



**Caracterização Geomorfológica e Dinâmica
Erosivo-Deposicional de Encostas no Vale Fluvial do Ribeirão Contagem-DF, Brasil**
Geomorphological Description and Erosive-Depositional
Dynamics of Hillslopes on Ribeirão Contagem Fluvial Valley-DF, Brazil

Ligier Modesto Braga¹; Dandara Caldeira²; José Gustavo da Silva Nunes³;
Yawar Hussain⁴; Hernán Martínez Carvajal⁵ & Rogério Uagoda⁶

^{1,2,3,6} Universidade de Brasília/UnB, Laboratório de Geografia Física,

ICC Norte, Mód. 23, Campus Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

⁴ Universidade de Brasília/UnB, Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental,
70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

⁵ Universidade Nacional da Colômbia, Faculdade de Minas, Carrera 80 No 65-223, Medellín, Colômbia.

E-mails: ligierbraga@gmail.com; dandara.caldeira2014@gmail.com;

jgustavosn@gmail.com; yawar.pgn@gmail.com; hmartinez30@gmail.com & rogeriouagoda@unb.br

Recebido em: 06/11/2017 Aprovado em: 20/06/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_51_65

Resumo

Os movimentos de massa são um dos fenômenos naturais que mais tem causado prejuízos, no mundo. O material transportado e depositado nas encostas em consequência de um movimento de massa pode ser reconhecido por um número de características granulométricas, morfométricas e micromorfológicas, da encosta. A área de estudo localiza-se no Distrito Federal na Região Administrativa da Fercal, dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão Contagem. O objetivo da pesquisa consiste em caracterizar os diferentes materiais que constituem as encostas e fundos de vale com a finalidade de verificar a correlação entre o relevo do Planalto Central e as rampas do Sudeste Brasileiro. Três encostas com morfologias distintas (concavidade fechada, concavidade aberta, e convexo-retilínea) foram escolhidas e traçadas sua topossequência, utilizando trado manual. Foram recolhidas 78 amostras deformadas de solos para análise granulométricas/ morfoscópicas e 6 amostras indeformadas em porções distintas das encostas para realização dos testes de cisalhamento. A análise granulométrica revelou textura similar entre as encostas, sendo para a E1 (predominantemente argilosa, franco argilosa e silto argilosa), E2 (variação entre argilosa e arenosa) e E3 (entre argilosa, franco argilosa e silto argilosa). Análises morfoscópica corroboraram para distinguir o topo e média encosta típica de depósitos coluvionares (grãos irregulares, angulares e sub angulares com superfície rugosa) de amostras da baixa encosta típica depósitos aluvionares (grãos sub arredondados e arredondados com superfícies onduladas e alisadas). Os testes de cisalhamento revelaram altos valores para todas as porções das encostas, sendo que a convexo-retilínea apresentou a maior (68,11kPa). A porção média da encosta E2 é a única a apresentar fator de estabilidade crítico, devido principalmente a alta declividade. A estabilidade dos materiais averiguada por esta pesquisa admite dizer que a ocorrência de fenômenos de deslizamento na bacia do Ribeirão Contagem não estão predominantemente ligadas às características mecânicas dos materiais que as compõe. As análises geomorfológicas por sua vez indicam a existência pretérita da condição de eventos mais intensos que geraram as cicatrizes e grandes deposições, observadas atualmente.

Palavras-chave: geomorfologia de encostas; resistência ao cisalhamento; movimentos de massa

Abstract

Mass movements make up the hall of natural phenomena that have caused more damage worldwide. The material transported and deposited on the slopes as a result of mass movement can be recognized by a number of particle size, micromorphological and morphometric characteristics of the slope. The study area is located in the capital of Brazil, on Administrative Region of Fercal cover the Contagem hydrographic basin. The research aimed to characterize the material on the slopes to verify the similarity between the relief functionality of the Brazilian central plateau and the "rampa complex" on Brazilian southeast. Three topossequences were drawn for investigation of the materials present in distinct morphologies slopes (closed concavity, open concavity and convex-rectilinear slope) where a manual soil auger was used. Were collected 78 disturbed samples for texture and morphoscopy analysis and 6 undisturbed samples, in different portions of the slopes to make the shear test. The texture show similarity on the studied slopes: E1 (predominantly clayey, loamy and clayey); E2(variation between clayey and Sandy); E3(Clayey, clay loam and clayey silt). Morphoscopy show alluvial deposits on low hillside (sub-rounded and rounded grains with curled and smooth surfaces) and colluvial deposits on high hillside (Irregular grains, angular and subangular with rough surface). Were obtained high shear strength values for all portions of the slopes, and the convex-rectilinear showed the highest (68,11kPa). The median portion of E2 hillslope is the only one that presents critical stability factor, mainly due to the high slope. The stability of the material investigated by this research admits say that the occurrence of sliding phenomena in the basin of the Contagem river are not predominantly related to the mechanical characteristics of the materials that compose it. What geomorphological analysis turn us intuit is the preterit existence of the strongest event condition that generated the scars and depositions currently observed.

Keywords: slope geomorphology; shear strength; mass movement

1 Introdução

Articular a geometria de superfície com as unidades deposicionais do substrato, constitui a concepção básica de estudos sobre a evolução das encostas com base em argumentos de cunho estratigráfico e geomorfológico, segundo Moura & Meis (1980). Assim, um número de feições macroscópicas pode ser útil para estabelecer a presença de material translocado nas encostas tais como: a estratificação, a superposição de sequências de horizontes do solo, e linhas de pedra (Mucher et al. 2010), sendo que o principal fator responsável pela sucessão sistemática deles ao longo das vertentes, segundo o conceito de catena de Milne (1934), é a erosão.

As formas do relevo são tidas como um fator controlador da drenagem e, conseqüentemente, da erosão. As concavidades, convexidades ou formas retilíneas, resultam da ação de processos erosivos e/ou deposicionais ao longo do tempo e condicionam processos subsequentes conforme Coelho Netto et al. (1994). Hack & Goodlett (1960), perceberam que o direcionamento dos fluxos da água no solo está relacionado com a geometria das encostas: sobre as formas côncavas atua a convergência de fluxos, enquanto sobre as formas convexas atua a divergência.

As cabeceiras de drenagem têm em comum a topografia côncava (para cima), no entanto podem variar em suas características morfológicas, tamanho, profundidade e declividade, segundo Coelho Netto (2003a). As concavidades são caracterizadas por uma feição incisa na porção superior e uma deposicional ao longo da porção médio-inferior, formando uma camada espessa de sedimentos ao longo da área de deposição. No sudeste brasileiro essas unidades côncavas foram denominadas por Meis & Monteiro (1979) como “rampas”, as quais passaram por ciclos de retrabalhamento deposicional, formando os chamados complexos de rampa. Na porção em que se sobrepõem os sedimentos da encosta com os sedimentos fluviais, interdigitam-se colúvios e alúvio-colúvios com os depósitos aluviais, formando as rampas-terraços, de acordo com Machado & Moura (1982).

Segundo Coelho Netto (2003a), em estudos no médio vale do rio Paraíba do Sul, a ação erosiva de canais fluviais ou cortes de estrada provocam

descaçamento da base de encostas causando deslizamentos, que por sua vez propiciam a formação inicial de concavidades do tipo aberta, caracteristicamente. Outro tipo de concavidade é associada ao controle das estruturas geológicas subjacentes, denominada concavidade estrutural, subdividindo-se em suspensas - próximas aos divisores de água - ou ajustadas, ligadas ao fundo do vale fluvial principal. Portanto, segundo os autores aqui considerados as concavidades, além de serem formas que propiciam a convergência de fluxos de água e os mais variados processos erosivos, ainda são formados por sucessão de depósitos coluvionares e aluvionares.

A estabilidade de encostas está relacionada ao balanço entre os fatores que aumentam à tensão cisalhante e parâmetros que fornecem resistência a massa de solo, contra o escorregamento. Segundo autores como Alimohammadlou et al. (2013); Hungr et al. (2014); Ceballos (2015); Rubio et al. (2004); Chae et al. (2015) a ocorrência de deslizamento depende da diferença entre mudanças internas de uma encosta, por exemplo, fatores que induzem a redução da resistência ao cisalhamento, e causas externas, as quais dão origem ao aumento da tensão cisalhante. Movimentos de massa são na sua maioria desencadeados por precipitação, atividade sísmica, intervenções humanas, vulcanismo, intemperismo, infiltrações e erosão fluvial. A partir daí, diferentes tipos de movimentos de massa podem ocorrer, tendo como princípio a classificação de Varnes (1978) por uma combinação de propriedades geológicas e geotécnicas dos materiais constituintes do solo da encosta, velocidade dos movimentos de massa e volume da área de deslizamento.

