



**Determinação dos Parâmetros de Erodibilidade de um
Talude de Corte na Sub-Bacia Rio Sana (Macaé, RJ, Brasil)**
Determination of the Erodibility Parameters of a
Cutting Slope in Sana River Sub-Basin (Macaé, RJ, Brasil)

Rafael Ferro Moreira & Helena Polivanov

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, CCMN, IGEO, Departamento de Geologia. Laboratório de Solos.
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, bloco J0, s/J0-005. 21.941-916, Campus Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

E-mails: rafaferro@oi.com.br; hpolivanov@gmail.com

Recebido em: 12/11/2018 Aprovado em: 18/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_682_694

Resumo

Os problemas relacionados à erosão dos solos incluem perdas de áreas agricultáveis e instabilização de taludes. Assim, obter índices que reflitam a erodibilidade dos solos de uma região pode proporcionar um melhor planejamento ocupacional de áreas ainda pouco degradadas. Nesse trabalho foi estudado um perfil em um talude de corte que reflete a geologia da área, tendo sido analisados os horizontes B (pedológicos) e C (solos saprolíticos) da sub-bacia do rio Sana (Macaé/RJ). Para tanto, foi realizado o reconhecimento de campo de feições erosivas, em que se verificou uma predominância de terracetes de pisoteio de gado, e a coleta de amostras deformadas e indeformadas para a realização de análises laboratoriais de caracterização física, mineralógica e geotécnica, através de ensaios de cisalhamento direto nas condições de umidade natural e inundada. Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, através da variação da coesão obtida nos dois estados de umidade apontaram que os solos saprolíticos são mais erodíveis que os solos pedológicos, o que também foi corroborado por índices de classificação envolvendo granulometria e consistência, coincidindo com as observações de campo, com feições erosivas predominando nos horizontes C. Logo, a região de estudo é bem suscetível à erosão se não houver uma política de manejo e ocupação adequada, pois os solos pedológicos da região são bem rasos e sua erosão possibilita a exposição dos horizontes C, bem mais erodíveis.

Palavras-chave: Erodibilidade; Coesão; Cisalhamento direto

Abstract

The issues associated to soil erosion include losses of arable lands and slopes destabilization. Thus, obtaining indexes which reflect the soil erodibility of a region can provide a better occupational planning in poorly degraded areas. In this work, a soil profile exposed at a cut slope face which reflects the regional geology was studied by Sana river sub-basin (Macaé/RJ) pedological (B) and saprolitic soils (C) analysis. In order to do so, field recognition of erosive features was carried out, in which was found the predominance of cattle-tracks. In addition, disturbed and undisturbed soils samples were collected for physical, mineralogical and geotechnical characterization through direct shear tests with natural moisture content and flooded samples. The results of the direct shear tests, by means of cohesion variation acquired in these two moisture states show that the saprolitic soils are more erodible than the pedological ones, which was also corroborated by classification indexes related to grain size distribution and consistency and field observations which concluded that erosive features are predominant in C horizons. So, the study region is very susceptible to erosion unless there is an appropriate management and occupation policy, because the local pedological soils are very shallow and their erosion allow C horizons exposure, which are more erodible.

Keywords: Erodibility; Cohesion; Diretc shear

1 Introdução

O termo erosão têm sua origem na palavra “*erodere*”, do Latim, significando “arrancar” (Zachar, 1982). O processo erosivo consiste na desagregação e o arraste das partículas do solo (Faria *et al.* 2003) e, considerando climas tropicais, seu principal agente é a água. Esse processo é natural e pode ser intensificado pela atividade humana, levando a chamada erosão acelerada (Abbaszadeh Afshar *et al.*, 2010) que segundo Djorovic (1999), é responsável por mais da metade da degradação dos solos do mundo, promovendo perdas financeiras associadas ao assoreamento de reservatórios de barragens, diminuição da fertilidade e produtividade dos solos (Morgan, 2005). Um fator considerado importante no processo erosivo é a erosividade, que é definida por Hudson (1961) como a habilidade da chuva causar erosão, estando relacionada aos seguintes parâmetros: total pluviométrico, intensidade, momento e energia cinética. Em climas tropicais, a ocorrência de elevadas temperaturas e intensidades de chuva além de perfis de solos espessos, explicados pelo intenso intemperismo químico atuante, acarreta forte atividade erosiva, predominantemente hídrica. Outro fator de suma importância para o estudo do processo erosivo é a propriedade de erodibilidade dos solos, que em sua definição original, é a susceptibilidade do solo ao processo erosivo (Wischmeier & Smith, 1965) combinando efeitos de diversos sub-processos que controlam a resposta erosiva (Bryan, 2000), sendo também definida por Lombardi Neto & Bertoni (1975) como uma propriedade do solo que é resultante da interação entre suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas, refletindo a perda diferencial que os solos apresentam quando os demais fatores que influenciam a erosão permanecem constantes, podendo ser avaliada através de correlações entre propriedades geotécnicas e mineralógicas dos solos.

A resistência do solo a processos erosivos inclui muitas de suas propriedades, entre elas: textura, estabilidade de agregados, conteúdo de matéria orgânica, mineralogia das argilas, teor de umidade prévio, capacidade de troca catiônica e resistência ao cisalhamento (Wuddivira, Stone & Ekwue, 2013). A

erodibilidade dos solos, conforme Bender (1985), está diretamente relacionada à resistência ao cisalhamento dos mesmos, em função da alteração da coesão do solo devido à infiltração de água em eventos chuvosos. Bastos (1999), com base no princípio de Mohr-Coulomb, relata que, para tensões relativamente baixas, às quais o solo que sofre erosão está submetido, a coesão é responsável pela resistência ao cisalhamento, e deve ser analisada através da redução da coesão (D_c), relacionando as coesões na umidade de campo e na condição inundada. Pinheiro *et al.* (2012), Santana *et al.* (2013) e Basso *et al.* (2014) também observaram que a variação da coesão era diretamente proporcional ao caráter erosivo dos solos.

Embora o ensaio de cisalhamento apresente restrições teóricas, como a rotação das tensões principais e a impossibilidade de medição das poropressões, Cheung *et al.* (1988) ressaltaram, ao realizar ensaios de cisalhamento direto em solos provenientes de granitos em Hong Kong, que o ensaio de cisalhamento direto simula bem as condições de baixas tensões normais e inundação, representando condições de deformação que podem ser bem representativas do processo erosivo superficial e subsuperficial.

O trabalho tem como objetivo a obtenção de parâmetros de erodibilidade de talude de corte de um perfil típico da sub-bacia do rio Sana (Macaé, Rio de Janeiro) buscando avaliar e quantificar a erodibilidade e correlacionar com as propriedades físicas, mineralógicas e geotécnicas dos materiais estudados.

2.1 Área de Estudo

Localização da Sub-Bacia do Sana

A sub-bacia hidrográfica do rio Sana (Figura 1) fica localizada entre as coordenadas 7538946 S, 7524214 S, 782477 W e 794570 W, em UTM, Datum WGS84, a oeste do município de Macaé, na vertente sul da Serra do Mar, no médio-alto curso da bacia do rio Macaé, fazendo divisa ao sul com o município de Casimiro de Abreu, com Trajano de Moraes a noroeste e com Nova Friburgo a oeste.

