

LETÍCIA d'AGOSTO MIGUEL FONSECA

**INDICADORES AMBIENTAIS EM ÁREAS DE RISCOS DE  
DESLIZAMENTOS DE TERRA EM JUIZ DE FORA, MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F676i  
2014  
Fonseca, Letícia d'Agosto Miguel, 1989-  
Indicadores ambientais em áreas de riscos de  
deslizamentos de terra em Juiz de Fora, Minas Gerais /  
Letícia d'Agosto Miguel Fonseca. - Viçosa, MG, 2014.  
vi, 70f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador : João Luiz Lani.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Deslizamentos (Geologia). 2. Física do Solo. 3. Solos -  
Análise. 4. Geologia - Métodos estatísticos. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de  
Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 551.307

LETÍCIA d'AGOSTO MIGUEL FONSECA

**INDICADORES AMBIENTAIS EM ÁREAS DE RISCOS DE DESLIZAMENTOS  
DE TERRA EM JUIZ DE FORA, MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 5 de setembro de 2014.

---

Gérson Rodrigues dos Santos

---

Williams Pinto Marques Ferreira

---

Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Coorientador)

---

Márcio Rocha Francelino

---

Prof. João Luiz Lani  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, por mais uma etapa vencida.

A Universidade Federal de Viçosa por proporcionar a realização deste trabalho e contribuir para o meu desenvolvimento como profissional.

A minha mãe Rose e tia Elaine, exemplos de vida e força, sempre presentes no meu coração.

Ao meu pai Paulo, que além de apoio e torcida colocou a “mão na massa”, acompanhando-me nas coletas de campo e acreditou no meu trabalho.

As minhas irmãs Mariana e Helena que acompanharam de perto essa fase e motivaram-me a lutar e a buscar meus objetivos, permitindo a superação de diversos obstáculos.

Ao meu orientador João Luiz Lani e coorientador Elpídio Inácio Fernandes Filho pela amizade, dedicação, orientação e conhecimento transmitido.

Aos professores Eduardo Marques e Gerson dos Santos Rodrigues pelas disciplinas ministradas e principalmente, pela amizade e disposição em receber-me e ajudar-me nas dúvidas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao pesquisador Marcos Hott pela amizade e por encorajar-me e preparar para a vida acadêmica.

Aos amigos Diego Camelo e Pablo pelos momentos de apoio no dia-a-dia e descontração nos nossos almoços do R.U.

A amiga Adriana pelos aprendizados trocados nas disciplinas.

Aos amigos da Geotecnia Francys, Fabiana e Paulo Capelão pelo aprendizado compartilhado nos trabalhos em laboratório.

A Karina e Vitor amigos de todo dia.

A todos os amigos e colegas do mestrado, em especial a Lais e Sarah pela troca de experiências, conhecimento e pelos momentos festivos.

A todos os meus queridos amigos de Juiz de Fora, dos quais tenho a sorte de tê-los na minha vida, Fernanda, Tales, Bianca, William, Nathan, Marya e Tatiane, essenciais para essa conquista.

A todos os professores do Departamento de Solos com quem pude conviver e aprender. E também, ao apoio dos funcionários do DPS/UFV.

A todos os meus familiares que, de alguma forma, tornaram esse sonho possível.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
CAPÍTULO 1 - PROCESSOS EROSIVOS EM CAMBISSOLO NA SUB-BACIA DO CÓRREGO DO YUNG EM JUIZ DE FORA, MINAS GERAIS. ....	2
RESUMO .....	2
ABSTRACT .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	4
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	6
2.1 Caracterização da área de estudo .....	6
2.2 Coleta de solos e preparo das amostras .....	7
2.3 Análises de laboratório .....	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	10
3.1 Caracterização física .....	12
3.2 Caracterização geotécnica .....	13
4. CONCLUSÕES .....	16
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	17
CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREAS SUSCETÍVEIS AO DESLIZAMENTO DE TERRA .....	23
RESUMO .....	23
ABSTRACT .....	25
1. INTRODUÇÃO .....	27
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	29
2.1 Caracterização da área de estudo .....	29
2.2 Coleta de solos e preparo das amostras .....	30
2.3 Análises de laboratório .....	31