Alimohammadlou et al. (2013) classificam as mudanças morfológicas e topográficas como um dos principais fatores controladores dos eventos de deslizamentos. Em outras palavras, as mudanças na superfície da Terra serão constantemente associadas com deslocamentos de grandes volumes de solo, os quais frequentemente causam transformações na paisagem.

Em estudo sobre a função das subdivisões morfométricas do terreno frente a suscetibilidade a movimentos de massa, no Maciço da Tijuca, Coelho Netto et al. (2007) atribuiu que áreas com declivida-

de $<10^\circ$, são consideradas com potencial deposicional; áreas côncavas com declividade de $10-20^\circ$ correspondem a fundos de vale, onde depósitos coluviais permanecem estáveis; entre 15° e 17° os lençóis freáticos rasos tendem a favorecer a ocorrência de rastejamentos; encostas convexo-retilíneas $> 35^\circ$ também associam-se com alto potencial de deslizamentos.

Os deslizamentos ocupam o 7º lugar dos desastres naturais que mais fatalidades cobram, Herath E Wang (2009), contribuindo com cerca de 17% das mortes por desastres naturais no mundo, Kjeksstad Highland (2009). Desastres naturais são eventos prejudiciais que acontecem fora do controle das pessoas e são agravados por intervenções humanas. O número de impactos causados por deslizamentos têm aumentado devido ao rápido crescimento urbano. No Distrito Federal (DF), a ocorrência destes eventos e sua propensão são consideravelmente menores, comparado a outras regiões do Brasil, devido a condições climáticas e de relevo. Mesmo com baixo número de desastres por deslizamentos registradas no DF, é crescente o número de áreas consideradas suscetíveis. Azevedo *et al.* (2015), comprovam com o uso de análise quantitativa de riscos em base SIG a existência de áreas de alto risco a movimentos de massa rasos em encostas íngremes e áreas densamente ocupadas no rebordo de planaltos do Distrito Federal.

Entre 2010 e 2012 a Secretaria de Estado de Defesa Civil do DF (SEDEC/DF) fez 261 notificações e 92 interdições de residência. Em outubro de 2012, um levantamento do mesmo órgão, indicou que 3,4 mil pessoas vivem em 860 casas em área de “alto risco” de deslizamentos e desabamentos, no DF. As residências se localizam em 37 pontos de 16 RA's (Região Administrativa), sendo a R.A. Fercal a que possui a maior quantidade (7) de pontos de risco. A bacia hidrográfica do Ribeirão Contagem (146km²) e seu vale ou calha principal (Figura 1), onde está inserida a Região Administrativa da Fercal, ocupa uma área geomorfologicamente distinta do restante do DF em relação ao relevo, possuindo encostas íngremes; vegetação, com concentração de cerradão e formações florestais por sobre litologia carbonática; solos, que são em sua maioria rasos; e, ocupação urbana, com alta concentração de moradias irregulares em áreas de risco.

Braga *et al.* (2017) mapeou a ocorrência de 204 feições erosivas na Bacia do Ribeirão Contagem, quais sejam: 90 (44%) voçorocas, 57 (28%) ravinas, 42 (21%) sulcos e 15 (7%) de deslizamentos em uma área de 146km² com frequência de 0,59 feições/km². A maioria das feições incisivas encontram-se em áreas de baixa declividade e nas litologias de clorita-filitos de solos profundos, enquanto a maioria dos deslizamentos encontram-se em declividades acima de 20° , em litologias carbonatadas, em Cambissolo Aplico, especialmente no vale principal ou calha do Ribeirão Contagem. Na Figura 2 pode ser observada a área do vale ou calha do Ribeirão Contagem, onde concentram-se as litologias Metassilito Argiloso e Psamo Pelito Carbonatado ambas parte do Grupo Paranoá de idade Mesoproterozóica, Campos *et al.* (2013), bem como a distribuição de Nitossolos Vermelhos nos vales fluviais e Cambissolos Háplicos nas altas vertentes e divisores (Martins *et al.*, 2002).

Ferreira & Uagoda (2015) realizaram mapeamento de áreas susceptíveis a erosões e escorregamentos na bacia do Ribeirão Contagem tendo como base o Índice de Eficiência de Drenagem orientado a bacias de segunda e terceira ordem e mapa hidrogeomorfológico orientando a curvatura de encostas e declividades críticas. Os resultados demonstram a maioria das áreas susceptíveis a escorregamentos rotacionais encontra-se na calha principal do Ribeirão Contagem, ou seja, fora das bacias de segunda e terceira ordem. Naquelas, prevalecem erosão superficial e linear. Na Figura 2 pode ser observado que movimentos rotacionais e ocupações irregulares encontram-se em áreas de alto risco à erosão por movimentos de massa, com declividades críticas, Ferreira & Uagoda (2015).

O objetivo do trabalho concentra-se na caracterização dos materiais que constituem as encostas e fundos de vale do vale principal do ribeirão Contagem (VRC), a fim de verificar a concordância da existência e funcionalidade das diversas formas de relevo nessa área do Planalto Central Brasileiro com aquelas dos complexos de rampa do Sudeste Brasileiro, estudadas por Meis & Monteiro (1979), Machado & Moura (1982) e Coelho Netto (2003b). A fim de facilitar os estudos sobre composição das encostas côncavas e convexas e a realização dos en-

