

Análise de Erodibilidade de dois diferentes solos no município de Itabira – MG.

Bruno de Oliveira Costa Couto

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, bruno.couto.amb@gmail.com.

Romero César Gomes

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, romero@em.ufop.br.

Lucas Deleon Ferreira

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, ldf_deleon@yahoo.com.br.

Eleonardo Lucas Pereira

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, eleonardopereira@gmail.com.

Rosyelle Cristna Corteletti

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, rosyelle@ig.com.br.

RESUMO: A erosão pode ser definida como um conjunto de processos pelos quais os materiais componentes da crosta terrestre são degradados, dissolvidos e transportados por diversos agentes erosivos. Dentre os diversos fatores que interferem nesse mecanismo, tem-se a erodibilidade, simplesmente definida como a suscetibilidade do solo à erosão. O presente trabalho aborda o estudo de erodibilidade de um talude de corte situado no município de Itabira – MG, considerando uma condição particular de amostragem. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas e, em seguida foram realizados ensaios de caracterização física, química, mineralógica e da metodologia MCT. Considerando a granulometria houve significativa variação nos percentuais de silte e areia fina quando comparados às amostras dos solos resistentes e suscetíveis à erosão. Observou-se valor baixo do Índice de Plasticidade (IP) para o solo suscetível à erosão, influenciado diretamente pela composição mineralógica deste solo. Os resultados da Metodologia MCT foram bem expressivos, confirmando o caráter mais erodível do solo do horizonte inferior. As análises químicas mostram que os parâmetros CTC, pH e teores de matéria orgânica são mais relevantes na distinção dos horizontes, ratificando que os horizontes mais intemperizados são mais resistentes à erosão. Pela análise da difração de raios x e MEV, verificou-se, mais uma vez, que o solo resistente encontra-se em estado mais intemperizado, apresentando estrutura mais compacta e cimentada quando comparada ao horizonte erodível. Apesar de aplicado apenas para dois tipos de solos, o estudo permitiu uma clara distinção entre o solo resistente e o suscetível aos processos erosivos, necessitando uma análise mais detalhada para diferentes tipos de solos, considerando a mesma condição de amostragem estabelecida neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Erodibilidade, Erosão, Classificação MCT, Índice de Plasticidade, Análise Física, Análise Química.

1 INTRODUÇÃO

O processo de degradação dos solos afeta tanto as regiões rurais quanto urbanas, sendo também evidenciada em áreas de vegetação natural,

constituindo-se em um grave problema ambiental.

A ocupação e uso dos solos pelo homem, quando efetuados de maneira desordenada, ocasionam uma série de consequências, dentre as quais se destacam: a perda de solos férteis, o

assoreamento de cursos d'água e de reservatórios, a poluição de corpos d'água, a redução do volume de água disponível para abastecimento urbano, a diminuição da produtividade agropecuária, bem como a ocorrência de desastres urbanos, tais como os movimentos de massa em geral.

O processo erosivo constitui uma das formas mais agressivas de degradação dos solos, sendo responsável por significativos danos econômicos.

A erosão é um processo complexo que pode ser caracterizado como natural ou acelerada. A erosão natural é o desgaste do solo em equilíbrio com a sua taxa de formação e a erosão acelerada é a ação de destruição sobre o solo constituído, em período de tempo muito menor do que o de sua formação, estas muitas vezes ocasionadas devido a ações antrópicas (Bertoni & Lombardi Neto, 2010).

Apesar deste processo se encontrar bem conceituado, o estudo e mensuração da erosão não é tarefa fácil, visto o grande número de variáveis intervenientes nesse processo. Duas destas variáveis são apontadas como deflagradoras do processo erosivo: as características particulares de cada solo (também conhecido por erodibilidade) e a erosividade da água, influenciado pelo regime pluviométrico da região. Complementarmente a estes dois fatores, têm-se aqueles responsáveis pela modelação das feições erosivas, chamados de fatores moduladores, dentre eles podemos destacar: a cobertura vegetal, o relevo e a ação antrópica.

Como marco inicial da quantificação dos processos erosivos tem-se a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978), sendo expressa da seguinte forma:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Onde: A é a perda de solo por unidade de área e de tempo, expressa em t/ha.ano; R é o fator erosividade da chuva; K é o fator erodibilidade do solo; L é o fator comprimento de rampa; C é o fator cobertura vegetal; S é o fator inclinação da rampa e P é o fator de práticas e cultivos de manejo.