2.4	Análise do terreno.....	31
2.5	Análise geostatística.....	32
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.1	Atributos do terreno na sub-bacia do Córrego do Yung.....	33
3.2	Espacialização dos atributos físicos do solo .....	35
4.	CONCLUSÕES.....	44
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
CAPÍTULO 3 - ÁREAS DE RISCOS A DESLIZAMENTOS DE TERRA NA ÁREA URBANA DE JUIZ DE FORA/MG.....		48
RESUMO .....		48
ABSTRACT .....		49
1.	INTRODUÇÃO.....	50
2.	MATERIAL E MÉTODOS .....	52
2.1	Caracterização da área de estudo.....	52
2.2	Dados utilizados .....	54
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.1	Análise do mapeamento das áreas de risco no centro urbano de Juiz de Fora.....	54
3.2	Relação da precipitação com os deslizamentos de terra .....	57
4.	CONCLUSÕES.....	65
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
CONCLUSÕES GERAIS .....		69

## RESUMO

FONSECA, Letícia d'Agosto Miguel, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Setembro de 2014. **Indicadores ambientais em áreas de riscos de deslizamentos de terra em Juiz de Fora, Minas Gerais.** Orientador: João Luiz Lani. Coorientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Objetivou-se com este trabalho, identificar os indicadores ambientais que influenciaram na ocorrência de deslizamentos de terra considerando aspectos geotécnicos, o levantamento e mapeamento dos solos e de outros atributos do meio físico, utilizando os recursos dos Sistemas de Informação Geográfica na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. A metodologia foi dividida em três etapas: coletas de amostras de solo, análises em laboratório que foram realizadas nos Departamentos de Solos e da Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa e a etapa de geoprocessamento. Foi realizada a abertura e descrição do perfil de solo, coletadas amostras deformadas e com estrutura preservada por meio do anel volumétrico na superfície e amostras deformadas subsuperficiais onde se observou em profundidade dois fatores: textura e mudança de horizonte, em 43 pontos distribuídos na área da sub-bacia do córrego do Yung, no bairro Três Moinhos. Também foram coletadas amostras indeformadas para os ensaios geotécnicos nos horizontes B e C. Os dados das análises físicas foram espacializados no programa R por meio do pacote geoR e realizaram-se as interpolações usando o método da Krigagem Simples. Também os dados de profundidade do solum e a condutividade hidráulica foram mapeados através de ferramentas disponíveis no ArcGis 10.1. Os resultados apontaram que não é necessária a ocorrência de eventos extremos de chuva para que ocorram deslizamentos na cidade. Estes estão relacionados ao padrão de moradia, relevo e uso e ocupação do solo. A caracterização geotécnica evidenciou menor resistência à erodibilidade do horizonte B em relação ao horizonte C, que apresentou maior perda de solo acumulado, em vista do menor teor de argila e ausência de estrutura. O ensaio de cisalhamento direto mostrou que a resistência quanto ao solo natural comparando os horizontes é próxima, mas ao ensaiar o solo saturado há um decréscimo acentuado na resistência do horizonte C. Concluindo, áreas expostas de horizonte C, solos pouco profundos e muito declivosos evidenciam maior potencial de erosão. Os dados de textura foram satisfatórios para a realização da análise geoestatística, pois o modelo identificou as cicatrizes de deslizamento pela elevada presença de silte e a correlação entre os atributos físicos do solo.

## ABSTRACT

FONSECA, Letícia d'Agosto Miguel, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, September 2014. **Environmental indicators in areas of landslides risk in Juiz de Fora, Minas Gerais.** Adviser: João Luiz Lani. Co-adviser: Elpídio Inácio Fernandes Filho.