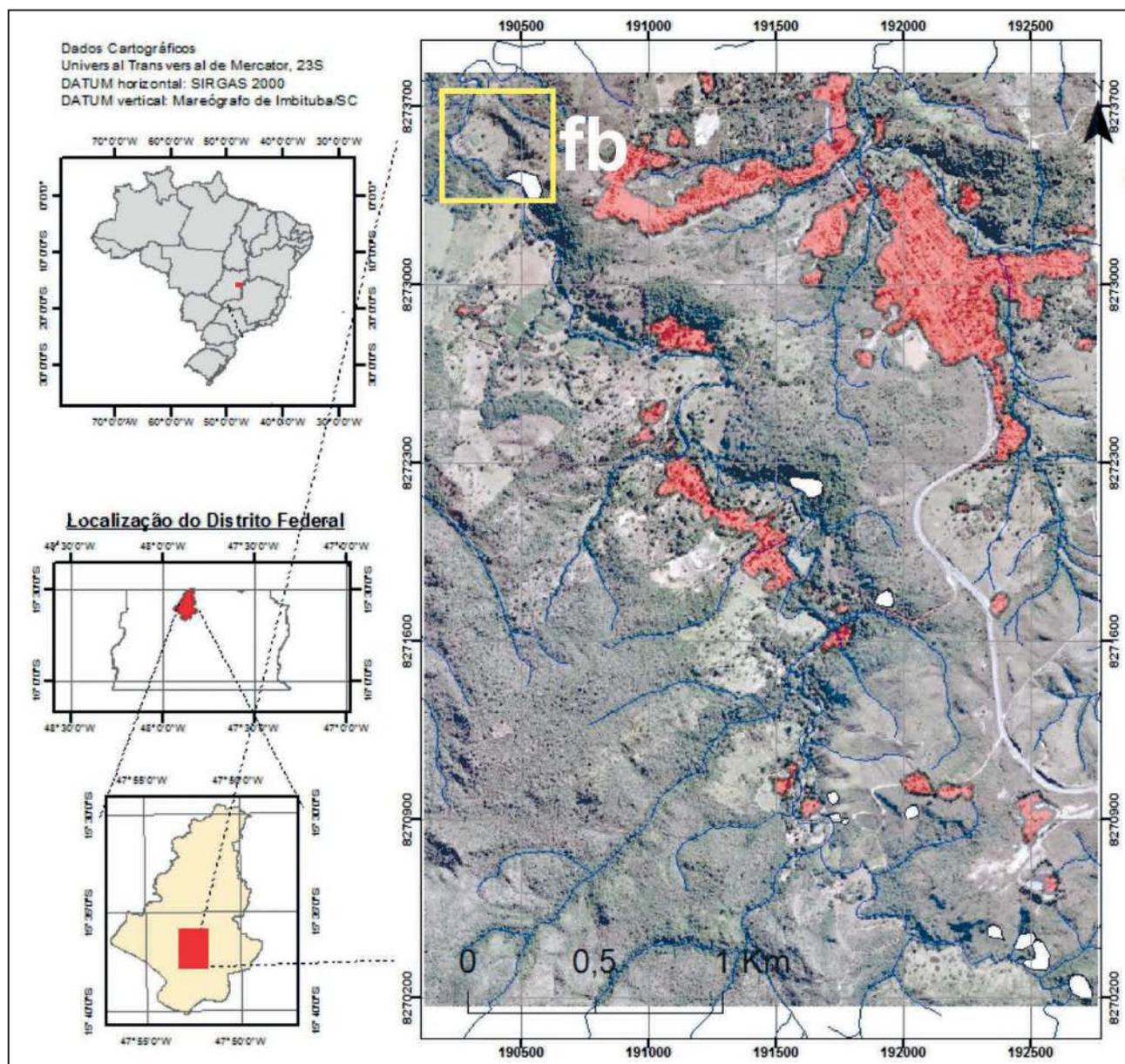


Figura 1 Localização do vale, ou calha principal do Ribeirão Contagem, em relação a sua bacia e ao DF no Brasil. É dada ênfase as áreas de ocupação irregular (em vermelho), às áreas de escorregamentos atuais ou antigos (em branco) e a área da fazenda Buraco (fb) onde concentraram-se as coletas de amostras para os ensaios contidos nessa pesquisa.

saios físicos e de cisalhamento foi escolhida a área da fazenda Buraco como representativa da bacia (fb nas figuras 1 e 2), a qual possui encostas de diferentes formas e um movimento de massa rotacional, em uma área de 0,186km². A margem esquerda do córrego, na porção que passa pela fazenda é recoberta por uma mata degradada, e na margem direita uma área de pasto. A área possui ainda movimentos de massa, concavidade aberta, concavidade fechada, convexidade e depósitos de encosta e fundo de vale (Figura 3).

2 Materiais e Métodos

2.1 Topossequências

Foram estudadas encostas com três formas distintas: concavidade aberta (E1), concavidade fechada (E2) e convexidade (E3), possuindo perfil transversal de 225, 250 e 160 metros respectivamente (Figura 3). Utilizou-se o método da topossequência para conhecer a disposição lateral dos depósitos e delimitar os contatos depósito/saprolito ao longo das

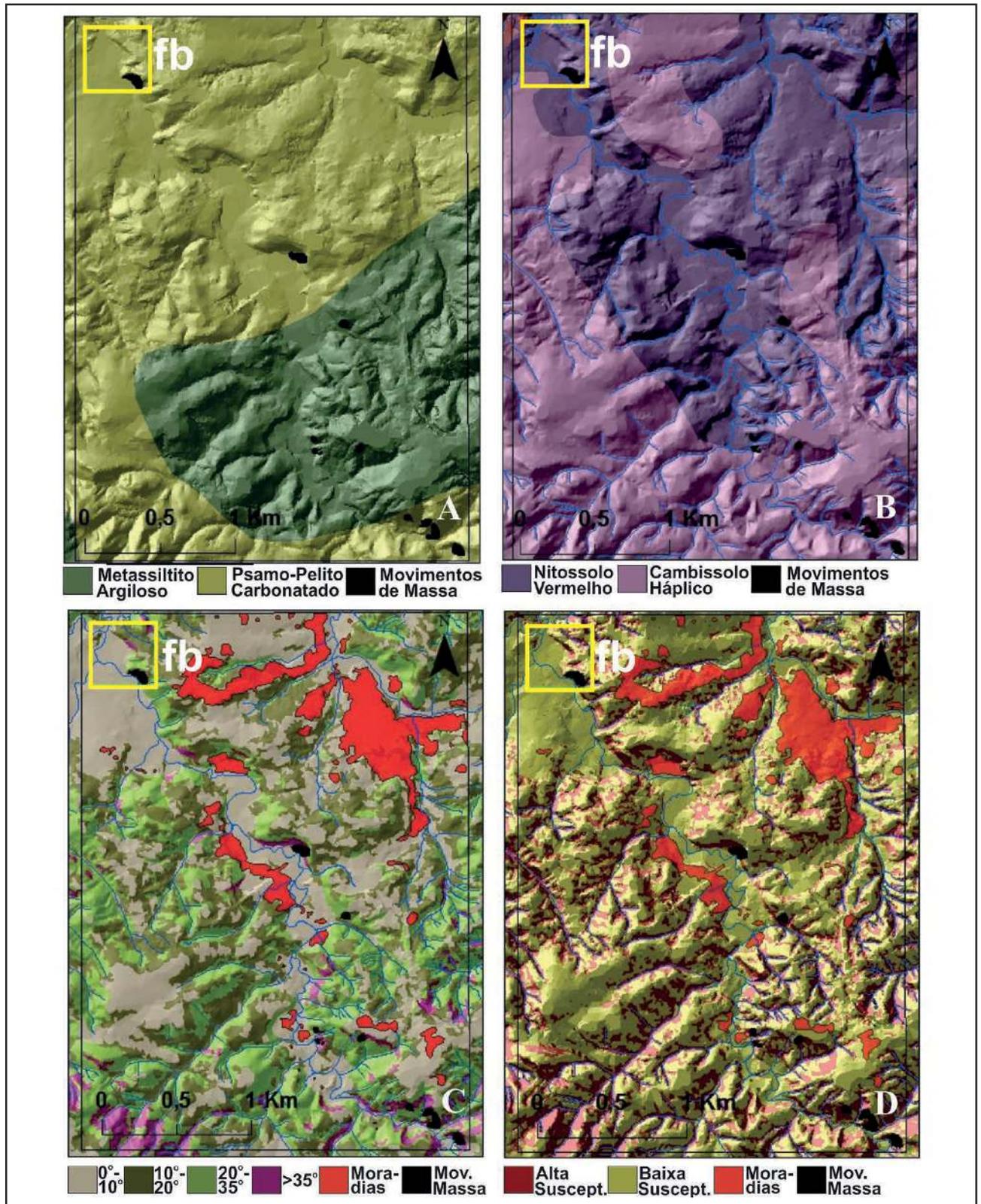


Figura 2 A: Litologia do vale do Ribeirão Contagem, Campos et al. (2013). B: Solos do VRC (Martins et al 2002). C: declividades críticas do VRC, Ferreira e Uagoda (2015). : Susceptibilidade a erosão do VRC, Ferreira e Uagoda (2015). Preto: Movimentos de massa. Vermelho: ocupações irregulares. Fb: Fazenda Buraco.

encostas estudadas. Na concavidade fechada (E1) as coletas foram feitas com espaçamento de 20 metros e, na concavidade aberta (E2) e convexidade (E3), com espaçamento de 30 metros. As tradagens foram realizadas com do tipo holandês de 1 1/2" de diâmetro, e caçamba de 10 cm. Foram coletados aproximadamente 600 g de solo em cada amostragem, os quais foram guardados em sacos plásticos, etiquetados e levados ao laboratório para análise granulométrica. A cor do solo foi aferida através da Carta Münsell, com o solo úmido, em campo e seco em laboratório. Os perfis foram delimitados com base topográfica SICAD-TERRACAP 1:5000 e plotados com apoio dos softwares *Inkscape* e *CorelDraw X6*.

2.2 Análise Granulométrica e Morfoscópica

As análises granulométricas foram averiguadas pelo método da pipetagem, disposto no Comunicado Técnico 66 da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) segundo Almeida *et al.* (2012), para materiais finos e do peneiramento para materiais grossos. Para a análise morfoscópica separou-se a areia fina (E – 0,063 mm) obtida durante o processo de análise granulométrica. Posteriormente acrescentou-se 100 mL de bromofórmio para decantação dos minerais pesados e separação do quartzo e feldspato. Foram analisadas frações de 30 grãos de quartzo com auxílio da lupa binocular e do microscópio eletrônico. A classificação baseou-se no grau de arredondamento (angular, sub angular, sub arredondado, arredondado e bem arredondado) e na superfície dos grãos (rugosa, ondulada ou alisada), segundo Nichols (2009).