Segundo Bacellar (2000), a erodibilidade é um índice que expressa a suscetibilidade à

erosão de um material a um determinado agente erosivo. No caso da erosão hídrica, a erodibilidade pode ser visualizada como dependente do balanço de forças opostas, as forças atuantes dos agentes erosivos e as resistentes do material. A partir do conceito de erodibilidade, diversos autores se propuseram a avaliar as condições físicas e químicas dos solos, na busca por uma propriedade dos mesmos que estivesse diretamente relacionada ao desencadeamento do processo erosivo (Couto, 2015).

A estimativa de índices de erodibilidade depende claramente do agente erosivo e, no caso da erosão hídrica, será influenciado pelo processo envolvido, uma vez que as forças atuantes sobre o solo dependerão da forma de como a erosão se desenvolve, seja ela por fluxo superficial, por salpicamento, ou por fluxo subterrâneo. Existem diversas proposições para a determinação da erodibilidade por meio de ensaios laboratoriais, considerando as propriedades físicas e químicas, sendo que algumas são baseadas em correlação com índices obtidos em laboratório e outros por meio de simulações utilizando modelos reduzidos. A maioria destes estudos é voltada para soluções de problemas da engenharia geotécnica relacionados à erosão hídrica de solos tropicais e subtropicais (Bastos *et al.*, 2000).

Inúmeros autores buscaram desenvolver índices de erodibilidade por meio de parâmetros de laboratório, dentre eles pode-se destacar: Midleton, 1930; Voznesensky e Artsruui, 1940; Wischmeier & Smith, 1978; Nogami e Villibor, 1979; Dernadin, 1990; Pejon, 1992. Grande parte destes índices é baseada na resistência do solo a desagregação e a infiltração, porém estes índices representam uma medida relativa e podem não representar o comportamento de solo a um processo erosivo em condições naturais.

Diante disso o presente trabalho tem por objetivo a realização de uma campanha de ensaios de caracterização física, química, mineralógica e classificação MCT para dois solos localizados no município de Itabira – MG. No entanto, este estudo objetiva estudar a influência específica dos solos quanto aos

efeitos da erodibilidade, logo buscou-se uma condição específica de amostragem, adotando um talude de corte conformado por dois horizontes tipicamente distintos em relação a ação dos processos erosivos. Ao se estudar as variáveis geotécnicas que tenderiam a condicionar o comportamento distinto entre os dois horizontes, a partir de uma mesma referencial espacial e ambiental, torna-se viável estabelecer correlações diretamente associadas às naturezas específicas das formações locais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

As amostras utilizadas neste trabalho foram retiradas de um talude localizado nas proximidades do município de Itabira – MG (Figura 1). O ponto amostrado encontra-se na região do Quadrilátero Ferrífero, uma das mais importantes províncias minerais do Brasil, dotada de uma complexidade geológica, visto os diferentes grupos e formações geológicas.

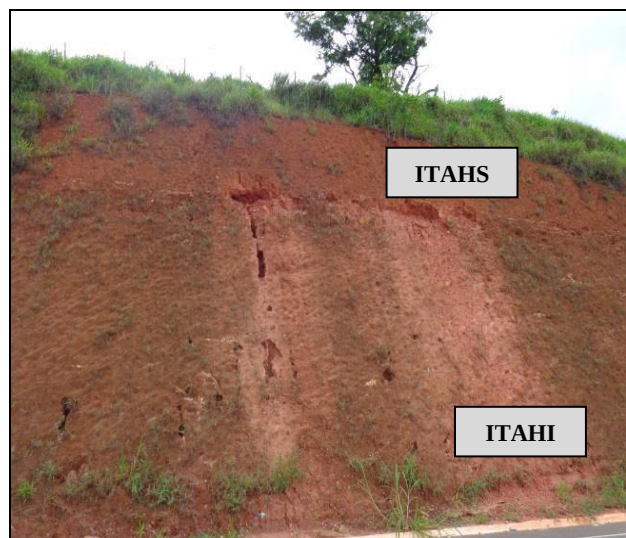


Figura 1. Talude amostrado no município de Itabira (MG).

O talude é constituído por um solo residual de gnaiss dos complexos metamórficos de idade arqueana do Quadrilátero Ferrífero, que podem apresentar também inclusões anfibolíticas, migmatitos e granitos de composições variadas, associadas a um amplo espectro de metamorfismo regional. Conforme discutido anteriormente, este talude foi

escolhido para amostragem por apresentar dois horizontes com comportamento distintos em relação aos processos erosivos.