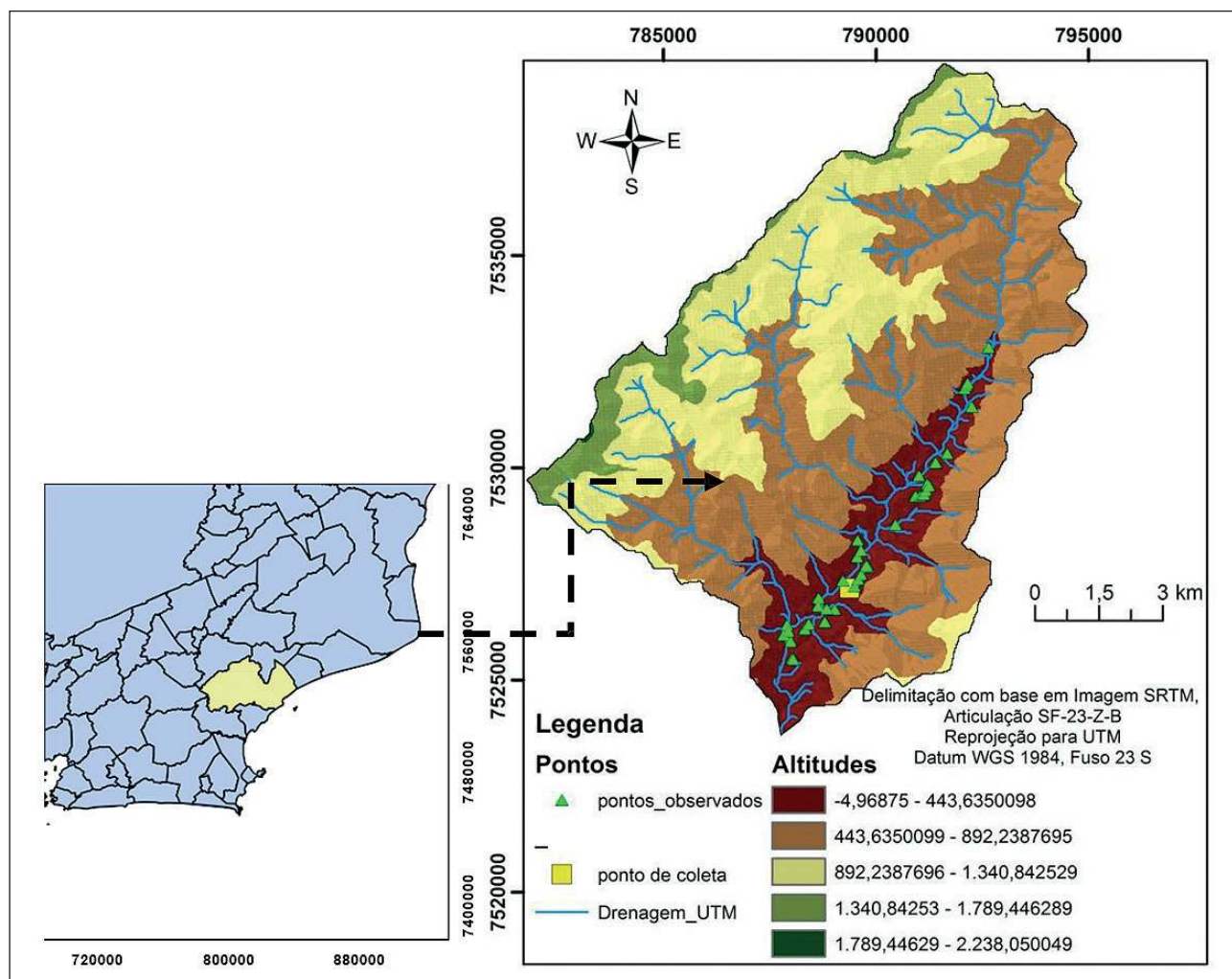


Figura 1 Localização da sub-bacia hidrográfica do Sana e localização dos pontos estudados.

3 Características Fisiográficas da Sub-Bacia do Sana

Na sub-bacia do rio Sana predominam as unidades litoestratigráficas São Fidélis (pré-Cambriano), composta por gnaisses com bolsões e veios anatóticos de composição granítica, e a Sana (Paleozóico), formada por monzo e sienogranitos leucocráticos de granulação fina a média. Os depósitos Colúvio-Aluvionares (Cenozoico) são constituídos por sedimentos quaternários. Estruturalmente há predominância de orientação NE/SW (alto curso), com estabelecimento de controle estrutural no traçado do rio Sana (Geraldés *et al.*, 2012).

Na compartimentação geomorfológica da sub-bacia do rio Sana predominam as classes forte

ondulado e montanhoso, onde a intensidade da erosão é mais elevada, conforme classificação EMBRAPA (1997). As porções de menor declive, que são minoritárias na sub-bacia do rio Sana, apresentam as classes plano, suave ondulado e ondulado. Já as porções de relevo escarpado perfazem porcentual insignificante.

As classes pedológicas que predominam nos relevos forte ondulado e montanhoso nesta sub-bacia são Cambissolo (predominante) e Neossolo Litólico (extremo oeste da sub-bacia), conforme Carvalho Filho *et al.* (2001).

A região possui clima quente e semi-úmido, com estação seca bem definida e amplitude térmica

entre 6°C e 35 °C (Jeronymo & Silva, 2011), que associado ao aspecto rugoso do relevo promove a ocorrência de chuvas orográficas. De acordo com Nascimento (2011), a partir de dados pluviométricos de 41 anos disponibilizados pela ANA, a maior precipitação ocorre no alto curso da bacia hidrográfica de Macaé, com valores médios de 2500 mm anuais, ratificando uma proporcionalidade direta entre a elevação do relevo e a precipitação

A vegetação é composta por Gramíneas (abundante nas áreas de pastagem), Floresta em estágio inicial de sucessão e Floresta em estágio médio/avançado de sucessão (ACAMEP, 2011), com degradação mais acentuada nas áreas de ocupação urbana, ainda que de baixa densidade, nas proximidades do rio Sana, devido à pastagem. Já nas regiões mais elevadas, a vegetação é mais exuberante, com vegetação de mata Atlântica nativa presente.