2.3 Teste de Resistência ao Cisalhamento

Com o desenho do perfil lateral das encostas concluído, foram escolhidos pontos chave para a abertura das trincheiras (Figura 3) e coleta de amostras indeformadas. O ensaio de cisalhamento foi feito segundo a norma ASTM D 3080-4 *Standar Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*, utilizando-se uma prensa automática, automatizada e calibrada, disponibilizada pelo Laboratório de Geotecnia da UnB. O ensaio foi realizado em uma célula de cisalhamento em se-

ção quadrada, com molde de dimensões 11x2cm. Os ensaios foram executados em condições submergidas (24h), com limite para deslocamentos verticais de 5mm. Foram utilizadas tensões verticais de 50, 100 e 200 kPa; a uma velocidade de deslocamento horizontal de 0,05 mm/min. A envoltória de resistência de Mohr-Coulomb foi calculada conforme a Equação 1 a partir de três pontos de ensaio segundo as tensões verticais indicadas anteriormente.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\phi \quad (1)$$

onde c = coesão efetiva; σ = tensão normal efetiva; $\operatorname{tg}\phi$ = tangente do ângulo de atrito.

Foi feita uma correção no cálculo da área da caixa de cisalhamento, para que as resistências fossem calculadas de forma mais precisa, já que o movimento horizontal da caixa de cisalhamento, ao longo do ensaio, diminui a área de atuação da força vertical aplicada e por conseguinte os valores de tensão normal, no cálculo da resistência. Para isso, foi subtraído da área da caixa, o comprimento máximo do deslocamento horizontal de cada ensaio, obtendo-se um valor diferente de um dos lados da caixa, e assim a área foi recalculada para cada ensaio. Com o uso do software SLOPE/W da Geoslope foram realizadas análises de estabilidade utilizando o método do equilíbrio limite.

2.4 Mapeamento de Depósitos e Feições Geomorfológicas.

Após a obtenção dos resultados da topografia, definição das topossequência em 29 pontos de tradagens para uma área de 0,186 km², caracterização granulométrica e sedimentológica, além dos ensaios de resistência ao cisalhamento, permitiu-se realizar a delimitação dos depósitos e feições geomorfológicas da área da fazenda Buraco. A delimitação foi realizada em ortofotocartas SICAD-TERRACAP de 2007, com base topográfica 1:5000. Os dados foram vetorizados e agrupados em base ArcMap 10.5.

3 Resultados e Discussões

3.1 Descrição das Encostas

Regionalmente, as três encostas estudadas (E1, E2 e E3) estão sobre rochas e solos da mesma

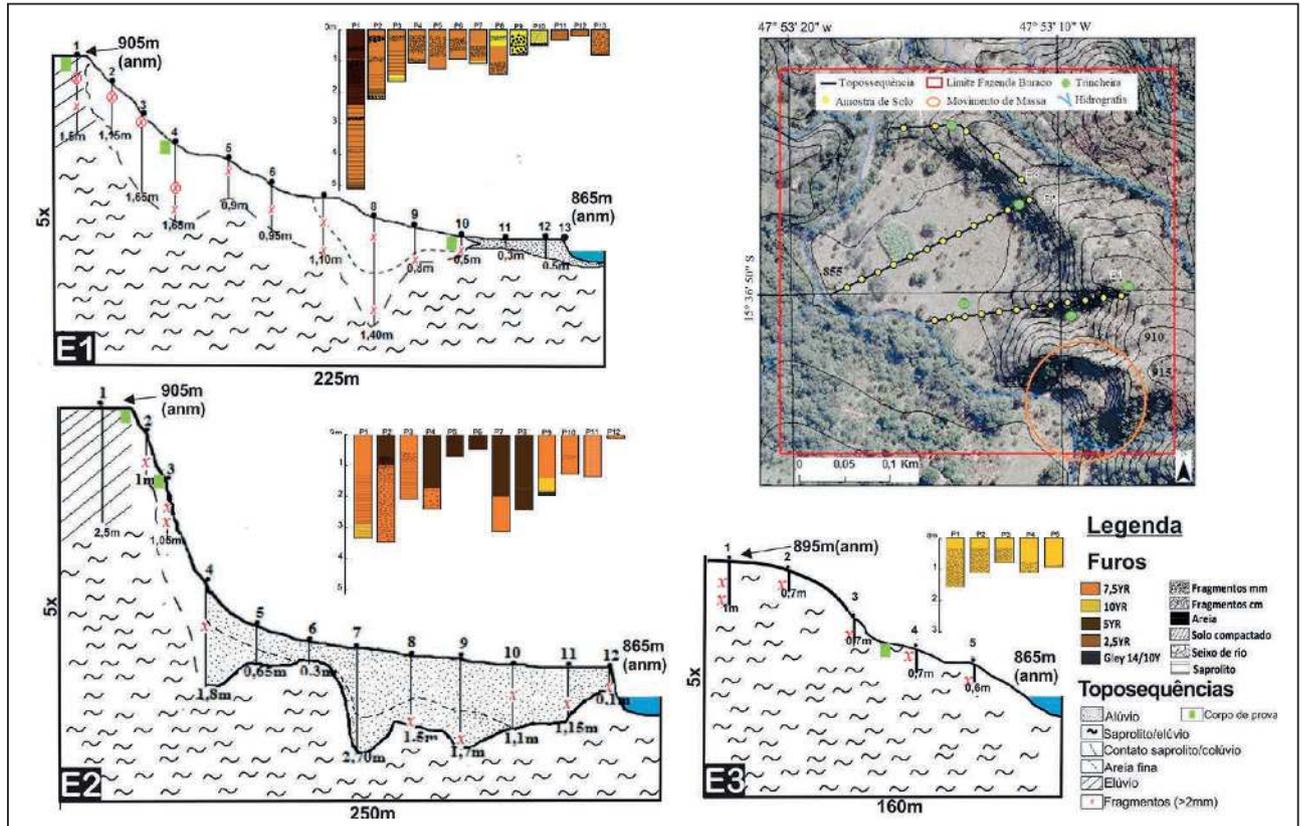


Figura 3 Canto Superior direito: Localização das toposequências na fazenda Buraco; E1: Encosta 1; E2: Encosta 2; E3: Encosta 3. Pontos amarelos: Tradagens; Pontos verdes: trincheiras.

classificação, quais sejam: psamo pelito carbonatada e nitossolo vermelho. Localmente, é possível identificar em baixa encosta, neossolo flúvico, e em alta encosta, neossolo litólico. Encontram-se ambas sob vegetação degradada, com gramíneas e cerradão de árvores de médio e alto porte. Os perfis de toposequência foram traçados do topo de cada encosta à margem direita do Ribeirão Contagem. A Figura 3 apresenta as principais características observadas em campo, por meio das tradagens. A escala apresentada corresponde à profundidade máxima a que se conseguiu averiguar os materiais.

Nesta ilustração estão apresentados principalmente os limites de mudança de cor do solo e altura de fragmentos de rochas ou cascalhos, aferidos em campo e o contato entre os depósitos e destes com o saprolito. No entanto, somente com análises físicas de solo foi possível atestar em qual ponto exatamente esta transição ocorre.

A encosta E1 (Figura 3), está no interior de uma concavidade fechada, localizada ao lado de um movimento de massa rotacional. Essa concavidade é suspensa em relação ao canal atual, estreita na base, e possui uma bifurcação com divisor interno. A encosta estudada tem 250 metros e declividade de 20° e 25°, quando retirada a parte que corresponde ao terraço. Foram feitas tradagens a cada 20 metros, totalizando 13 pontos. No topo da encosta 1, é proeminente a formação de solo, caracterizando pedogênese, com perfil chegando até 5,1 metros de profundidade, no que poderia ser chamado em classificação de Cambissolo ou Latossolo Amarelo. Possuindo alta variação da cor do solo ao longo do perfil, com fragmentos de couraça de tamanho crescente do topo até o início do saprolito e cores entre 5YR na porção correspondente ao solo e 7,5YR na porção correspondente ao saprolito. Em alta encosta o perfil é raso, havendo contato abrupto entre material transportado e o saprolito, com fragmentos de couraça. Em me-

dia encosta há aprofundamento do perfil de material transportado, com destaque para as tradagens 6 a 9, que correspondem ao fechamento da concavidade fechada e seu depósito logo a jusante o qual está sendo entendido como um leque aluvial. Aqui grãos de variados tamanhos ainda estão misturados havendo a presença de muitos cascalhos irregulares no meio do perfil. O fundo do vale, correspondente as tradagens 10 a 13, é constituído por depósito sedimentar plano, de origem fluvial, com seleção de grãos em horizontes bem demarcados. Havendo uma parte posterior mais fina (areia a argila) e um depósito de cascalhos de tamanho centimétrico a métrico, correspondente a antigo leito fluvial.