The study aimed to identify environmental indicators that influence the occurrence of landslides considering geotechnical aspects, the survey and mapping of soils and other attributes of the physical environment, using the capabilities of Geographic Information Systems in Juiz de Fora Minas Gerais. The methodology was divided into three steps: collection of soil samples, laboratory analyzes that were conducted in the Departments of Soil and Civil Engineering in Federal University of Viçosa and geoprocessing. It was performed the description of soil profile and collected deformed and undeformed samples using the volumetric ring on surface. It was used an auger for measuring Solum (horizon A+B) and collecting subsurface material observing in depth the horizon transition and texture. All the collected materials were distributed on 43 points in the sub-basin area of the Yung stream in Três Moinhos neighborhood. It was also collected undeformed samples for geotechnical testing in B and C horizons. The physical analysis data were spatialized using R program through geoR package and interpolated using the Simple Kriging method. Also the data of the solum depth and hydraulic conductivity were mapped using available tools in ArcGIS 10.1. The results showed that the occurrence of extreme rainfall events is not required for landslides occurring in the city, and these are linked to the standard of housing, relief, and the use and occupation of land. The geotechnical characterization showed greater resistance of B horizon to erodibility against the C horizon, which showed higher cumulative soil loss because of the lower clay content and absence of structure. The direct shear test showed that resistance of natural soils horizons is similar, but testing the saturated soil there is a hard decrease in the resistance of horizon C. Concluding, it was verified that exposed C horizon soil, shallow soils and steep slopes show greater potential for erosion. The texture data were satisfactory for the performance of geostatistical analysis in view of the model had identified the slipped scars by high presence of silt and the correlation between soil physical properties.

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

Os escorregamentos ou deslizamentos são eventos de movimentos de massa envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação. Portanto, consistem em processos naturais que atuam na dinâmica das vertentes, e fazem parte da evolução geomorfológica em regiões serranas.

O risco de ocorrência desses eventos é avaliado em razão das características do local onde ocorrem, ou seja, em função das variáveis como tipo de solo, pluviosidade, presença ou ausência de vegetação, tipos litológicos, comportamento antrópico, entre outros.

Quando ocorrem, as vezes, provocam mortes e prejuízos materiais e são considerados desastres naturais. Quando envolvem grande número de vítimas são classificados como catástrofes em âmbito nacional, as quais tem motivado um conjunto de esforços entre entidades do poder público para produzir massa crítica de conhecimento sobre o assunto, com vista a implementar medidas de redução desses eventos. Neste contexto, destaca-se a criação do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) em 2011, que conta com uma equipe multidisciplinar de pesquisadores atuando no desenvolvimento de estudos e pesquisas relacionados a diversos aspectos dos desastres naturais com o objetivo de emitir alertas para melhor subsidiar as ações do Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC).

No Brasil, os mapeamentos das áreas de risco são predominantemente realizados por meio de avaliações qualitativas, ou seja, os riscos são identificados com base na opinião técnica de quem realiza o mapeamento, bem como apoiado nas informações dos moradores. Todavia, podem ser realizados por meio de dados quantitativos e tais métodos estão em crescimento no país, sendo adotados em municípios onde existe um banco de dados histórico consistente sobre os deslizamentos ocorridos ao longo dos anos.

Nesse sentido, a proposta deste trabalho é estudar os tipos de solos que são mais suscetíveis ao escorregamento, buscando-se estabelecer parâmetros ambientais para o mapeamento de áreas de risco, com base em áreas que apresentaram eventos nos últimos anos, contribuindo assim, para a discussão da automatização deste processo com vista a desenvolver padrão de mapeamento tecnicamente mais satisfatório, tendo como objetivo final um produto de planejamento do uso do solo e gerenciamento de áreas de riscos.

