:

- Fortemente erodíveis:
 - $LL \leq 21\%$
 - $IP \leq 8\%$
 - % passa #200 $\leq 20\%$
- Passíveis de forte erosão:
 - $20\% < \text{% passa \#200} < 40\%$
- Pouco erodíveis:
 - % passa #200 $> 40\%$

Outra proposta foi apresentada por Santos (2001), conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios adotados por Santos (2001) quanto à relação erodibilidade – IP (índice de plasticidade).

IP	Erodibilidade
$IP > 15$	Boa resistência a erosão
$15 > IP > 6$	Média resistência a erosão
$IP < 6$	Baixa resistência a erosão

De acordo com Araujo e Campos (2013), é possível a separação de duas zonas de erodibilidade para indicar a provável tendência de comportamento dos solos, através do triângulo textura. Este autor comparou os resultados de seu estudo a outros autores, conforme consta na literatura (Fonseca e Ferreira, 1981; Santos 1997, Lima 1999 e Facio, 1991).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida neste trabalho constituiu em três etapas, sendo elas:

(a) etapa de campo, na qual se deu os estudos dos processos erosivos atuantes na área de estudo, a partir de um levantamento geológico-geotécnico e com coletas de amostras indeformadas de solo, para posterior realização dos ensaios; (b) etapa de laboratório, na qual foram realizados os ensaios de caracterização física; e, (c) etapa de análise dos resultados.

3.1 Etapa de Campo

Foram realizadas visitas a área de ocorrência de uma voçoroca, conforme Fig. 1.



Figura 1: Ocorrência de voçoroca na estrada de acesso à Cascata do Salso, Caçapava do Sul / RS.

Tal feição erosiva está situada no município de Caçapava do Sul - RS, trata-se de uma estrada de terra de acesso à Cascata do Salso, localizada na estrada do Salso (Fig. 2).

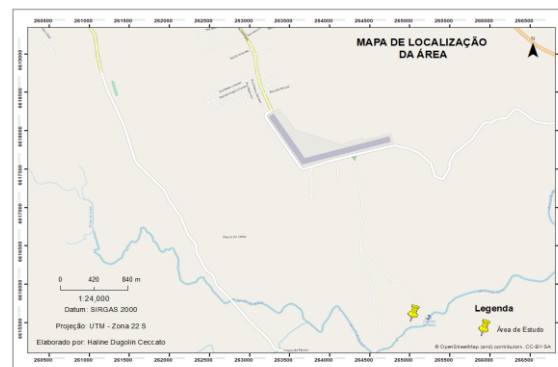


Figura 2: Mapa de localização da área estudada.

A partir das observações de campo, foram selecionados solos de duas localizações, de acordo com as feições erosivas presente nesta área. Foram coletadas amostras de um perfil de solo no interior da voçoroca.

3.2 Etapa de Laboratório

A caracterização física compreende a descrição de uma série de características inerentes aos solos que auxiliam na avaliação da erodibilidade. Nesta etapa, foram realizados os ensaios geotécnicos regidos pelas normas ABNT NBR 6502/95 e 7181/84, para obtenção da granulometria com uso de defloculante; 6459/84, para determinação do limite de liquidez; e, por fim, 7180/84, para determinação do limite de plasticidade.

4 RESULTADOS

4.1 Granulometria

Os resultados dos ensaios granulométricos com o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio) são apresentados na Tabela 3 e a Fig. 3 mostra as curvas granulométricas dos materiais presentes.

Tabela 3 - Frações Granulométricas

Horizontes	Pedregulho	Areia	Silte	Argila
A	0	54,79	7.2	28.02
B	0	50,46	14.38	35.15
C	0	64,40	23.85	11.74

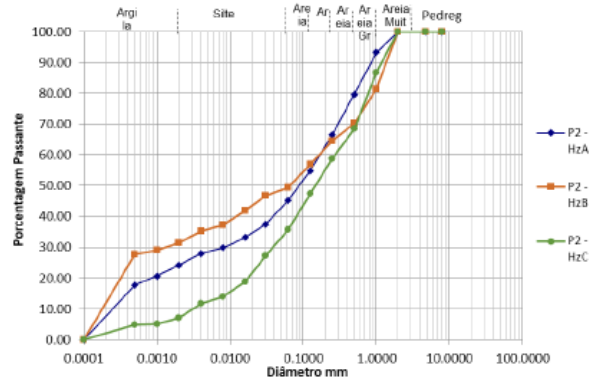


Figura 3 – Resultado da análise granulométrica expressa em gráfico de curva granulométrica.