A encosta E2 (Figura 3) está no interior de uma concavidade aberta e conectada aos depósitos coluvionares e aluvionares a jusante, sendo limítrofe a encosta E1. A encosta estudada possui 225 metros declividade total de 20°, sendo >40° quando considerada apenas a encosta, pois há contato abrupto desta com o terraço fluvial no fundo do vale. Foram feitas tradagens a cada 30 metros, totalizando 12 pontos. As tradagens que se encontram na encosta evidenciam neossolo litólico raso, com rica presença de clastos e fragmentos de couraça transportados da encosta. A tradagem 4 no sopé da encosta demarca abrupta transição para material fino de coloração Gleit (14YR), que se expressa na superfície como área plana. Desse ponto de tradagem até o 12, o que se encontra é uma sequência de materiais argilosos ou areno argilosos, entrecortados por linhas horizontalizadas de seixos arredondados milimétricos a centimétricos e, na base, linhas localizadas de seixos de calha fluvial, centimétricos a métricos.

A encosta E3 (Figura 3) corresponde a um divisor, com forma convexo retilínea, limítrofe a concavidade da encosta E2. A encosta estudada possui 160 metros e declividade de 25°. Foram feitas tradagens a cada 30 metros, totalizando 05 pontos. Em toda a sua extensão há uma pequena concentração de matéria orgânica no topo do perfil, sendo inexistente em alguns pontos, em contato abrupto com o material residual do saprolito do Psamo Pelito Carbonatado, de coloração 10YR 5/6 e textura de argilosa a siltosa.

3.2 Análise Granulométrica

Foram coletados um total de 78 amostras de formadas nas tradagens, 35 na encosta E1, 33 na encosta E2 e 07 na E3. Devido ao posicionamento na encosta, coloração e organização dos materiais nas toposequência, as amostras foram pré categorizadas como colúvios, alúvios e elúvios. Após análise granulométrica de materiais grossos e finos as amostras foram plotadas em triângulos texturais pelo padrão USDA/NRCS -Soil Survey Division Staff, com doze classes definidas por sua proporção de argila, silte e areia, quais sejam: Argila (clay), argila arenosa (sandy clay), argila siltosa (silty clay), franco argilo arenosa (sandy clay loam), franco argilosa (clay loam), franco argilo siltosa (silty clay loam), areia (sand), areia franca (loamy sand), franco arenosa (sandy loam), franca (loam), franco siltoso (silt loam) e silte (silt).

Na Figura 4 os gráficos texturais são apresentados, com divisão por encosta e também por tipo de depósito. Na encosta 3 (E3) todas as amostras (n=07) correspondem a elúvios ou saprolito, por ser essa uma área de divisor, possuindo textura entre argilosa, franco argilosa e silte argilosa, proveniente da matriz rochosa, que já é pelítica. Na encosta 1 (E1), praticamente todas as amostras (n=35) são compostas por uma matriz franco argilosa, sendo mais francas as eluviais e mais argilosas as coluviais. A única diferença está na presença, organização e formato de fragmentos centímetros (Figura 3). Tal fato se explica por haver colúvios de encosta, com matriz pelítica proveniente da rocha e fragmentos e a existência de um leque aluvio-coluvionar que se estende desde o fechamento da concavidade até as proximidades do canal. Na encosta 2 (E2) os materiais conhecidamente aluviais são argilo siltosos e franco argilo siltosos em sua maioria, o que se explica por variações na composição da própria rocha. Os materiais de encosta ou coluvionares são de matriz argilosa em sua maioria, possuindo fragmentos rudáceos centimétricos (Figura 3). Por sua vez, os materiais aluvionares (n=15), coletados nas tradagens do terraço fluvial distribuem-se entre argilo arenosa e franco argilo arenosa. Isso se explica pelo fato de a planície fluvial ser mais proeminente nessa toposequência, havendo contato abrupto com depósitos coluvionares de encosta.

voltório que demonstra o comportamento principal das amostras, o material é nitidamente argiloso, em sua maioria.

Na encosta 1 (E1), a envoltória envelope de comportamento cumulativo demonstra que os elúvios mantém padrão similar ao da encosta E3, enquanto os alúvios demonstram uma curva com alta inclinação concentrando cerca de 60% em materiais argilosos, um platô mostrando estabilidade e o restante das amostras concentrando-se em materiais maiores que areia grossa. Essa organização mostraria a sequência de depósitos finos do terraço, intercalados por cascalhos de fundo fluvial e encaixa-se ao tipo de padrão de curva cumulativa explicado como fluvial por Dowgiałło & Kędzia (2011). O envoltório apresentado para as curvas cumulativas dos colúvios, como esperado apresenta maior amplitude para o tamanho dos grãos, mas demonstra um comportamento preferencial, com argilas e cascalhos angulosos, ambos provenientes da matriz rochosa.

Na encosta 2 (E2) a envoltória de ambos os materiais possui maior amplitude, com variação entre grãos de textura argilosa e arenosa, excetuando-se os materiais coluvionares que mostram-se extremamente argilosos. Tal comportamento pode ser explicado por dois motivos: a) variações texturais da própria rocha pelítica, controlando a variação para

materiais eluvionares; e, b) a maioria dos pontos dessa encosta, diferente da encosta E1, encontram-se em grande planície fluvial, fazendo com que as amostras sejam coletadas em porções de materiais depositados com diferentes energias e, portanto, com diferentes tamanhos de grãos.

3.3 Análise Morfoscópica

Análises morfoscópicas foram realizadas por Caldeira & Uagoda (2015), em amostras de alta, média e baixa encosta (Figura 6 e Figura 7) as quais inteiram que as amostras retiradas no topo e meio das encostas possuem características de depósitos coluvionares devido à abundância de grãos irregulares, angulares e sub angulares com superfície rugosa. A amostra do topo da encosta (E2 P1 A6) apresenta grãos sub angulares (60,9 %) em sua maioria contendo alguns grãos angulares (38,1%) e somente 1% de grãos sub arredondados. Destes, 82,4 % das superfícies eram rugosas e somente 17,6 % onduladas.

Na amostra da média encosta (E1 P8 A2) foram identificadas grãos angulares (1,8 %), sub angulares (60,5 %), sub arredondados (36,4 %), arredondados (0,9 %) e bem arredondados (0,4 %). As superfícies foram classificadas como rugosas (35,5%), onduladas (64,1%) e alisadas (0,4%), de-

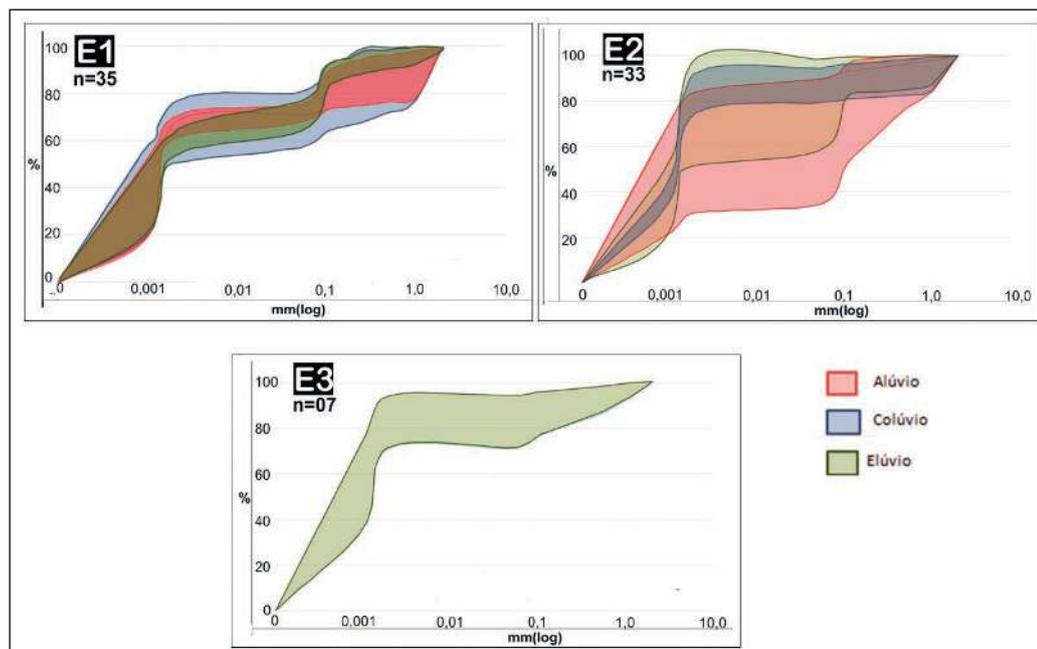


Figura 5 Envelopes envoltórios das curvas de acumulação granulométrica para as encostas E1, E2 e E3.