4 Reconhecimento da Área e Coleta de Materiais.

O trabalho de campo consistiu no reconhecimento, classificação e quantificação das feições erosivas observáveis ao longo da estrada principal do Distrito de Sana (Macaé, RJ). Adotou-se a classificação do IPT/DAEE (1990): erosão laminar, em sulcos, ravinas e voçorocas. A erosão laminar (Figura 2) ocorre quando o escoamento da água encosta abaixo “lava a superfície do terreno como um todo”, com transporte das partículas sem formar canais definidos. A erosão em sulcos (Figura 3) ocorre através de pequenas incisões na forma de filetes relativamente rasos, em função da concentração do fluxo superficial. Com a maior concentração de fluxos, as feições erosivas podem evoluir para canais incisos pela ação de escoamento superficial, formando as ravinas (Figura 4), ou pelo afloramento do lençol freático, formando voçorocas (Figura 5). Bacellar (2000) aponta que tal classificação têm sido a mais utilizada no Brasil, principalmente quando se trata da Geologia de Engenharia, uma vez que essa divisão separa ravinas de voçorocas pelo fato de essas últimas atingirem o lençol freático, embora ravinas possam evoluir para voçorocas quando ocorre a interceptação do nível freático (Almeida Filho, 2014). Uma quinta sub-divisão, a de terracetes de pisoteio de gado (Figura 6), foi implementada em virtude da grande ocorrência de tais feições na região. Os terracetes, segundo Thomaz & Dias (2009), são feições de relevo ligadas à bioerosão. Giroldo (2013) define

os terracetes como formas erosivas de pequena escala geradas e intensificadas pelo constante caminhar do gado, formando trilhas anastomosadas. Na área de estudo observou-se que os terracetes apresentam em sua vizinhança uma mistura de feições laminares e lineares, porém quando a feição erosiva se apresenta bem pronunciada, mesmo na presença de terracetes, essa foi classificada como produto de erosão laminar, em sulcos, ravina ou voçoroca.



Figura 2 Erosão Laminar

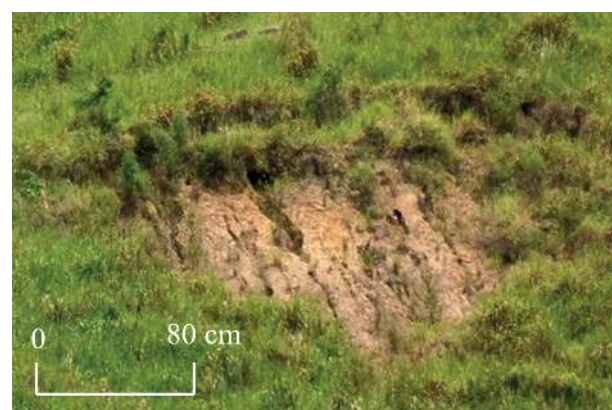


Figura 3 Erosão em sulcos.



Figura 4 Ravina.



Figura 5 Voçoroca.

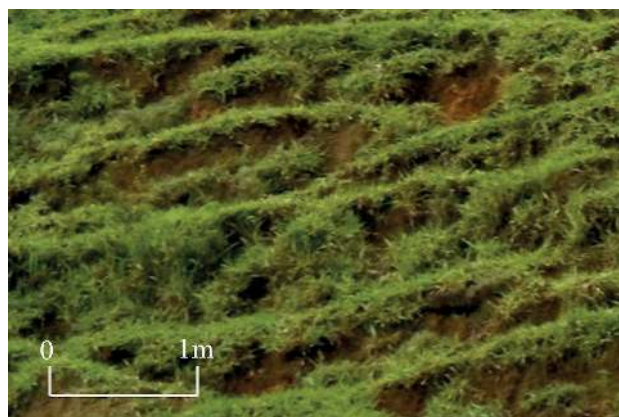


Figura 6 Terracetes

Observações de campo permitiram constatar que os materiais coluvionares na área de estudo são texturalmente mais finos em relação aos solos residuais jovens e ocorrem acima de linhas de seixos parcialmente definidas no espaço. Os solos saprolíticos (solos residuais jovens), foram identificados pela manutenção de estruturas reliquiares da rocha-mãe, como veios quartzo-feldspáticos e trama dos grãos minerais, sendo pouco intemperizados e relativamente homogêneos, considerando que são originários de granitos.

A partir das observações de campo, selecionou-se como local de estudo o perfil exposto em talude de corte localizado na rua não pavimentada José de Jesus Junior, de coordenadas 7527160 S / 0789380 W, em UTM, Datum WGS84 e acima do qual predominam terracetes de pisoteio de gado. Além disso, esse perfil exhibe solos coluvionares e



Figura 7 Linha mostrando divisão entre os materiais coluvionares e os solos saprolíticos.

saprolíticos (Figura 7) que representaram bem a variabilidade de solos da região que são areno-siltosos e susceptíveis à erosão. Tais características exprimem bem as erosões mapeadas e as características geológicas (relativamente homogêneas) e geomorfológicas da área de estudo.

O perfil de estudo é composto por quatro horizontes com uma organização espacial basculada dos mesmos. Os horizontes residuais jovens ou solos saprolíticos, denominados C, ocorrem abaixo dos solos coluvionares e são separados desses últimos por aspectos texturais e por linhas de seixos fracamente desenvolvidas, embora presentes. Os horizontes C identificados apresentaram duas colorações, amarelo e vermelho, sendo que a diferenciação mais significativa entre esses foi a oxidação mais acentuada dos horizontes C vermelhos. Os solos coluvionares (horizontes maduros), denominados B, também foram identificados através das colorações amarela e vermelha, também com diferenciação mais significativa pela oxidação mais forte presente nos horizontes B vermelhos.

Foram coletadas quatro amostras deformadas, acondicionadas em sacos plásticos (Figura 8), e quatro indeformadas, em blocos com dimensões de 40 cm x 40 cm x 40 cm (Figura 9), totalizando oito amostras, seguindo a norma NBR9604 (ABNT, 1986). As amostras foram retiradas nas profundidades de 1,4 m no horizonte B amarelo, 2,8 m no horizonte B vermelho, 3,3 m no horizonte C amarelo e 3,9 m no horizonte C vermelho.

5 Metodologia Laboratorial

A caracterização física foi realizada através de ensaios para determinação da granulometria (pe-



Figura 8 Amostra deformada.



Figura 9 amostra indeformada protegida por parafina, papel alumínio, PVC e serragem.

neiramento conjunto com sedimentação), limites de consistência (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade), massa específica dos grãos, teor de umidade e massa específica natural, conforme as normas NBR 7181 (ABNT, 1984), NBR6459 (ABNT, 1984), NBR 7180 (ABNT, 1984), DNER-ME 093/94, NBR6457 (ABNT, 1986), e NBR9813 (ABNT, 1987), respectivamente. Com esses dados foram obtidos índices de erodibilidade, conforme Tabela 1.