## CAPÍTULO 1

### PROCESSOS EROSIVOS EM CAMBISSOLO NA SUB-BACIA DO CÓRREGO DO YUNG EM JUIZ DE FORA, MINAS GERAIS.

#### RESUMO

FONSECA, Leticia d'Agosto Miguel. **Processos erosivos em Cambissolo na sub-bacia do Córrego do Yung em Juiz de Fora, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2014. Cap.1, 20p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

O objetivo desse trabalho foi classificar o solo da sub-bacia do Córrego do Yung, localizada no bairro Três Moinhos em Juiz de Fora, na mesorregião da Zona da Mata Mineira, analisando o comportamento dos horizontes pedológicos B e C em relação à erosão superficial, e a partir de ensaios geotécnicos e caracterização física dos materiais, estabelecer correlações com a sua erodibilidade. O solo coletado para classificação encontra-se no terço médio da toposequência, em corte de estrada. O perfil foi descrito, caracterizado e classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Nas amostras dos horizontes A e B foram realizadas análises físicas (granulometria) e químicas (Embrapa, 1997). As amostras utilizadas nos ensaios geotécnicos foram retiradas no topo da encosta, onde se observou maior clareza na transição dos horizontes. No total foram retiradas quatro amostras indeformadas cilíndricas com 20 cm de diâmetro, duas de cada horizonte (B e C). Nesses materiais foram determinados alguns índices físicos, sendo estes: peso específico dos grãos, granulometria, Limites de Liquidez e Plasticidade. Foram realizados os ensaios geotécnicos de erodibilidade (Inderbitzen) e cisalhamento direto. O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico. A mineralogia apresentou em sua composição essencialmente quartzo, caulinita e óxidos de ferro (hematita e goethita), o que evidenciou o seu alto grau de evolução pedogenética (intemperismo). Segundo a classificação do Sistema Unificado de Classificação dos Solos, o horizonte B foi classificado como argila de alta compressibilidade e o horizonte C como silte de baixa compressibilidade. O ensaio de Inderbitzen evidenciou a correlação da composição granulométrica do horizonte do solo com a erodibilidade, pois o horizonte C apresentou maior perda de solo acumulado, em vista do menor teor de argila e ausência de estrutura, que condicionam grãos mais soltos, portanto mais erodíveis. Também foi verificada menor resistência ao cisalhamento na condição inundada, evidenciando a menor resistência do solo saturado, o que ocorre em épocas chuvosas. Concluindo, na sub-bacia do Córrego do Yung as áreas com maior potencial de erosão são aquelas que expõem o horizonte C.

## ABSTRACT

FONSECA, Letícia d'Agosto Miguel. **Erosive process in Inceptisol on Yung Stream sub-basin in Juiz de Fora, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2014. Ch.1, 20p. (Dissertation – Master's degree in Soil and Plant Nutrition).

This study aimed to classify the soil in Yung Stream sub-basin located in Três Moinhos neighborhood in Juiz de Fora, in the middle region of the Zona da Mata Mineira, analyzing the B and C soil horizons in relation of the surface erosion, through geotechnical testing and physical characterization of materials, establishing correlations with its erodibility. The soil collected for classification was located in toeslope of topossequence in roadblock. The profile was described, characterized and classified according to the Brazilian System of Soil Classification. It was performed physical analysis (particle size) and chemical (Embrapa, 1997) in the samples of A and B horizons. The sample used for geotechnical testing was taken at the top of the hill, where there was greater clarity in the transition horizons. In total, it was taken four cylindrical soil samples with 20 cm diameter, two for each horizon (B and C). These materials were determined some physical indexes, which are: specific weight of particles, grain-size distribution, liquidity limits index and plasticity index. Geotechnical testing of erodibility (Inderbitzen) and direct shear were performed. The soil was classified as latossolic dystrophic Tb Haplic Cambisol. The mineralogy presented in its composition essentially quartz, kaolinite and iron oxides (hematite and goethite), which showed its high degree of pedogenetic evolution (weathering). According to the classification of the Unified System of Soil Classification, the B horizon was classified as high compressibility clay and the C horizon as low compressibility silt. The Inderbitzen test showed the correlation between granulometric composition of soil and erodibility, as the horizon C showed greater loss of accumulated soil because of the smaller clay content and no structure, this factors condition looser grains, thus more erodible. It was also observed lower shear strength in flooded condition, showing a lower resistance of saturated soil, which occurs during rainy season. In conclusion, in the Yung stream sub-basin areas with higher erosion potential are those that expose C horizon.