mostrando que esses materiais ainda estão muito próximos à área fonte, o que os classifica como coluvionares. (Figura 6)

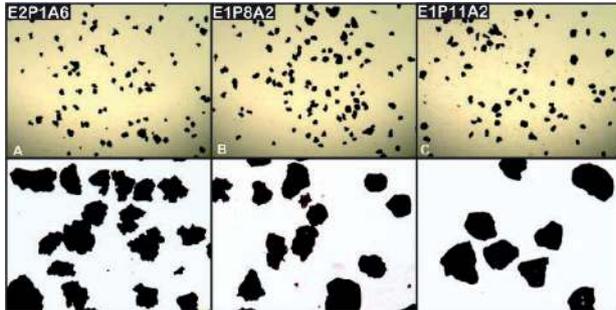


Figura 6 Imagens de amostras de alta (A), média (B) e baixa encosta(c), demonstrando diferenças na rugosidade dos grãos.

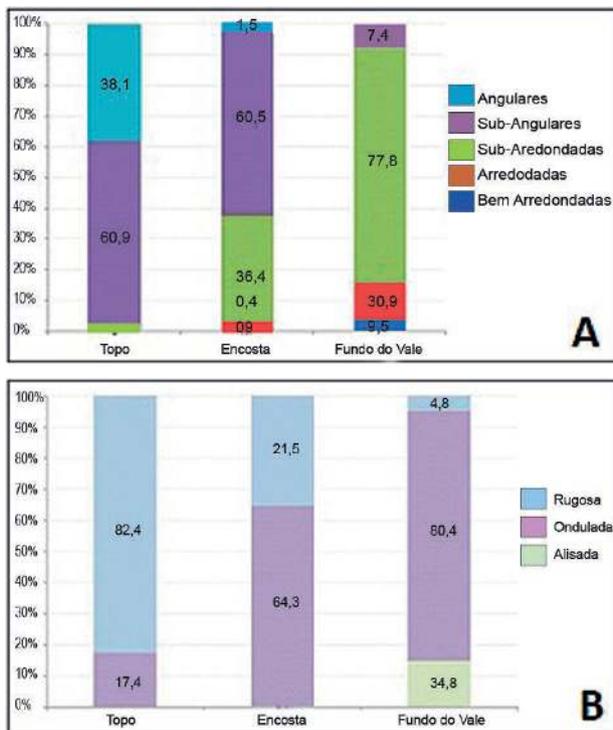


Figura 7 Gráficos demonstrando grau de arredondamento (A) e superfícies dos grãos de amostras de alta, média e baixa encosta (B).

Características de depósitos aluvionares como abundância de grãos sub arredondados e arredondados indicando longo transporte sedimentar fluvial, foram observadas somente em baixa encosta, onde a análise apresentou grãos sub angulares (7,4%), sub arredondado (77,8%), arredondados (10,9 %) e bem arredondados (3,9 %), não apresentando, portanto grãos angulares. As superfícies dos grãos foram classificadas em rugosas (4,8 %), onduladas (80,4 %) e alisadas (14,8 %), conforme observado na Figura 6 e Figura 7.

3.4 Análises Geotécnicas

Os gráficos das envoltórias de ruptura, plotados com as três tensões ensaiadas, apresentando a reta de Mohr-Coulomb, cada uma com seu respectivo valor de ângulo de atrito e coesão são apresentados em Braga (2015). Nesse trabalho demonstramos a síntese das análises de resistência ao cisalhamento. Com os parâmetros c e ϕ , de cada amostra, foi calculada a resistência ao cisalhamento para cada encosta (Tabela 1) e seu fator de segurança (tabela 1 e Figura 8). Como pode ser visto na Figura 3, foram coletados seis corpos de prova para análise de resistência, sendo três na encosta E1 (baixa, média e alta encosta), dois na encosta E2 (média e alta encosta) e 1 na encosta E3 (média encosta).

As áreas de topos mostraram valores de atrito e coesão altos, respectivamente 33° e $38,6\text{kPa}$ para a encosta E1 e 38° e $26,4$ para a encosta E2, bem como na encosta E3 que é um divisor e apresentou os valores de 43° para ângulo de atrito e $44,9\text{kPa}$ para coesão efetiva, resultando em um fator de segurança de 5,5 o que representa excesso de estabilidade. Essa alta estabilidade para as áreas de topo ou de divisores pode ser explicada pela proximidade ao saprólito

AMOSTRA	TIPO DE AMOSTRA	DECLIVIDADE	ENVOLTÓRIA (τ)	TIPO DE MATERIAL	COESÃO EFETIVA (c)	ÂNGULO DE ATRITO (ϕ)	FATOR DE SEGURANÇA
E1 - Topo	Côncavo fechada	7°	51,5	Saprólito	38,4	33	
E1 - Média encosta	Côncavo fechada	30°	39,4	Colúvio	18,7	46	3,3 (Alta Esta)
E1 - Baixa encosta	Côncavo fechada	5°	30,9	Alúvio	9,8	33	
E1 - Topo	Côncavo aberta	9°	43,8	Saprólito	26,3	38	
E2 - Média encosta	Côncavo aberta	45°	50,6	Saprólito	20,7	46	1,9 (Esta Crítica)
E1 - Média encosta	Convexa	22°	68,1	Saprólito	44,9	43	5,5 (Exce Esta)

Tabela 1 Cálculo da resistência ao cisalhamento

da rocha Psamo-Pelito Carbonatada que tem textura fina e é bastante coesa, tendo em vista a atração química provocada pelas partículas de silte e argila e alta superfície de contato grão a grão, além de ser uma área de baixa declividade ($\sim 12^\circ$) e baixa probabilidade de saturação devido a posição na encosta. O modelo físico usado na análise de estabilidade de encostas depende fortemente não apenas dos parâmetros de resistência mas também da geometria da encosta, neste caso, a baixa declividade explica em parte o alto valor do fator de segurança.

Apenas ao conteúdo de areia que foi detectado nas porções baixas da encosta E1 é que pode-se conferir aos solos da Fazenda, um comportamento arenoso, sob o ponto de vista geotécnico. A resistência dos materiais desses pontos, podem ser demonstradas pelos ensaios das amostras coletadas no fundo de vale, que apresentaram ângulo de atrito 33° e coesão 9,8kPa. Apesar da resistência ao cisalhamento não ser comumente aplicada às áreas planas, a informa-

ção de baixa coesão observada no vale, é provavelmente consequência da maior presença de areia.

As parcelas de resistência oferecidas pela E2 média encosta comparadas com as oferecidas pela E1 média encosta, são mais altas para coesão, no entanto, um pouco menores para ângulo de atrito. Isso pode ocorrer pelo fato de que a descida e deposição de colúvios ao longo da E1 mostram-se mais ativa, compondo a média e baixa porção da encosta com materiais detríticos, como foi observado em campo. O aumento da fração mais grosseira pode conferir ao solo maior parcela de resistência por atrito, principalmente por que esses depósitos de encosta apresentam partículas mais angulosas devido o rolamento por gravidade, como foi demonstrado por Caldeira, (2015) em estudo morfoscópico feito para os colúvios da E1.