Foi calculado o Índice de Atividade de Skempton (1953), o qual indica a influência da fração argila no comportamento do solo, podendo ser aplicado ao estudo da erodibilidade. Tal índice é obtido pela razão entre o Índice de Plasticidade (IP) do solo e seu porcentual da fração argila e quando seu valor é menor que 0,75 a fração argila é classificada como inativa, sendo assim susceptível à fácil desagrega-

Classificação	Autoria	Critério para solos
Índices de Consistência	Meireles (1967)	IP<=8% e LL<=21% (fortemente erodível)
	Bastos (1999)	IP<10% (potencialmente erodíveis)
	DNER (1979)	LP<=32% e IP<=17% (Boa a regular resistência à erosão)
	Santos e Castro (1967)	LL<=50% e IP próximo a 20% (potencialmente erodíveis)
	Santos (2001)	IP > 15 (boa resistência à erosão); 6<IP<15 (média resistência à erosão); IP<6 (baixa resistência à erosão)
Granulometria	Meireles (1967)	% passante na peneira #200 <=20% (solos fortemente erodíveis); 20%<=%passante na peneira #200 (solos passíveis de forte erosão); % passante na peneira #200 >40% (solos pouco erodíveis).
	DNER (1979)	49% <= % passante na peneira #40 <= 96%
	Gray e Sotir (1996)	Classificação SUCS do mais erodível para o menos erodível): ML,SM,,SC,MH,OL, CL, CH, GM, SW, GP, GW
	Bastos (1999)	% passante na peneira #200 <55% (solos potencialmente erodíveis)
	Fragassi (2001)	% silte + % areia fina relativamente elevada em relação à % argila + % areia grossa (mais erodível)
Índices de Consistência e Granulometria	Alcântara (1997)	IP <5 % e 0 % < % passante na peneira #200 < 30 % (alta erodibilidade); 5%<= IP <= 15% e 30%<= % passante na peneira #200 <= 60% (média erodibilidade) e IP > 15% (baixa erodibilidade).
Índices Físicos	Fácio (1991)	Valores baixos de grau de Saturação (S) se relacionam a solos mais erodíveis.
	Bastos (1999)	Índice de vazios (e) > 0,7 (solos facilmente erodíveis)
	Mendes (2006)	Menores valores do Peso específico dos grãos (gs) estão relacionados a solos mais erodíveis.

Tabela 1 Classificações de erodibilidade com base nos índices de consistência, granulometria, e índices físicos.

ção. Além disso, foi determinado calculado a razão Silte/Argila, proposta por Van Wambeke (1962) para a distinção de solos altamente intemperizados de solos mais jovens. Pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, para solos de textura média valores inferiores a 0,7 para tal relação indicam solos bastante intemperizados (EMBRAPA, 1997).

A caracterização mineralógica consistiu na identificação das fases cristalinas presentes na fração argila (obtida por sedimentação) e para tanto foram preparadas lâminas de forma orientada através do método do esfregaço em placa de vidro, de forma que a reflexão basal fosse intensificada (Jackson, 1969). As lâminas foram confeccionadas para análise das amostras nas condições natural (com e sem ferro), conforme Mehra e Jackson (1960), além de tratamento de aquecimento em forno mufla a 550°C (com o objetivo de investigação do colapso e/ou destruição da estrutura dos argilominerais) e de saturação em etilenoglicol (com o objetivo de identificar possíveis minerais expansivos).

A caracterização geotécnica foi realizada através de ensaios de cisalhamento direto nas condições de umidade natural e inundada, conforme a norma D3080 (ASTM, 1990), para a determinação dos parâmetros de resistência do solo (coesão e atrito). Foi adotada para o ensaio velocidade de cisalhamento de 0,012 mm/min com o objetivo de dissipar a poro-pressão. Com esses dados, estabeleceu-se a relação entre a variação da coesão obtida nos estados natural e inundado e a erodibilidade, conforme critério proposto por Bastos (1999), que em suas análises estatísticas de dados experimentais obteve que a Dc (relação de redução da coesão do solo com sua inundação) era o melhor parâmetro relacionado aos resultados de seus ensaios de erodibilidade através de testes de Inderbitzen (1961). Os valores adotados para a tensão normal aplicados nos ensaios variaram conforme seus pesos específicos naturais e saturados e suas profundidades de coleta e seus múltiplos superiores e inferiores, conforme a Tabela 2.

	B amarelo			B vermelho			C amarelo			C vermelho						
γ_{nat} (kN/m ³)	16,0			18,0			15,7			16,6						
γ_{sat} (kN/m ³)	18,1			19,3			18,7			18,9						
Z(m)	2,1	1,4	0,7	0,3	4,2	2,8	1,4	0,5	5,0	3,3	1,7	0,5	5,9	3,9	2,0	0,5
σ_{nat} (kPa)	33,6	22,4	11,2	4,0	75,4	50,3	25,1	8,9	77,7	51,8	25,9	7,9	97,3	64,8	32,4	8,3
σ_{inu} (kPa)	38,1	25,4	12,7	4,5	81,0	54,0	27,0	9,7	92,8	61,8	30,9	9,4	110,7	73,8	36,9	9,5

Tabela 2 Tensões aplicadas nos ensaios de cisalhamento para os solos coluvionares e saprolíticos. gnat(Peso específico natural), gsat (peso específico saturado), Z (profundidade, onde a real está realçada), σ_{Nat} (tensão aplicada na condição de umidade natural), σ_{inu} (tensão aplicada na condição inundada).

6 Resultados e Discussões

As observações de campo acerca dos pontos amostrados permitiram apontar que a sub-bacia estudada apresenta, predominantemente, 50% de terracetes (Figura 6), seguidos de 19% de sulcos (Figura 3), 13% de ravinas (Figura 4), 12 % de voçorocas (Figura 5) e 6 % de erosão laminar (Figura 2). Os resultados da caracterização física são apresentados na Tabela 3.

Os resultados, de acordo com o diagrama ternário de Shepard (1954), apontam que os solos pedológicos (B) são areias argilosas enquanto os solos saprolíticos (C) são areias siltosas. Além disso, os horizontes pedológicos (B) apresentam maior porcentagem de fração argila, em decorrência da maior atuação de processos pedogenéticos e conferindo maior coesão aos mesmos, fato que é refletido em sua natureza menos erosiva. De acordo com a clas-

Amostra	Granulometria (%)								Limites de Atterberg (%)			Índices Físicos					IA	Silte/Argila	SUCS	Shepard (1954)	
	A	S	FT	AF	AM	AG	AT	P	LL	LP	IP	ρ_s (g/cm ³)	h (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	η (%)	e					S (%)
B amarelo	22	17	39	16	29	13	58	3	49	36	13	2,61	21	16,0	49	0,97	55,7	0,6	0,77	SM	AA
B vermelho	24	14	38	17	25	16	58	4	51	42	9	2,65	20	18,0	44	0,77	69,5	0,4	0,58	SM	AA
C amarelo	12	16	28	26	36	9	71	1	34	30	4	2,6	10	15,7	45	0,83	32,4	0,3	1,33	SM	AS
C vermelho	12	26	38	18	25	17	60	2	39	33	6	2,64	16	16,6	46	0,83	49,4	0,5	2,17	SM	AS

Tabela 3 Caracterização Física dos solos. Argila (A), Silte (S), Finos Totais (FT) = Argila + Silte, Areia Fina (AF), Areia Média (AM), Areia Grossa (AG), Areia Total (AT), Pedregulho (P), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), IA (Índice de Atividade), SM (areia siltosa), AA (areia argilosa), AS (areia siltosa). Dados de obtenção direta: Massa específica dos grãos (rs), umidade (h), Peso específico natural (gnat). Dados obtidos indiretamente através de correlações entre índices: porosidade (η), índice de vazios (e) e Saturação na condição de umidade natural (S).

sificação SUCS (Casagrande, 1948), todos os solos são SM (areia siltosa). O Índice de Atividade de Skempton (1953) indica que todos os solos possuem a fração argila inativa ($IA < 0,75$), indicando potencial da argila para conferir coesão e plasticidade ao solo relativamente baixo, fato que é corroborado pela presença de argilominerais do tipo 1:1 (caulinita) da análise mineralógica, ratificando sua susceptibilidade à erosão.