## 1. INTRODUÇÃO

Deslizamentos de terra são eventos naturais de grande preocupação, especialmente no meio urbano e durante o período chuvoso. Ao longo dos últimos anos, esta preocupação tem aumentado em razão dos diversos acontecimentos ocorridos em várias regiões serranas brasileiras, o que ocasionou inúmeras mortes, onde se destaca os casos ocorridos na região de Petrópolis e Angra dos Reis (2013), em diversas cidades de Santa Catarina (2008), em Além Paraíba (2012), entre outras.

A pedologia, através de seus procedimentos de caracterização, identificação, classificação e mapeamento dos solos pode contribuir na solução de problemas envolvendo movimentos de massas de solo e, em especial, no caráter preditivo de identificação de áreas com maior suscetibilidade à ocorrência destes eventos. Isso pode facilitar o planejamento do melhor uso destes recursos naturais (Resende et al., 2002; Pedron et al., 2004).

A erodibilidade de um solo pode ser influenciada por suas propriedades físicas e químicas, pelas características geométricas das encostas (forma, tamanho e declividade), pela cobertura vegetal e pelo regime de chuvas (Vestena & Kobiyama, 2014). Esses fatores combinados na dinâmica espacial podem interferir na energia cinética das chuvas sobre os solos (Aquino et. al., 2012). Além de interferir na capacidade de infiltração e armazenagem de água no solo, pois esses influenciam na possibilidade de ocorrência de deslizamentos de terra (Petschko et al., 2014).

No domínio dos “Mares de Morros” o horizonte C tende a ser muito profundo e há uma desproporção da profundidade do solum e solo, caracterizando o processo de rejuvenescimento do processo pedogeomorfológico deste domínio (Rezende & Resende, 1996). Ainda segundo estes autores, nas porções mais íngremes, geralmente com o horizonte C exposto, há maior dificuldade de recomposição da cobertura vegetal devido à deficiência de nutrientes e de água estacional, aumentando, assim, os processos erosivos.

O escoamento superficial tem início quando a intensidade de precipitação pluviométrica torna-se maior que a taxa de infiltração da água no solo, sendo também consequência da retenção superficial, da interceptação vegetal, da demanda matricial do solo e da evaporação. A erosão hídrica pode então ser definida como o processo de desagregação e transporte das partículas do solo causado por agentes erosivos (Bezerra et al. 2010).

Experimentos realizados avaliando erosão e textura do solo mostraram que aqueles com elevada quantidade de silte apresentam maior suscetibilidade à erosão frente aos argilosos e arenosos sob as mesmas condições, devido ao maior escoamento superficial (Fu et al., 2011). Também, evidenciaram que a declividade e a presença de cobertura vegetal influenciam na intensidade de erosão (Sadeghi et al., 2012).

Os principais fatores relacionados à resistência do solo ao escoamento são a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento (Griebeler et al, 2005).

O ensaio de erodibilidade de Inderbitzen (1961) simula o escoamento superficial que ocorre no campo, por meio da retirada de uma amostra de solo indeformada que é fixada à base de uma rampa, de modo que a superfície da amostra coincida com a superfície da rampa. A inclinação desta rampa pode ser alterada, bem como a vazão de escoamento, permitindo alterar as tensões cisalhantes aplicadas (Griebeler et al., 2005). Stephan (2010) adaptou um equipamento de Inderbitzen na Universidade Federal de Viçosa para o estudo de três taludes em Juiz de Fora, Minas Gerais.

Bastos (1999) ao analisar o problema de erosão por escoamento concluiu que a resistência ao movimento dos grãos por ação do fluxo é dada pela resistência ao cisalhamento entre as camadas de grão superficial e subjacente na superfície do solo. Portanto, a erosão depende da coesão do solo na superfície do talude, que pode ser alterada se houver infiltração de água. O potencial de erodibilidade deve ser relacionado com a variação da coesão ( $\Delta c$ ) entre as envoltórias de resistência obtidas com amostras na umidade natural e amostras inundadas.