Observa-se que o perfil de solo estudado não apresentou partículas do tamanho pedregulho, predominando a fração areia. Ao analisar a porcentagem de areia fina e silte (material mais fácil de ser transportado) nas amostras, observa-se que são maiores no horizonte C, que também possui a menor porcentagem de argila.

4.2 Limites

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios para determinação dos limites de consistência das amostras dos horizontes A, B e C.

Tabela 4- Resultados dos Limites

Horizonte	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Horizonte A	30	19	11
Horizonte B	49	25	24
Horizonte C	NP	NP	NP

Todas as amostras apresentaram baixa a média plasticidade com um limite de liquidez inferior a 50% e um índice de plasticidade entre 11 e 24% para os horizontes A e B, respectivamente. O baixo índice de plasticidade do horizonte A está relacionado com a baixa porcentagem de argila. O

horizonte C do perfil não apresentou índice de plasticidade (NP).

4.3 Classificação SUCS

A Tabela 5 apresenta os resultados SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos e HRB – Highway Research Board.

Tabela 5 - Classificação Geotécnica - HRB e SUCS

Classificação Geotécnica		
Horizonte	HRB	SUCS
A	A-2-6	SC
B	A-2-7	SC
C	A-3	SM

De acordo com os resultados apresentando no SUCS, os horizontes A e B são classificados como areia argilosa (SC) e o horizonte C como areia siltosa (SM). Através da HRB, estes horizontes se enquadram como solos granulares com finos (A-2-6, finos argilosos de média plasticidade; A-2-7, finos argilosos de alta plasticidade) e areia fina (A-3).

5.0 DISCUSSÃO

De acordo com as faixas de erodibilidade sugeridas por Mannigel et al. (2002), o resultado do fator K para os horizontes A e B apresentam erodibilidade baixa (0,025 e 0,018, respectivamente), enquanto que o horizonte C, mostrou um fator de erodibilidade alta (0,075).

Em relação à proposta sugerida por Gray e Leiser (1989), que levam em consideração o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS/ASTM), os horizontes A e B são classificados como SC (areia argilosa) e o

horizonte C, classificado como SM (areia siltosa). Desta forma, o horizonte C, mostrou ser mais erodível quando comparado com os demais horizontes estudados.

De acordo com o estudo proposto por Santos e Castros (1966), o horizonte A apresentou um solo de comportamento bom ou regular (LP = 19% e IP = 11%) e o horizonte B resultou em um solo de características altamente erodíveis (LL = 49% e IP = 24%). Não foi possível aplicar esta metodologia para o horizonte C, pois este não apresentou índice de plasticidade, não sendo possível, desta forma, obter os demais limites.

Levando em consideração a proposta de Meireles (1967), os horizontes A e B são caracterizados como pouco erodíveis (% passante #200 é de 45,21% e 49,54%, respectivamente) e o horizonte C mostrou características passíveis de fator erodível (% passante #200 é de 35,59%).

Segundo a proposta de estudo de Santos (2001), o horizonte A apresenta uma média resistência à erosão, enquanto que o horizonte B, resultou numa boa resistência a erosão.

Por fim, de acordo com o triângulo textural proposto por Araujo e Campos (2013), para os três horizontes estudados, os solos mostraram-se potencialmente erodíveis.

Abaixo, são apresentados na Tabela 6 os resultados obtidos para cada critério estudado.

Tabela 6 – Resumo das propostas de erodibilidade.