De acordo com o IAEG (1979), os solos B amarelo, C amarelo e C vermelho possuem alta porosidade ($45\% < \eta < 50\%$), e o solo B vermelho possui média porosidade ($35\% < \eta < 45\%$). Os solos pedológicos (B) são classificados como muito úmidos ($50\% < h < 80\%$) e os solos saprolíticos são classificados como úmidos ($25\% < h < 50\%$). Em relação

à plasticidade, de acordo com Jenkins (1947), os solos pedológicos B são medianamente plásticos ($7\% < IP < 15\%$) e os solos saprolíticos são fracamente plásticos ($1\% < IP < 7\%$).

A relação silte/argila, proposta por Van Wambeke (1962) para a distinção de solos altamente intemperizados de solos mais jovens, indica que o solo B vermelho é o mais intemperizado, com valor da razão silte/argila de 0,58, seguido do horizonte B amarelo (0,77), C amarelo (1,33) e C vermelho (2,17), estes dois últimos com razões superiores a 1, indicando solos mais jovens.

A classificação da erodibilidade dos solos com base em índices de consistência, granulometria e índices físicos é exibida na Tabela 4.

	Autor(es)	Parâmetro de Análise	B amarelo	B vermelho	C amarelo	C vermelho
Índices de consistência	Meireles (1967)	LL e IP	Não fortemente erodível	Não fortemente erodível	Não fortemente erodível	Não fortemente erodível
	Bastos (1999)	IP	Não potencialmente erodível	Potencialmente erodível	Potencialmente erodível	Potencialmente erodível
	DNER (1979)	LP e IP	Baixa resistência à erosão	Baixa resistência à erosão	Boa a regular resistência à erosão	Baixa resistência à erosão
	Santos e Castro (1967)	LL e IP	Não fortemente erodíveis	Não fortemente erodíveis	Não fortemente erodíveis	Não fortemente erodíveis
	Santos (2001)	IP	Média resistência à erosão	Média resistência à erosão	Baixa resistência à erosão	Baixa resistência à erosão
Granulometria	Gray e Sotir (1996)	Classif. SUCS	Alta erodibilidade	Alta erodibilidade	Alta erodibilidade	Alta erodibilidade
	Meireles (1967)	% passante na peneira #200	Passível de forte erosão	Passível de forte erosão	Passível de forte erosão	Passível de forte erosão
	Bastos (1999)	% passante na peneira #200	Potencialmente erodível	Potencialmente erodível	Potencialmente erodível	Potencialmente erodível
	Fragassi (2001)	% de areia fina e de % silte	Erodível	Erodível	Erodível	Erodível
	DNER (1979)	% passante na peneira #40	Boa a regular resistência à erosão	Boa a regular resistência à erosão	Boa a regular resistência à erosão	Boa a regular resistência à erosão
Índices de consistência e Granulometria	Alcântara (1997)	IP e % passante na peneira #200	Média erodibilidade	Média erodibilidade	Alta erodibilidade	Média erodibilidade
Índices Físicos	Bastos (1999)	Índice de vazios (e)	Baixa resistência à erosão	Baixa resistência à erosão	Baixa resistência à erosão	Baixa resistência à erosão
	Fácio (1991)	Grau de Saturação	intermediário	Menos erodível	Mais erodível	intermediário
	Mendes (2006)	Peso específico dos sólidos	Mais erodível	Menos erodível	intermediário	intermediário

Tabela 4 Erodibilidade dos solos baseada em índices de consistência, granulometria e índices físicos.

Os critérios Santos (2001) e Alcântara (1997), que se baseiam nos Índices de Consistência e Granulometria conjunta com esses índices, respectivamente, foram os que melhor responderam às características da área e foram compatíveis com os resultados da variação da coesão com a inundação dos solos estudados, pois indicaram que os solos saprolíticos (C) eram mais erodíveis em relação aos solos pedológicos (B). Os critérios de Meireles (1967), Bastos (1999), DNER (1979), Santos e Castro (1965), Gray e Sotir (1996), Fragassi (2001), Fácio (1991) e Mendes (2006) se mostraram incongruentes com as características erosivas observadas em campo, uma vez que não conseguiram separar o comportamento mais erodível dos horizontes residuais jovens (C) em relação aos horizontes pedológicos (B).

Os resultados da análise mineralógica indicam a presença dos argilominerais Caulinita, Ilita e Gibbsita (mais evidenciada no horizonte B amarelo) para todas as amostras dos horizontes analisados, após os tratamentos e leitura nos difratômetros, conforme as Figuras 10, 11, 12 e 13.

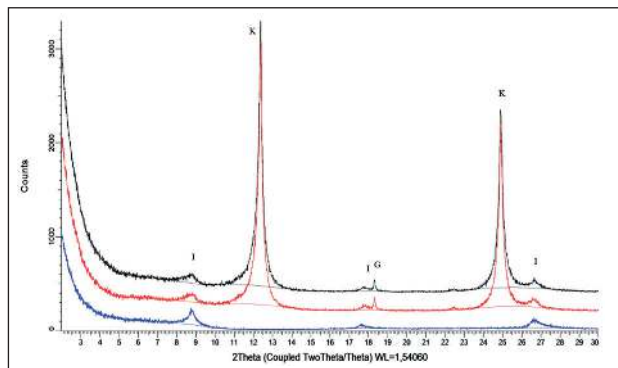


Figura 10 Difratograma do solo B amarelo com a indicação dos picos de Caulinita (K), Ilita (I) e Gibbsita(G). Curva preta (condição natural), Curva vermelha (condição glicolada) e Curva Azul (condição aquecida).

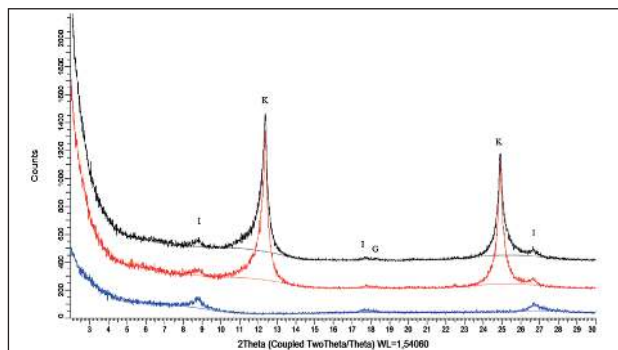


Figura 11 - Difratograma do solo B vermelho com a indicação dos picos de Caulinita (K), Ilita (I) e Gibbsita(G). Curva preta (condição natural), Curva vermelha (condição glicolada) e Curva Azul (condição aquecida).