Os canais de erosão provocados por escoamento superficial tem início quando a resistência mecânica do solo, representada pela tensão de cisalhamento crítica ( $\tau_c$ ) é excedida (Vestena & Kobiyama, 2014). A tensão de cisalhamento do solo é dependente das características do solo, como granulometria, constituição mineralógica e química; estrutura e capacidade de infiltração do solo (Barbosa & Lima, 2012).

Neste contexto, o objetivo da realização deste trabalho foi de analisar o comportamento dos horizontes pedológicos B e C de um Cambissolo na área urbana de Juiz de Fora (MG) frente à erosão superficial e a partir de ensaios geotécnicos e caracterização física dos materiais, estabelecer correlações com a sua erodibilidade.

Nos últimos anos a cidade de Juiz de Fora tem apresentado expansão urbana significativa. A Defesa Civil registra todos os anos ocorrências de deslizamentos de terra em diversas regiões da cidade, principalmente em época de chuva. Dentre as regiões com

maior número de ocorrências de deslizamento e desenvolvimento de processos erosivos encontra-se na região leste, o bairro Três Moinhos, que se caracteriza por apresentar moradias sem infraestrutura básica e distribuídas de maneira irregular. Estas informações ressaltam a importância do mapeamento prévio de áreas suscetíveis à erosão, como ferramenta do planejamento urbano.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na sub-bacia hidrográfica do córrego do Yung, bairro Três Moinhos em Juiz de Fora, na mesorregião da Zona da Mata Mineira. A sub-bacia do córrego do Yung localiza-se na região leste da cidade, apresenta área de 35 ha, em relevo montanhoso com ravinas de deslizamentos e presença de voçorocas (Figura 1).

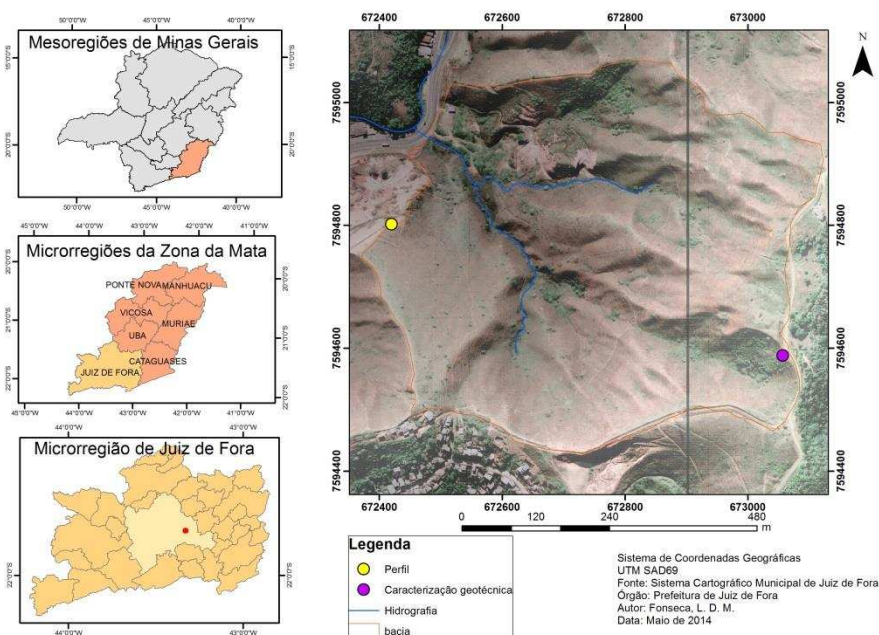


Figura 1. Localização da sub-bacia hidrográfica do córrego do Yung no município de Juiz de Fora, Minas Gerais.