O horizonte superior é constituído por um solo de cor vermelho amarronzada, apresentando granulometria silto-arenosa, com presença de quartzo e magnetita em frações milimétricas, disseminadas de forma esparsa na matriz argilosa.

O horizonte inferior do talude, por sua vez, é composto por um solo de cor roxa, variando a vermelho esbranquiçado, com granulação muito fina. O mesmo encontra-se bastante alterado, com bandamento visível, friável e sem coesão, apresentando início de desenvolvimento do processo erosivo, além de possuir veios de quartzo com declividade 105/59. As amostras retiradas nos horizontes superior e inferior do talude foram identificadas, respectivamente, como ITAHS e ITAHI (Figura 2).

Esta Condição de amostragem torna-se interessante uma vez que minimiza a influência dos demais fatores intervenientes no processo erosivo; assim, tanto o solo resistente como aquele susceptível à erosão estão submetidos às mesmas condições ambientais (chuva, temperatura, vento, etc.), de inclinação e cobertura vegetal. Portanto o desencadeamento do processo erosivo estaria fortemente associado ao próprio solo.

2.2 Ensaios de Laboratório

Os solos amostrados foram submetidos previamente a ensaios de caracterização geotécnica, compreendendo a determinação da granulometria do solo (NBR – 7181, 1986), limite de liquidez (NBR – 6459, 1984), limite de plasticidade (NBR – 7180, 1984), massa específica real dos grãos; neste propósito foram preparadas amostras conforme as procedimentos estabelecidos pela norma NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização (ABNT, 1984). Todos os ensaios foram realizados no Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada (CTGA) do Núcleo de Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

A caracterização química dos solos foi feita

de forma conjunta pelo método de fluorescência de raios x e análise química da fração ‘terra fina’ (partículas inferiores a 2 mm de diâmetro). Os ensaios de fluorescência objetivaram analisar os óxidos em maior concentração no solo, já a análise da fração terra fina consistiu na determinação dos seguintes parâmetros químicos: capacidade de troca catiônica (CTC), pH em água e em solução de KCl, acidez potencial (H + Al) e teor de matéria orgânica (M. O.).

Com objetivo de analisar a mineralogia da fração argila foram realizados ensaios de difratometria de raios x e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para realização da microscopia foram utilizadas amostras agregadas (torrões) de pequenas dimensões, provenientes do desprendimento do bloco indeformado, e posteriormente observados em aumentos de 500 a 3.000 vezes.

As amostras coletadas também foram submetidas à metodologia MCT, composta pelos ensaios de compactação segundo procedimento Mini-MCV (*Moisture Condition Value*) e ensaio de perda de massa por imersão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras foram submetidas a uma avaliação geotécnica global, baseada em ensaios de laboratório convencionais, para determinação de uma possível associação dos mesmos à erodibilidade. A Tabela 1 abaixo apresenta um resumo dos dados da caracterização geotécnica dos materiais estudados.

Por meio da Tabela 1, nota-se que as frações silte e areia foram predominantes, salientando para o aumento da fração silte e diminuição de areia fina observada no horizonte inferior (HI). Ainda é possível observar uma pequena redução do percentual de argila quando comparamos os dois solos.

Analisando a influência da granulometria por meio dos coeficientes de não uniformidade (C_U) e de curvatura (C_C), verifica-se que os materiais estudados apresentam nítida distinção de graduação, sendo que o solo do horizonte superior (ITAHS) apresenta melhor graduação. Porém estes valores não se associam com

alguns critérios estabelecidos na literatura, como, por exemplo, o definido por Hénensal (1987) que considera solos erodíveis aqueles que apresentam um coeficiente de não uniformidade inferior a 5 ($C_U < 5,0$).

Tabela 1: Análise granulométrica, limites de consistência e índices físicos dos solos estudados.

	ENSAIO	ITAHS	ITAH I
Granulometria (Escala ABNT NBR 6502/1995)	Argila (%)	10,0	7,5
	Silte (%)	40,2	47,5
	A. fina (%)	43,6	24,2
	A. média (%)	4,6	8,5
	A. grossa (%)	1,4	4,2
	Pedreg. (%)	0,2	8,1
	C_C^1	1,6	1,0
	C_U^2	45	19,5
Limites de Consistência	LL (%)	69,3	38,9
	LP (%)	30,6	32,5
	IP	32,5	6,4
	Atividade	3,9	0,8
Índices Físicos	γ_s (KN/m ³) ³	26,5	26,7
	e ⁴	1,5	1,2
	n (%) ⁵	59,3	54,5

¹ C_U = Coeficiente de não uniformidade.