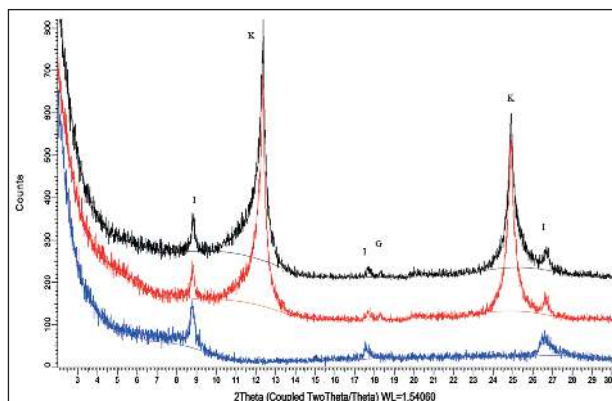


Figura 12 Difratograma do solo C amarelo com a indicação dos picos de Caulinita (K), Ilita (I) e Gibbsita(G). Curva preta (condição natural), Curva vermelha (condição glicolada) e Curva Azul (condição aquecida).

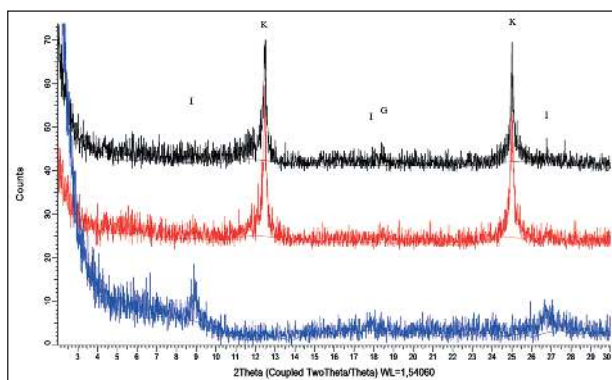


Figura 13 Difratograma do solo C vermelho com a indicação dos picos de Caulinita (K), Ilita (I) e Gibbsita(G). Curva preta (condição natural), Curva vermelha (condição glicolada) e Curva Azul (condição aquecida).

A presença da Caulinita na fração argila pode ser explicada pela característica de elevada lixiviação do ambiente de formação desses solos, acarretando em solos com baixa capacidade de troca catiônica (CTC), conforme ressaltam Castro *et al.* (2014). Ainda segundo esses autores, a presença de Gibbsita (mais acentuada nos horizontes amarelos, em especial no B amarelo) pode ser explicada pelo intenso intemperismo químico (hidrólise total), atuante em clima quente e úmido, sobre rochas de composição granítica, o que é o caso da área de estudo. Conforme Ferreira *et al.* (1999) destacam, embora esses solos apresentem baixa CTC, a caulinita e a gibbsita são responsáveis pelo desenvolvimento de estrutura granular e são importantes para a manutenção das partículas do solo floculadas.

A presença da Ilita na fração argila de todos os solos analisados indica que houve intemperização de micas, as quais apresentam concentrações elevadas em solos mais jovens, conforme aponta Ernani (2008), o que é corroborado pelos picos de ilita mais desenvolvidos nos horizontes residuais jovens C amarelo e C vermelho deste estudo.

Os resultados do ensaio de cisalhamento direto na condição natural e inundada encontram-se representados nas Figuras 14 e 15, respectivamente. E as coesões natural e inundada dos solos analisados encontram-se na Tabela 5.

Os dados permitem constatar que os solos coluvionares/pedológicos (horizontes B) apresentaram coesões maiores e ângulos de atrito menores que os solos saprolíticos/residuais jovens (horizontes C), o que pode ser explicado, em parte, pelo maior teor de argila dos horizontes de origem coluvionar. Dafalla (2013) ressalta que materiais arenosos com maior conteúdo de argila submetidos a ensaios de cisalhamento direto apresentaram consistente aumento da coesão, resultado também observado nesse estudo. Soares *et al.* (2001), realizaram ensaios de cisalhamento direto em solos colúviais de textura silto-arenosa, e de baixa plasticidade, semelhantes ao do

Figura 14 Gráficos de tensão normal x tensão cisalhante para a condição de umidade natural.

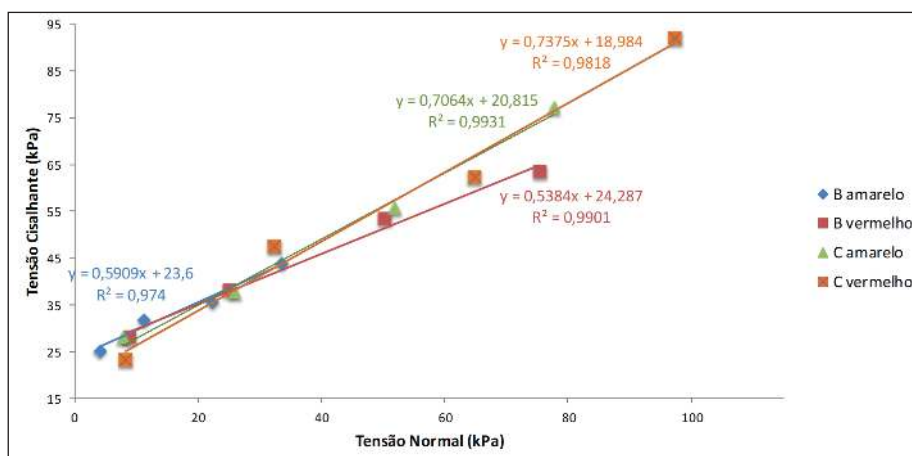


Figura 15 Gráficos de tensão normal x tensão cisalhante para a condição inundada.

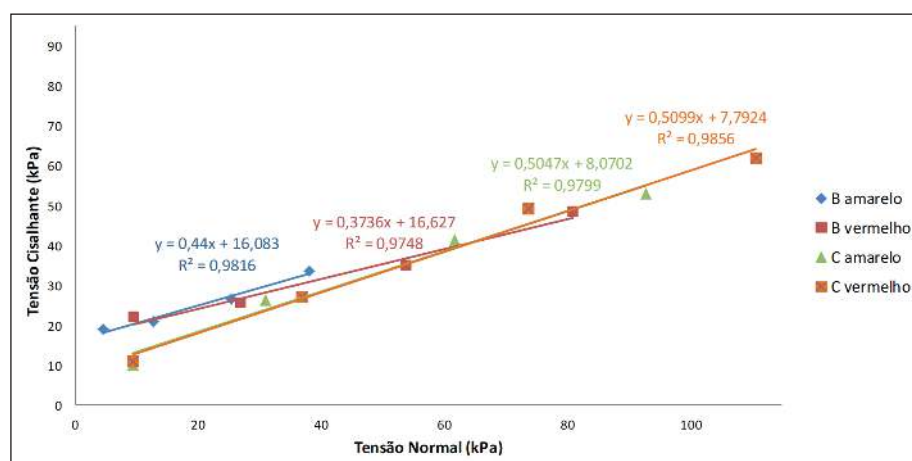


Tabela 5 Parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos nas condições de umidade natural e inundada: c (coesão na umidade natural), c' (coesão na condição inundada), φ (ângulo de atrito na condição de umidade natural), φ' (ângulo de atrito na condição inundada) e Dc (variação da coesão nas condições natural e inundada, dada pela fórmula $Dc = (c - c')/c$).