Porém, é na média porção da encosta E2 o único local que se encontra o fator de segurança em “estabilidade crítica” na ordem de 1,93. Esse resul-

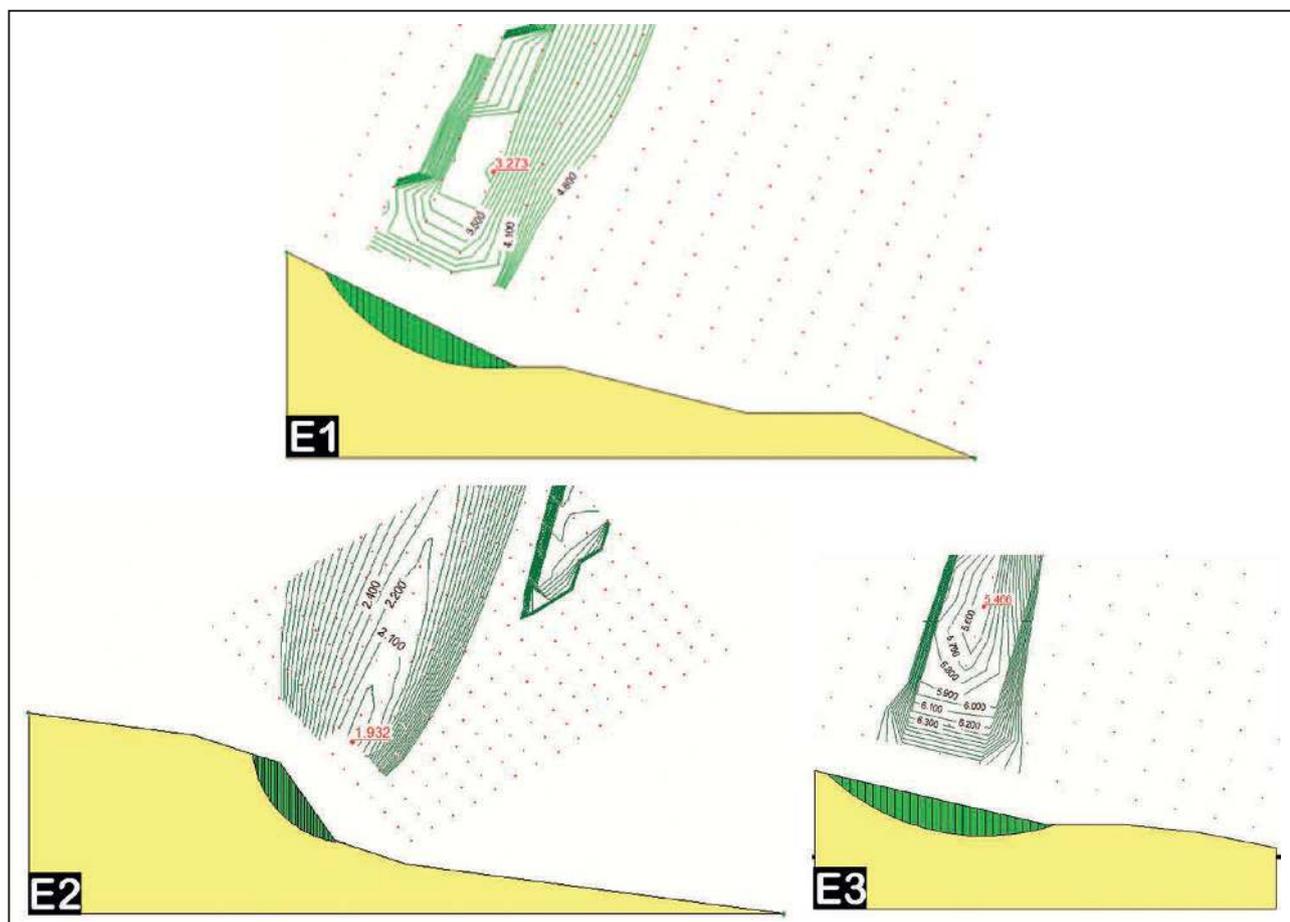


Figura 8 Fator de segurança (fs) para as encostas E1, E2 e E3.

tado pode ser explicado por coesão efetiva baixa, mas principalmente por declividade local na ordem de 45°, o que confere instabilidade a encosta. Esse resultado corrobora a descrição de campo que representa essa encosta como concavidade aberta formada por rejeito de movimento rotacional antigo, à semelhança do movimento rotacional recente ocorrido na região, demonstrando ser porção com maior instabilidade, que permite esse tipo de deslocamento de material.

3.5 Mapeamento de Depósitos

Após visitas de campo, elaboração das toposequência e coletas e análises de amostras, foi elaborado mapeamento dos depósitos e feições geomorfológicas para a área da fazenda Buraco.

Como consta na Figura 9, em uma área total de 187.457,7m² foram mapeadas as seguintes uni-

dades: a) massas de solo movimentadas por deslizamentos rotacionais recentes, totalizando 7.536,0 m² e 311.163,1 m³; b) sedimentos fluviais depositados em barras fluviais recentes, totalizando 1.558,1 m² e 95.018,6 m³; c) sedimentos depositados em leque aluvial, totalizando 168.257,2 m² e 3.314,5 m³; d) sedimentos coluvionares compreendendo total 302.612,6m² e 6.801,0 m³; e) sedimentos aluvionares totalizando 3.751.470,5 m² e 62.988,3m³.

A configuração atual disposta na fazenda Buraco demonstra que esse quadro é decorrente da dinâmica do rio meandrante conjuntamente com a dissecação recente do relevo e deposição de materiais. Dessa forma os depósitos antigos e recentes estão condicionados a variação desses processos que podem ocorrer em menor ou maior intensidade conferindo ao relevo sua maior expressão.

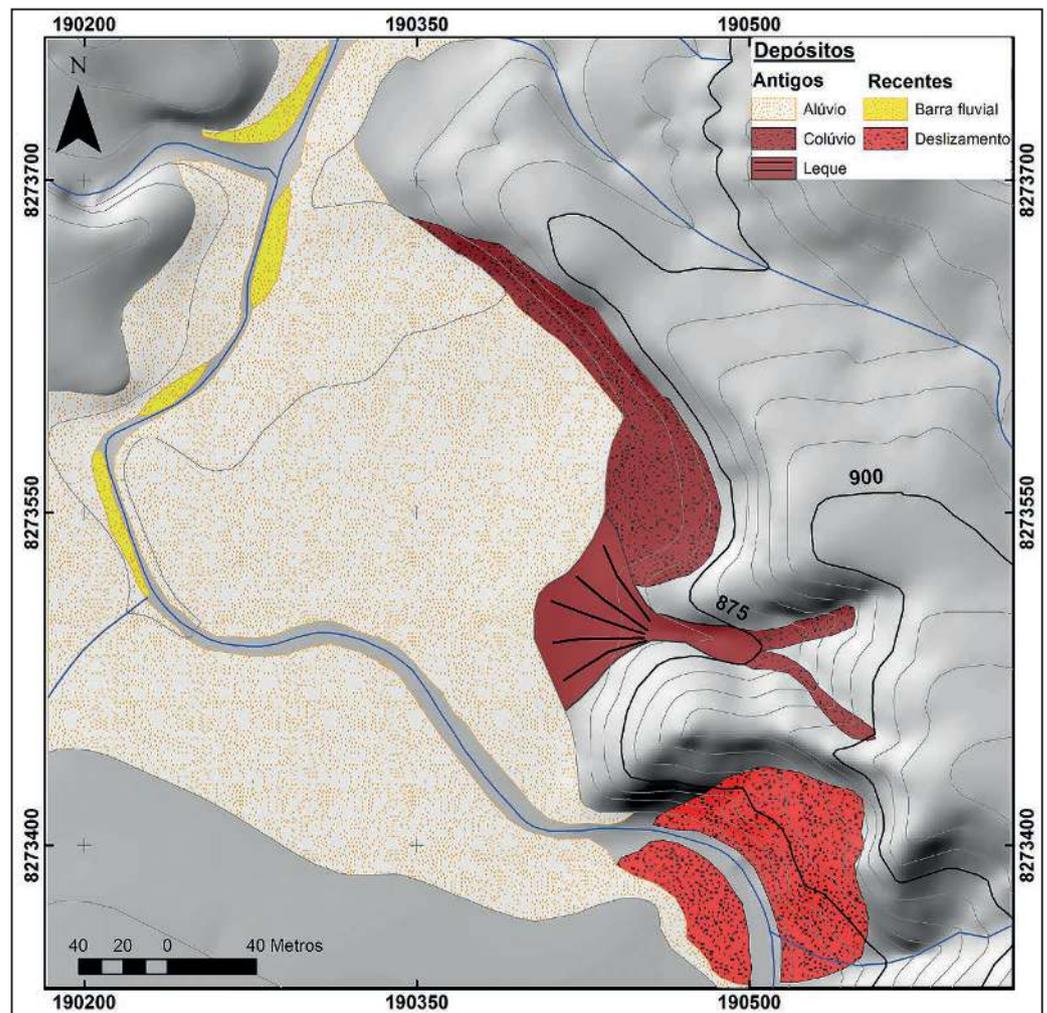


Figura 9 Mapeamento dos depósitos contidos nas encostas e fundos de vale da Fazenda Buraco, calha do Ribeirão Contagem.