² C_C = Coeficiente de Curvatura.

³ γ_s = massa específica real dos grãos

⁴ e = índice de vazios

⁵ n = porosidade

Os índices de consistência apresentaram uma variação significativa. Primeiramente nota-se que o limite de liquidez do solo ITAHS foi superior, ao passo que o índice de plasticidade do horizonte inferior (suscetível à erosão). Estes parâmetros confirmam observações feitas por outros autores, como Camapum de Carvalho *et al.* (2006) que postula que solos com elevado índice de plasticidade são menos erodíveis, à

exceção dos chamados solos dispersivos.

A plasticidade de um solo está diretamente relacionada à mineralogia da fração fina. De modo a correlacionar indiretamente estas duas variáveis foi calculado o índice de atividade de argilas, conforme definido por Skempton (1953). Os resultados se mostraram significativos, uma vez que o índice de atividade de argilas para o solo ITAHS se mostrou superior em algumas vezes, indicando que a mineralogia e o percentual de finos podem estar diretamente relacionados com a evolução dos processos erosivos.

Os parâmetros peso específico das partículas sólidas (γ_s), índice de vazios (e) e porosidade (n) apresentam variações pouco expressivas para ambos os horizontes, mas podem indicar uma maior permeabilidade do solo superior (ITAHS).

Os solos foram também caracterizados segundo parâmetros químicos, determinados por meio de uma análise conjunta de fluorescência de raios x (Tabela 2) e análise química da fração terra fina (Tabela 3).

Além da estimativa dos óxidos em maior concentração no solo, foram calculados também os coeficientes K_i e K_r que fornecem boa correlação com o grau de intemperismo, visto que o silício (Si) apresenta maior mobilidade quando comparado ao alumínio (Al) e ferro (Fe).

Tabela 2: Fluorescência der raios x dos solos estudados.

Fluorescência	ITAHS	ITAI
SiO ₂ (%)	29,59	43,40
Al ₂ O ₃ (%)	33,63	32,12
Fe ₂ O ₃ (%)	31,45	14,97
TiO ₂ (%)	2,26	1,49
K ₂ O (%)	1,05	6,57
MnO (%)	0,14	0,12
SO ₃ (%)	1,75	1,22
K _i	1,50	2,30
K _r	0,94	1,77

O índice K_i expressa a relação entre os óxidos de silício e alumínio, ao passo que o coeficiente K_r apresenta resultados similares considerando também os óxidos de ferro em seu calculo. Desta forma quanto menores estes coeficientes, maior será o grau de intemperismo do solo e, conseqüentemente, maior será a resistência do mesmo à erosão.

Ao analisar os solos de Itabira, concluímos que o horizonte superior (ITAHS) apresenta-se mais intemperizado, possuindo menores coeficientes K_i e K_r , menor concentração de SiO₂ e maior teor de Fe₂O₃.

Tabela 3: Análise química da fração terra fina

Análise Química	ITAHS	ITAI
pH H ₂ O	4,8	5,1
pH KCl	4,3	4,1
Δ pH	-0,5	-1,0
CTC total (cmolc/dm ³)	5,1	1,7
H + Al (cmolc/dm ³)	4,1	1,2
M. O. (dag/Kg)	1,0	0,2

A partir dos dados obtidos na Tabela 3 foi possível calcular o parâmetro Δ pH, dado por: Δ pH = pH_{KCl} – pH_{água}. Um valor negativo de Δ pH indica uma predominância de argilas silicatadas, enquanto que valores positivos de Δ pH estão relacionados ao predomínio de óxidos de ferro e alumínio. Portanto, consiste em outro indicativo do grau de intemperismo do solo. Neste estudo não foram obtidos valores positivos para Δ pH, porem observa-se que o valor para o solo ITAHS é inferior em módulo, o que pode indicar um grau mais acentuado de intemperismo. Da mesma forma a acidez potencial (H + Al) também está diretamente relacionado com o grau de intemperismo, deforma que valores acentuados deste parâmetro indicam a presença de argilominerais em estado avançado de intemperismo, como a caulinita.

Os valores capacidade de troca catiônica (CTC) encontrados foram baixos, porém apresentaram uma variação considerável entre as duas amostras, ressaltando que este parâmetro está diretamente relacionado com o percentual de finos, natureza do argilomineral e teor de matéria orgânica.