Amostra	c (kPa)	c' (kPa)	φ (°)	φ' (°)	Δc (%)
B amarelo	23,6	16,1	30,6	23,8	32
B vermelho	24,3	19,0	28,3	20,5	22
C amarelo	20,8	8,1	35,2	26,8	61
C vermelho	19,0	7,8	36,4	27,0	59

presente estudo e obtiveram coesões até 25,5 kPa e ângulo de atrito entre 16,7° e 28,5°, sendo que esta variação dos parâmetros geotécnicos é típica dos solos coluvionares. Avelar *et al.* (2011), ao estudar o comportamento geomecânico de solos residuais jovens e coluvionares associados a deslizamentos, na umidade natural, obteve como resultado que os solos coluvionares apresentaram coesão bem menor que os solos saprolíticos. De maneira semelhante, Bastos (1999), em seu estudo de métodos de avaliação da erodibilidade, realizou ensaios de cisalhamento direto na condição de umidade natural e na condição inundada, considerando amostras de horizontes pedológicos e saprolíticos, obtendo valores relativamente menores de coesão para os solos pedológicos em relação aos saprolíticos na condição de umidade natural, porém obtendo valores de coesão maiores para os solos pedológicos na condição inundada, o que não refletia a erodibilidade observada em campo e por meio de outros ensaios. Então, o autor citando propôs a variação da coesão (D_c) como um bom índice para refletir a erodibilidade correlativamente aos ensaios diretos de Inderbitzen (1961) devido à redução da sucção matricial com a elevação da saturação dos solos, mostra que os solos visualmente mais erodíveis (saprolíticos) em campo, através de observações práticas e análise tátil-visual apresentaram D_c mais elevados, da ordem de 60%, enquanto os solos coluvionares apresentaram D_c menores ou iguais a 32%. Bastos (1999), considerando uma primeira aproximação, propôs que solos com D_c maior ou igual a 85% seriam potencialmente erodíveis, o que não ocorre para nenhum dos solos. Pinheiro *et al.* (2012), Santana *et al.* (2013) e Basso *et al.* (2014) também utilizaram o índice proposto por Bastos (1999) e obtiveram resultados diretamente proporcionais para solos mais erodíveis. Embora nenhum dos solos apresente D_c maior ou igual a 85%, fica claro que os solos mais erodíveis, ou seja, os solos saprolíticos, apresentaram D_c aproximadamente 2 a 3 vezes maior que os solos coluvionares, confirmando sua natureza mais erodível, muito possivelmente pela perda de cimentação mais acentuada. Também com base nos resultados, observa-se a importância do teor de umidade no caráter erosivo do solo (Singh & Thompson, 2015), uma vez que eventos de chuva prolongados podem reduzir a coesão mais acentuadamente nos solos saprolíticos.

6 Conclusões

A sub-bacia do Sana apresenta como feição erosiva predominante os terracetos de pisoteio de gado, seguido de sulcos, ravinas, voçorocas e erosão laminar. Os materiais estudados apontam que os solos coluvionares são areno argilosos e os solos saprolíticos são areno siltosos, conferindo aos horizontes maduros maior coesão devido ao maior percentual de argila, indicando serem materiais potencialmente menos erodíveis.

Os índices de erosão que melhor responderam a potencialidade erosiva dos materiais analisados foram os que tiveram como base o índice de plasticidade (Santos) e o índice de plasticidade e granulometria em conjunto (Alcântara). Esses resultados apresentaram forte relação com aspectos erosivos dos solos da região e com os ensaios de cisalhamento direto.

Como contribuição para o estudo este trabalho permitiu apontar que a determinação da variação de coesão entre materiais inundados e não inundados realizado através do ensaio de cisalhamento direto é um bom método para estudar a erodibilidade de solos além de fornecer dados de parâmetros geotécnicos importantes para estudos de estabilidade de taludes. Destaca-se também que a expansão populacional na região deve ser precedida de estudos geotécnicos específicos, pois constatou-se que o horizonte C é mais susceptível à erosão que o horizonte B, portanto o corte de taludes nesses materiais, expondo os solos saprolíticos, pode acarretar problemas de estabilidade de taludes. Desse modo é de grande importância uma política de manejo e ocupação adequada antecipando a expansão do meio físico.

7 Agradecimentos

À CAPES pela Bolsa de estudo de pós-graduação e ao Programa de Pós Graduação em Geologia da UFRJ.

8 Referências

- Afshar, F.A.; Ayoubi, S.; Jalalin A. 2010. Soil redistribution rate and its relationship with soil organic carbon and total nitrogen using ^{137}Cs technique in a cultivated complex hill-slope in western Iran. *Environ. Radioact.*, 101: 606-614.
- Alcântara, M.A.T. 1997. *Aspectos geotécnicos da erodibilidade de solos*. Programa de Pós-graduação em Engenharia