A presença de vales profundos associados a encostas com elevadas declividades, conhecidos como “Mares de Morros” (Ab’Saber, 1996), sujeitos a maiores precipitações pluviométricas, características do clima tropical de altitude, constituem os principais fatores que imprimem à região uma dinâmica superficial bastante intensa, com acomodações de solos, enchentes e áreas de deslizamento de terra (PREFEITURA DE JUIZ DE FORA - PJF, (2004). Litologicamente, a área é composta por um biotita gnaíse

bandado com intercalações de quartzito impuro (q), gnaiss quartzoso, rocha anfibolítica (a) e, subordinadamente, granada-gnaiss e rocha calcissilicática (CODEMIG, 2013).

## **2.2 Coleta de solos e preparo das amostras**

O solo coletado encontra-se no terço médio da topossequência, em corte de estrada. Nas amostras dos horizontes A e B foram realizadas análises físicas (granulometria) e químicas (Embrapa, 1997) e classificado (Embrapa, 2013).

O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos, posteriormente destorroado, seco ao ar e passado em peneira de 2 mm (TFSA). As amostras utilizadas nos ensaios geotécnicos foram retiradas no topo da encosta, onde se observou maior clareza na transição dos horizontes. No total foram retiradas quatro amostras indeformadas cilíndricas com 20 cm de diâmetro, Duas caracterizando o horizonte B, entre 10 - 30 cm de profundidade; e duas representativas do horizonte C, de 50 – 70 cm de profundidade. As amostras foram parafinadas e revestidas por plástico filme, com a finalidade de preservar a sua estrutura e a umidade natural do campo (NBR 9.604/86). Foram realizados os ensaios geotécnicos de erodibilidade (Inderbitzen), caracterização completa, e cisalhamento direto, sendo este último seguindo-se a norma ASTM D3. 080 (ASTM, 2004).

Por fim, foram realizados ensaios de caracterização mineralógica por difratometria de raios-X.

## **2.3 Análises de laboratório**

Foram determinados alguns índices físicos dos materiais do horizonte B e C, sendo estes: peso específico dos grãos ( $\gamma_s$ ) (NBR 6.508/84), granulometria (NBR 7217/87), Limites de Liquidez (NBR 6.459/84) e Plasticidade (NBR 7.180/84). A classificação geotécnica de solos utilizada foi a do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), que se baseia nestas propriedades índice do solo (ASTM D 2487-85).

O equipamento de Inderbitzen consiste em uma rampa de alumínio com 170,0 cm de comprimento e 22,0 cm de base com um orifício circular de 14,4 cm de diâmetro para a fixação do corpo de prova. O orifício encontra-se a 120 cm do início do escoamento (Figura 2). Há um reservatório de água de 40 litros e um rotâmetro que mede a vazão, permitindo que a mesma seja mantida constante durante a realização do ensaio (Stephan, 2010).



Figura 2. Detalhe da realização do ensaio de Inderbitzen e da coleta e peneiramento do material erodido.

O cálculo da vazão utilizada no ensaio de Inderbitzen foi realizado por meio da fórmula da equação da continuidade (1).

$$Q = V.S \quad (1)$$

Em que:

$$Q = \text{vazão (cm}^3 \text{ s}^{-1}\text{)}$$

$$V = \text{velocidade do fluxo (cm s}^{-1}\text{)}$$

$$S = \text{área da seção da rampa (cm}^2\text{)}$$

Em que:

$$V = i. A. c$$

c= Coeficiente de runoff  
A = área de captação  
i = intensidade média de chuva da região, dada pela Eq. 2 (as constantes foram obtidas pelo programa Pluvio 2.1):

$$i = \frac{B T_r^d}{(t+c)^b} \quad (2)$$

Em que:

$T_r$  = período de retorno

$t$  = duração

$B, b, c, d$  = constantes

$i$  =  $\text{mm h}^{-1}$

Para a definição do tempo e da intensidade do escoamento superficial foi considerada a intensidade média de chuva de 25 anos com o tempo de duração de precipitação de 30 min. A vazão encontrada foi de  $0,003 \text{ L min}^{-1}$ . Devido à impossibilidade prática de usá-la, visto que o fluxo não se espalharia uniformemente pela rampa, adotou-se a vazão de  $1,0 \text{ L min}^{-1}$  ( $16,7 \text{ ml s}^{-1}$ ), em vista deste aumento no fluxo, a rampa foi ajustada a  $10^\circ$  de inclinação.