Autor	Parâmetro	A	B	C
Mannigel et al. (2002)	Equação de Bouyoucos (1935)	Baixo erod.	Baixo erod.	Alto Erod.
Gray e Leiser (1989)	SUCS/ASTM	Erodível	Erodível	Erodível
Santos e Castro (1966, 1976)	LL, LP e IP	Bom ou regular	Altamente erodível	-
Meireles (1967)	LL, IP e % passa #200	Pouco erodível	Pouco erodível	Passível de forte erosão
Santos (2001)	IP e Cu	Média resistência a erosão	Boa resistência a erosão	-

Observação: erod. = erodibilidade

6.0 CONCLUSÃO

A área estudada apresenta certa fragilidade ambiental e tem características de um solo altamente erodível.

Em relação aos diversos autores estudados, o horizonte A foi classificado como “SC”, um solo de “baixa erodibilidade”, “erodível”, “bom ou regular”, “pouco erodível”, “média resistência a erosão” e “solo muito erodível”. Enquanto que o solo do horizonte B, também classificado como “SC” apresentou algumas características diferentes, com os seguintes resultados: “baixa erodibilidade”, “erodível”, “altamente erodível”, “pouco erodível”, “boa resistência a erosão” e “solo muito erodível”. Por fim, o horizonte C foi classificado como “SM”, sendo este mais erodível que os solos “SC” e apresentou as seguintes características, “Alta erodibilidade”, “Erodível”, “Passível de forte erosão” e “Solo muito erodível”.

As propostas que resultaram em convergência para o entendimento do solo SC

são as de Santos e Castros (1966, 1976) e Santos (2001).

De acordo com o que foi observado em campo, os solos dos horizontes A e B, classificados como SC, tem grau de erodibilidade menor que os solos do horizonte C, classificado como SM. O solo SM na área de estudo está altamente erodível e com feições de voçorocas, enquanto que nas camadas SC só foi constatada a presença de sulcos.

Pela análise conjunta dos resultados de laboratório e das observações de campo, conclui-se que os indicadores de erodibilidade utilizados neste estudo proporcionaram previsões satisfatórias do comportamento de ambos os solos SC e SM.

7. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016. 6p.

_____. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995. 18p.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2017.13p.

_____. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2016. 8p.

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016. 3p.

_____. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016. Origem: MB- 27

_____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017. 6p. Origem: MB-30.

ARAÚJO, R. C.; CAMPOS, T. M. P. *Uso dos Ensaios de Penetração de Cone, Desagregação, Sucção e Resistência à Tração para Avaliar a Erodibilidade. Geotecnica* (Lisboa), 2013, v. 128, p.67-85.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BORBA, A.W. et al. Inventário e avaliação quantitativa de geossítios: exemplo de aplicação ao patrimônio geológico do município de Caçapava do Sul (RS, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, 2013, v. 40 (3), p.275-294.

BOUYOUCOS, G. W. (1935). *The clay ratio as a criterion as susceptibility of soils to erosion*. **J. Amer.Soc. Agron., Madison, Wisc.**, 1935, 27:738-741.

FÁCIO, J.A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. 1991. Dissertação de Mestrado em Geotecnica, UnB, Brasília, DF.

FONSECA, A.M.M.C.C.; FERREIRA, C.S.M. **Metodologia para Determinação de um Índice de Erodibilidade de Solos**. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, 1981, Rio de Janeiro, RJ.

GRAY, D.H.; LEISER, A.T. *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control*. **Krieger Publishing Company**, Malabar, 1989, Florida.

LIMA, M.C. **Contribuição ao Estudo do Processo Evolutivo de Boçorocas na Área Urbana de Manaus**. 1999. Dissertação de Mestrado em Geotecnica, UnB, Brasília, DF.

MANNINGEL, A.R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda do solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**. Maringá, 2002, v. 24, n. 5, p. 1335-1340.

SANTOS, C.A. (2001). **Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto**. 2001. *Minas Gerais*. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.

SANTOS, M.P.P.; CASTRO, E. *Soil Erosion in Roads*. **Memória N°282**, 1966, LNEC, Lisboa.

SANTOS, R.M.M. (1997). **Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões no Município de Goiânia**. 1997. Dissertação de Mestrado em Geotecnica, UnB, Brasília, DF.

STANCHI, S., FREPPAZ, M., AND ZANINI, E. *The influence of Alpine soil properties on shallow movement hazards, investigated through factor analysis*. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 2012, 12, 1845–1854. doi:10.5194/nhess-12-1845-2012.