4 Conclusões

A estabilidade dos materiais averiguada por esta pesquisa permite afirmar que a ocorrência de fenômenos de deslizamento na bacia do Ribeirão Contagem não esta predominantemente ligada às características mecânicas dos materiais que a compõem. Análises geomorfológicas intuem a existência pretérita da condição de eventos mais fortes que geraram as cicatrizes e deposições, observadas atualmente. Distinguem-se na área de estudo, três patamares de deposição bem delimitados que conferem comportamentos distintos para cada porção da encosta e fundo de vale. Dados de granulometria conferem as encostas comportamento semelhantes sendo que na E1 predomina uma matriz franco argilosa; E2 argilo silto a franco argilosa (alúvios) e argilosa (colúvio); E3 textura entre agilosa, franco argilosa e silto argilosa. De maneira geral a análise morfoscópica revelou que amostras do topo e média encosta possuem característica de depósitos coluvionares (abundância de grãos irregulares, angulares e sub angulares com superfície rugosa) e amostras da baixa encosta caracterizam os depósitos aluvionares (predominância de grãos sub arredondados e arredondados). As análises geotécnicas mostraram que as áreas de topo possuem valores de atrito e coesão mais alto em ambas encostas e baixa para área de vale (baixa encosta). As encostas analisadas possuem aspectos geotectônicos distintos cujos resultados constataam que a Encosta E2 como a mais instável devido aos níveis de criticidade, “estabilidade crítica” apresentados para a porção de média encosta. Na análise dos sedimentos observou-se ausência de vestígios claros de uma estratificação causada por depósito de movimento de massa, que pode já ter sido retirado recentemente devido a forte atividade erosiva observada na área. As análises demonstraram que os depósitos de sedimentos tem influência fluvial, na área de estudo. Para complementação do estudo ressalta-se a importância de estudos de datação para a comprovação destas análises.

5 Referências

Alimohammadlou, Y.; Najafi, A. & Yalcin, A. 2013. Landslide process and impacts: a proposed classification method. *Catena*, 104: 219–232.
Almeida, B.G.; Donagemma, G.K.; Ruiz, H.A.; Braida, J.A.;

Viana, J.H.M.; Reichert, J.M.M.; Oliveira, L. B.; Ceddia, M.B.; Wadt, P.G.S.; Fernandes, R.B.A.; Passos, R.R.; Dechen, S.C. F.; Klein, V. A. & Teixeira, W.G. 2012. Embrapa Solos - Comunicado Técnico. *Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil-66*. 11p
Azevedo, G.F. 2015. Sistema de Análise Quantitativa de Risco por Escorregamentos Rasos Deflagrados por Chuvas em Regiões Tropicais. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 107/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 254 p
Braga, L.M. 2015. *Análise geomorfológica e geotécnica em encostas suscetíveis a movimentos de massa - bacia hidrográfica do Ribeirão Contagem/DF*. Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 68p.
Caldeira, D.M.V.S. 2015. Elaboração de toposequências de solos e rochas em encostas côncavas e convexas. 2015. Iniciação Científica. - Universidade de Brasília, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
Campos J.E.G.; Dardenne M.A.; Freitas-Silva F.L. & Martins-Ferreira M.A.C. 2013. Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. *Brazilian Journal of Geology*, 43(3): 461-476.
Ceballos, C.A.M. 2015. *Sistema de Classificação Geotécnica de encostas para projetos de estradas baseado no Índice de Qualidade HSQI: Proposta Metodológica e Validação*. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 106p.
Chae, B.G.; Lee, J.H.; Park, H.J. & Choi, J. 2015. A method for predicting the factor of safety of an infinite slope based on the depth ratio of the wetting front induced by rainfall infiltration. *Natural Hazards Earth System Sciences. Discuss.*, 15: 1835-1849.
Coelho Netto, A.L.; Fernandes, N. F.; Dantas; M.E.; Dietrich, W.E.; Montgomery, D.R.; Davis; J.C.; Proctor, I.; Vogel, J. & Southin, J. 1994. Evidences of two Holocene erosion-sedimentation cycles in SE.Brazil: stratigraphy and stratigraphy inversion. In: INTERNATIONAL SEDIMENTOLOGICAL CONGRESS, 14, *Abstracts*, Recife, p.29-30.
Coelho Netto, A.L. 2003 a. Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 4(2): 69 -100.
Coelho Netto, A.L. 2003 b. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (Org). *Uma Atualização de Bases e Conceitos*. Editora Bertrand Brasil. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-148.
Coelho Netto, A.L.; Avelar, A.S.; Fernandes, M.C. & Lacerda, W.A. 2006. Landslide Susceptibility in a Mountainous Geoecosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The Role of Morphometric Subdivision of the Terrain. *Geomorphology*, 87: 120-131.
Dowgiałło, E.M. & Kędzia, M.L. 2011. Alternative interpretations of grain-size data from Quaternary deposits. *Geologos*, 17(4): 189–203.
Ferreira, R.S. & Uagoda, R. 2015. Estudos dos controles morfo-métricos a feições erosivas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Contagem/DF. *Espaço e Geografia*, 18(1): 187-216.

- Hack, J.T & Goodlet, J.G. 1960. Geomorfology and forest ecology of a mountain region in the Central Appalachians. U.S. *Geological Survey Professional Paper 347*: 66.
- Herath, S. & Wang, Y. Case. 2009. Studies and National Experiences. In: SASSA, K. & CANUTI, P. (Eds.). *Landslides — Disaster Risk Reduction*. Book publisher Springer Verlag, p. 475–497.
- Hungr, O.; Leroueil, S. & Picarelli, L. 2014. The varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2): 167–194.
- Kjekstad, O. & Highland, L. Economic and social impacts of landslides. 2009. In: SASSA, K. & CANUTI, P. (Eds.), *Landslides — Disaster Risk Reduction*. Springer Verlag, p. 573–587.
- Machado, M.B. & Moura, J.R.S. 1982. A Geomorfologia e a sedimentação Quaternária no médio vale do rio Casca, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 4, Salvador, 1982. p 1433-1441.
- Martins, E.S.; Reatto, A.; Farias, M.F.R.; Silva, A.V.; Bloise, G.L.F.; Spera, S.T.; Junior, O.A.C. & Guimaraes, R.F. 2002. *As relações da Geologia com os solos na APA de Cafuringa, DF*, Escala 1:100000. Embrapa Cerrados. 35p.
- Meis, M.R.M. & Monteiro, A.M.F. 1979. Upper Quaternary rampas: Doce river valley, SE Brazilian Plateau. *Zeit. Geomorph*, 23: 132- 151.
- Milne, G. 1934. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. *Soil Research*, 4(2): 183-198.
- Moura, J.J.L.S & Meis, M.J.L.M. 1980. Litoestratigrafia preliminar para os depósitos de encosta do quaternário Superior do Planalto SE do Brasil (MG-RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 10(4): 258-267.
- Mucher, H.; Steijn, H. & Kwaad, F. 2010. Colluvial and Mass Wasting Deposits. In: STOOPS, G.; MARCELINO, V. & MEES, F. (Ed). *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Publisher Elsevier. p. 37-48.
- Nichols, G. *Sedimentology and Stratigraphy*. 2ª ed.UK: Jonh Wiley & Sons Ltd., 2009. 419p.
- Rubio, E., Hall, J.W. & Anderson, M.G. 2004. Uncertainty analysis in a slope hydrology and stability model using probabilistic and imprecise information. *Elsevier*, 31(7): 529–536.
- Varnes, D.J. 1979. Slope movement types and processes. In: *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control*. (Eds). In: SCHUSTER, R.L. & KRIZEK, R.J. (Eds.). Transportation and Road Research Board. Publisher National Academy of Science, p.11-33.