O teor de matéria orgânica, embora baixo, apresenta distinção significativa entre os solos. De maneira que o ITAHI (erodível) apresentou o menor teor. Diferentes autores têm buscado estabelecer correlações entre concentrações de matéria orgânica presentes nos solos e índices de erodibilidade; uma das dificuldades neste propósito é estabelecer o teor mínimo capaz de afetar a estabilidade de agregados.

As imagens obtidas pela microscopia eletrônica de varredura mostraram que o solo ITAHS (resistente à erosão) possui uma estrutura mais compacta, devido ao efeito de agregação das partículas argilosas por meio de uma matriz cimentante de óxidos de ferro (Figura 2). Para o solo ITAHI verifica-se uma estrutura desordenada, conferindo um aspecto estrutural frágil (chamada por alguns autores de estrutura tipo ‘castelo de cartas’), em função, principalmente, da estrutura lamelar dos minerais micáceos (Figura 3).

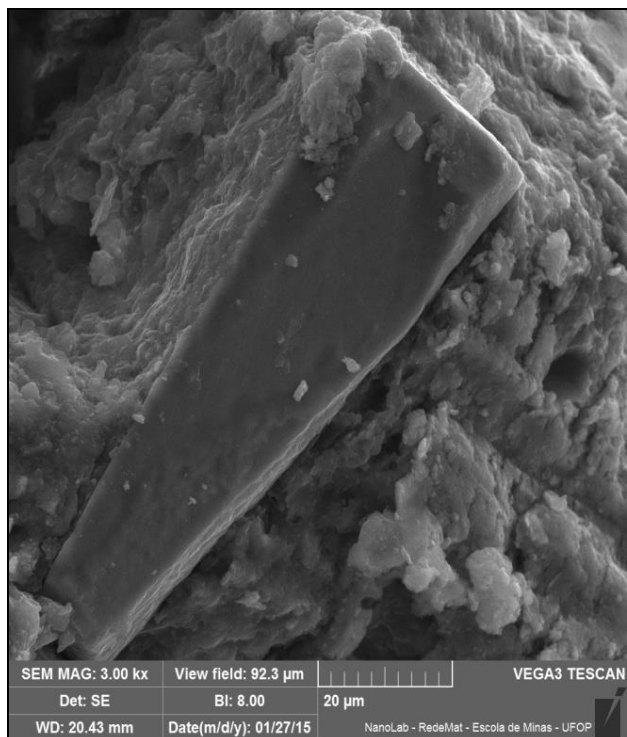


Figura 2. Ensaio de MEV para solo ITAHS (3.000x).

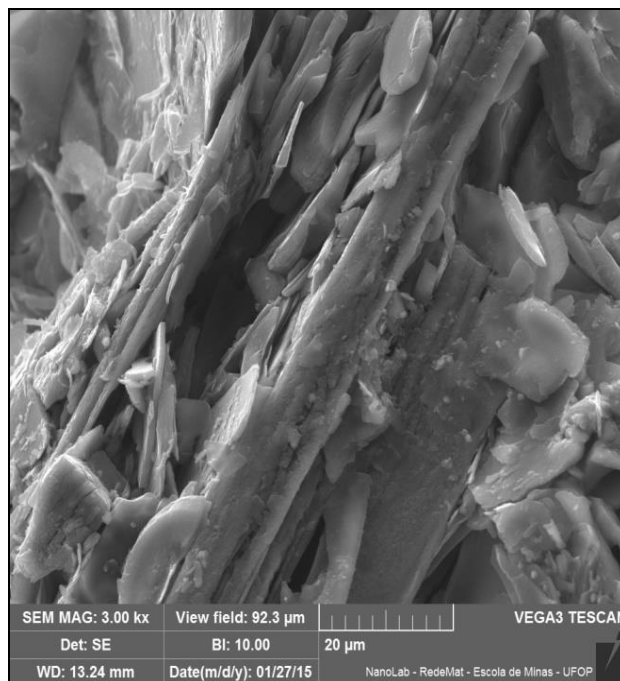


Figura 3. Ensaio de MEV para solo ITAHI (3.000x).

Os resultados da difração de raios x revelaram que os solos são essencialmente cauliniticos e quartzosos, apresentando óxidos de ferro e alumínio em sua composição. Ainda foi observado que o solo ITAHI apresentou minerais micáceos e feldspato potássico em sua composição, indicando menor grau de intemperismo.