- Civil, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 128p.
- Almeida Filho, G.S. 2014. Uso das terminologias de processos erosivos lineares dos tipos ravina e voçoroca. *Revista Geonorte*, 4(10): 693 – 699.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. *D3080*: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. West Conshohocken, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 9813*: Solo - Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6459*: Solo - Determinação do limite de liquidez - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 7180*: Solo - Determinação do limite de plasticidade - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 7181*: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6457*: Amostras de Solos - Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. Rio de Janeiro, 1986a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 9604*: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro, 1986b.
- ASSOCIAÇÃO CÂNDIDO MENDES DE ENSINO E PESQUISA – ACAMEP. 2011. Diagnóstico socioambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé. Rio de Janeiro, ACAMEP. 328 p.
- Avelar, A.S.; Coelho Netto, A.S.; Lacerda, W.L.; Becker, L.B & Mendonça, M.B. 2011. Mechanisms of the Recent Catastrophic Landslides in the Mountainous Range of Rio de Janeiro, Brazil. In: WORLD LANDSLIDE FORUM, 2, Roma, 2011. *Resumos*, Roma, WLF, p. 265-270.
- Bacellar, L.A.P. 2000. *Condições Geológicas, Geomorfológicas e Geotécnicas dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá/MG*. Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 225p.
- Basso, L.; Pinheiro, R.J.B.; Nummer, A.V.; Tomasi, L.F.; Moraes, D.V.S. & Fernandes, L. P. 2014. Estudo da erodibilidade de solos e rochas sedimentares de uma voçoroca na cidade de São Francisco de Assis - RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17, Goiânia, 2014. *Resumos*, ABMS, p. 1-8.
- Bastos, C.A.B. 1999. *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 298p.
- Bender, H. 1985. Erosion: Un probleme de resistance au cisaillement en fonction du chemin des contraintes pendant l'infiltration. In: International Conference On Geomechanics In Tropical Lateritic And Saprolitic Soils, 1, Brasília/DF, 1985. *Resumos*, Brasília/DF, AMBS, p. 15–25.
- Bryan, R.B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, 1: 385–415.
- Carvalho Filho, A. de; Lumberras, J. F. & Santos, R.D. 2000. Os Solos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos. 36p.
- Casagrande, A. 1948. Classification and identification of soils. *Am. Soc. Civil Eng.*, 113: 901-930.
- Castro, P.H.M.; Vendrame, P.R.S. & Pinese, J.P.P. 2014. Mineralogia da Fração Argila de Solos Localizados em Ilhas no Alto Rio Paraná, PR-MS. *Ciências Exatas e Tecnológicas*, 35: 181-188.
- Cheung, C.K.; Greenway, D.R & Massey, J.B. 1988. Direct shear testing of a completely decomposed granite. In: International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, 2, Singapore, 1988. *Resumos*, Singapore, ISSMGE, p. 109-118.
- Dafalla, M.A. 2013. Effects of clay and moisture content on direct shear tests for clay-sand mixtures. *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 16: 1-8.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. 1990. *Controle de Erosão*. São Paulo, Secretaria de Energia e Saneamento de São Paulo. 92 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. 1979. *Pesquisa de estabilidade de taludes: Recomendação para proteção de taludes contra erosão*. Rio de Janeiro, IPR/DNER. 59p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. *ME 093*: Solos - determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1994.
- Djorovic, M. 1999. Water erosion as a limiting land use factor. In: Jambor, P. & Rubio, J.J. (eds.). *Soil conservation in large-scale land use*. IMPRESION 300, p. 183–188.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 1997; Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA. 212 p.
- Ernani, P.R. 2008. Química dos solos e disponibilidade de nutrientes. Lages, Udesc. 230p.
- Fácio, J.A. 1991. *Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 107p.
- Faria, A.L.L.; Silva, J.X. & Goes, M.H.B. 2003. Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). *Caminhos de Geografia*, 4 (9): 50-65.
- Ferreira, M.M.; Fernandes, B. & Curi, N. 1999. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos na região sudeste do Brasil. *Revista brasileira de ciência do solo*, 23: 507-514.
- Fragassi, P.F.M. 2001. *Estudo da erodibilidade dos solos residuais de gnaiss da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG)*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Dissertação de Mestrado, 119p.
- Geraldes, M. C. [et al]. 2012. *Geologia e recursos minerais da folha Casimiro de Abreu, SF.23-Z-B-I, estado do Rio de Janeiro, escala 1:100.000*. Rio de Janeiro, CPRM. 136p.
- Giroldo, L. 2013. *Terracetes de pisoteio de gado e mudanças morfo-pedológicas em vertente amostral na bacia hidrográfica do rio Jacaré, Serra da Mantiqueira – SP*. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, USP, Dissertação de Mestrado, 124p.

- Gray D.H. & Sotir, R.B. 1996. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization – A practical guide for erosion control. New York, Wiley. 377 p.
- Hudson, N.W. 1961. An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of subtropical rainfall. *Rhod. Sci. Assoc.*, 49: 15–25.
- Inderbitzen, A.L. 1961. An erosion test for soils. *Materials Research & Standards*, 1(7): 553-554.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY – IAEG. 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I: rock and soil materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 19: 364-371.
- Jackson, M.L. 1969. Soil chemical analysis: advanced course. Madison, University of Wisconsin. 895 p.
- Jenkins, H.T. 1947. The Physical Properties of Soils. Madison, Comstock Publishing Company. 108p.
- Jeronymo, C.A.L. & Silva, J. A. R. 2011. Proposta de manejo de paisagem na APA do Sana (Macaé-RJ). *Boletim do Observatorio Ambiental Alberto Ribeiro Lamego* 5(2): 173-201.
- Lombardi Neto, F. & Bertoni, J. 1975. Erodibilidade de solos paulistas. São Paulo, Instituto Agrônomo de Campinas. 12 p.
- Mehra, O.P. & Jackson, M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: CLAYS & CLAY MINERAL CONFERENCE, 7, London, 1960. Anais, p. 317-327.
- Meireles, J. M. F. 1967. Erosão de taludes de estradas. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 2, Rio de Janeiro/São Paulo, 1967. *Resumos*, Rio de Janeiro/São Paulo, ABMS, p. 204-211.
- Mendes, C.A.R. 2006. *Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim – RJ*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 227p.
- Morgan, R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation. Oxford, Blackwell. 304 p.
- Nascimento, F.J.B. 2011. *Estudos de séries históricas hidrológicas – uma abordagem geomorfológica na bacia do rio Macaé – RJ*. Programa de Graduação em Geografia, Universidade Federal do rio de Janeiro, Trabalho de Conclusão de Curso, 63p.
- Pinheiro, R.J.B.; Nummer, A.V.; Basso, L. & Storgatto, G. 2012. Erodibilidade obtida por métodos indiretos e o comportamento de um perfil de latossolo e arenito no campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17, Porto De Galinhas, 2012. *Resumos*, Porto de Galinhas, ABMS, p. 1-5.
- Santana, K.D.A.; Nummer, A.V.; Pinheiro, R.J.B.; Debus, L.R.; Moraes, D.V.S. & Tomasi, L. F. 2013. Diagnóstico ambiental do meio físico do campo de instrução de Santa Maria (CISM). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14, Rio de Janeiro, 2013. *Resumos*, Rio de Janeiro, ABMS, p. 45-49.
- Santos, C.A. 2001. Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Outro Preto – Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 107 p.
- Santos, M.P.; Castro, E. 1967. Estudo sobre erosão em taludes de estradas. In: JORNADAS LUSO- BRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 2, Rio de Janeiro/ São Paulo, 1967. *Resumos*, Rio de Janeiro/São Paulo, ABMS, p. 220 –241.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: 151-158.
- Singh, H.V. & Thompson, A.M. 2015. Effect of antecedent soil moisture content on soil critical shear stress in agricultural watersheds. *Geoderma*, 262: 165-173.
- Skempton, A.W. 1953. The Colloidal Activity of Clays, Proceedings. In: ICSMFE, 3, Zurique, 1953. *Resumos*, Zurique, ISSMGE, p.57-61.
- Soares, A.P.L.; Campos, T.M.P. & Vargas Jr., E.A. 2001. Avaliação do mecanismo de ruptura da encosta em solo residual não saturado da Vista Chinesa. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS (COBRAE), 3, Rio de Janeiro, 2001. *Resumos*, Rio de Janeiro, ABMS, p. 409-418.
- Thomaz, E.L. & Dias, W.A. 2009. Bioerosão – evolução do rebanho bovino brasileiro e implicações nos processos geomorfológicos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 10: 3-11.
- Van Wambeke, A.R. 1962. Criteria for classifying soils by age. *Journal of Soil Science*, 1: 124-132.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D. D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains, Washington, U. S. Department of Agriculture. 47p.
- Wuddivira, M.N.; Stone, R.J. & Ekwue, E.I. 2013. Influence of cohesive and disruptive forces on strength and erodibility of tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 133: 40-48.
- Zachar, D. 1982. *Soil erosion: Developments in soil science*. New York, Elsevier Scientific. 547p.