Considerando a classificação MCT o ITAHS apresentou nítidas características lateríticas e devido ao elevado valor apresentado para o coeficiente c' foi classificado como LG' (laterítico argiloso), evidenciando uma boa resistência à erosão (Tabela 4). Por outro lado, a amostra ITAHI foi classificado como NA (areia não-laterítica), em função de seu baixo valor para o coeficiente c' e perda de massa (P_i) elevada, ultrapassando 300%.

Tabela 4: Parâmetros da classificação MCT.

Parâmetros MCT	ITAHS	ITAHI
d'	77,73	38,04
c'	2,18	0,50
P_i (%)	17,10	318,10
e'	0,75	1,79

Nogami e Villibor (1995) buscaram estimar o potencial de erodibilidade de taludes de corte, com base na resistência dos agregados e na perda de massa por imersão, onde definiram que solos classificados por NA, NA', NS' seriam potencialmente erodíveis ao passo solos do grupo LG' e LA' seriam resistentes aos processos erosivos. Desta forma a classificação MCT mostrou-se relevante para distinção de solos potencialmente erodíveis, de forma que solos considerados lateríticos apresentam maior resistência à erosão.

4 CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos pelo diferentes ensaios, foi possível distinguir o solo resistente do suscetível à erosão, de forma que alguns parâmetros deixaram esta característica mais visível. Dentre eles podemos destacar o índice de plasticidade que apresentou variação significativa, provavelmente relacionada à natureza do argilomineral presente.

As análises químicas também foram fundamentais, indicando que solos mais intemperizados apresentam maior resistência aos processos erosivos. A metodologia MCT também apresentou resultados satisfatórios, salientando que solos saprolíticos são suscetíveis aos processos erosivos, devido, principalmente, aos elevados valores de perda de massa registrados.

É importante ressaltar que as análises realizadas neste estudo se restringem a apenas dois tipos de solos, submetidos a condições ambientais similares, exigindo a aplicação desta metodologia para amostras provenientes de outras formações geológicas e submetidas a condições ambientais distintas, de modo a verificar a repetição dos resultados obtidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Bacellar, L. A. P. (2000). *Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG*. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 240 p.
- Bastos, C. A. B.; Milititsky, J.; Gehling, W. Y. Y. (2000). *A avaliação da erodibilidade dos solos sob enfoque geotécnico – Pesquisa e Tendências*. Teoria e Prática na Engenharia Civil, Rio Grande/RS, v. 1. 17 – 26 p.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. *Conservação do solo*. 7ª ed. São Paulo. Editora Ícone, 2010. 355p.
- Camapum de Carvalho, J. (Org.); Sales, M. M. (Org.); Souza, N. M. (Org.); Melo, M. T. S. (Org.). (2006). *Processos erosivos no centro-oeste brasileiro*. Brasília: Universidade de Brasília. FINATEC. 464 p.
- Couto, B. O. C. *Análise da erodibilidade em taludes com horizontes resistentes e suscetíveis aos processos erosivos*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Núcleo de Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2015
- Dernadin, J. E. *Erodibilidade estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1990.
- Hénensal, P. (1987). Le rique d'érosion hydrique des sols. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. France. 1987. 117 – 129 p.
- Middleton, H. E. Properties of soils wich influence soil erosion. U. S. *Departament Agricultural Technical Bulletin*, n. 178, 16 p., 1930.
- Nogami, J. S., Villibor, D. F. Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. Bulletin o the International Association of Engineeringg Geology, Krefeld, n. 19, p. 196-199,1979.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo/SP. Cap 7: Erosão na faixa marginal, p. 169-196. Editora Villibor, 1995.
- Pejon, O. J. *Mapeamento Geotécnico regional da folha de Piracicaba-SP escala 1:10.000: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos*. Tese (Doutorado) – EESC/USP, São Carlos, 224 p.; 2 vol.; 1992.
- Skempton, A. W. (1953). *The colloidal activity of clays*. In: Proc. Of the 3rd Int. Conf. of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zurich
- Voznesensky, A. S.; Artsruui, A. B. A laboratory method for determining the anti-erosion resistance of soils. *Soils anda Fertilizer*, n. 10, p. 289-192, 1940.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses. *A guide conservation planning. USDA Handbook*, Washington, n 537, 57p., 1978.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains-guide for selection on practices for soil and water conservation. Washigton: USDA, 1965. 47 p. (*Agriculture Handbook*, 282).
- Wischmeier, W. H; Mannering, J. V. *Relation of soil properties to its erodibility*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33 (1): 131 – 137, 1969.