Foram realizadas duas repetições do ensaio de Inderbitzen para cada horizonte, pois durante o procedimento houve perda de material. Entretanto, os resultados foram satisfatórios para caracterizar a erodibilidade. Em cada ensaio moldou-se o corpo de prova, e, em seguida este foi fixado no amostrador e na rampa, procedendo à determinação da vazão. Para a determinação da vazão utilizou-se um plástico para a proteção da amostra, ao se estabilizar a vazão no valor desejado iniciou-se o ensaio. O material carregado foi colocado em recipientes para sedimentação.

O material erodido foi transferido para cápsulas e levados para secar em estufa a  $100^\circ\text{C}$  por 24h. Após a secagem foram destorroados e transferidos para um conjunto de peneiras, sendo pesado o material retido em cada peneira.

Para a determinação dos parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb, coesão ( $c$ ) e ângulo de atrito ( $\phi$ ), foram realizados ensaios de cisalhamento direto cujos corpos de provas foram extraídos dos blocos de solo indeformados com o auxílio de um amostrador quadrado biselado com medida interna de 5 cm de lado e altura igual a 1,90 cm. Para cada horizonte foram ensaiados 03 (três) corpos de prova com diferentes tensões normais: 0,5, 1 e  $2 \text{ kgf cm}^{-2}$ , representativas das condições de campo. As velocidades adotadas foram de  $0,100 \text{ mm min}^{-1}$  até o deslocamento máximo horizontal de 12 mm, previamente determinado com base no tempo estimado para ruptura de 2 (duas) horas.

Após moldados, os amostradores são colocados em uma prensa de cisalhamento, que consiste em uma caixa de cisalhamento à qual é acoplado um extensômetro para a medição da deformação do corpo de prova (CP) durante o ensaio. O aparelho é digital e os

resultados são obtidos por meio das leituras de deformação do corpo de prova até que as mesmas se estabilizem.

Pelos resultados de ensaios de Inderbitzen realizados por Bastos (1999), observou-se que solos potencialmente erodíveis apresentaram elevadas variações de coesão com a inundação. Deste modo, este autor propôs a caracterização de solos com alta erodibilidade como sendo aqueles que apresentassem um fator de variação de coesão  $\Delta_c$  dado pela Equação 3:

$$\Delta_c = \frac{(C_{Nat} - C_{inu})}{C_{Nat}} \quad (3)$$

Em que:

$\Delta_c$  = variação da coesão

$C_{Nat}$  = coesão na condição natural ( $\text{Kgf cm}^{-2}$ )

$C_{inu}$  = coesão na condição inundada ( $\text{Kgf cm}^{-2}$ )

Foram coletadas amostras dos horizontes B, C e Cr para a caracterização mineralógica por difratometria de raios-X. A fração argila obtida foi seca em estufa e preparada em lâmina de vidro sob a forma de películas orientadas, através da técnica do “esfregaço”. Para a fração areia foram utilizadas lâminas escavadas. Os difratogramas de raios-x foram interpretados de acordo com Chen (1977), Brindley e Brown (1980) e Resende et al. (2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico (Figura 3). O horizonte B incipiente apresentou características morfológicas similares as do horizonte B latossólico, diferindo por apresentar espessura menor que 50 cm (EMBRAPA, 2013).

O horizonte diagnóstico identificado como B incipiente apresentou estrutura fraca, em blocos, textura argilosa, argila de atividade baixa ( $4,27 \text{ cmolc kg}^{-1}$ ),  $V < 50 \%$  e a partir da determinação do pH em água e em solução salina (KCl), obteve-se  $\Delta\text{pH}$  positivo, o que evidencia o seu avançado estágio de intemperismo (EMBRAPA, 2013).

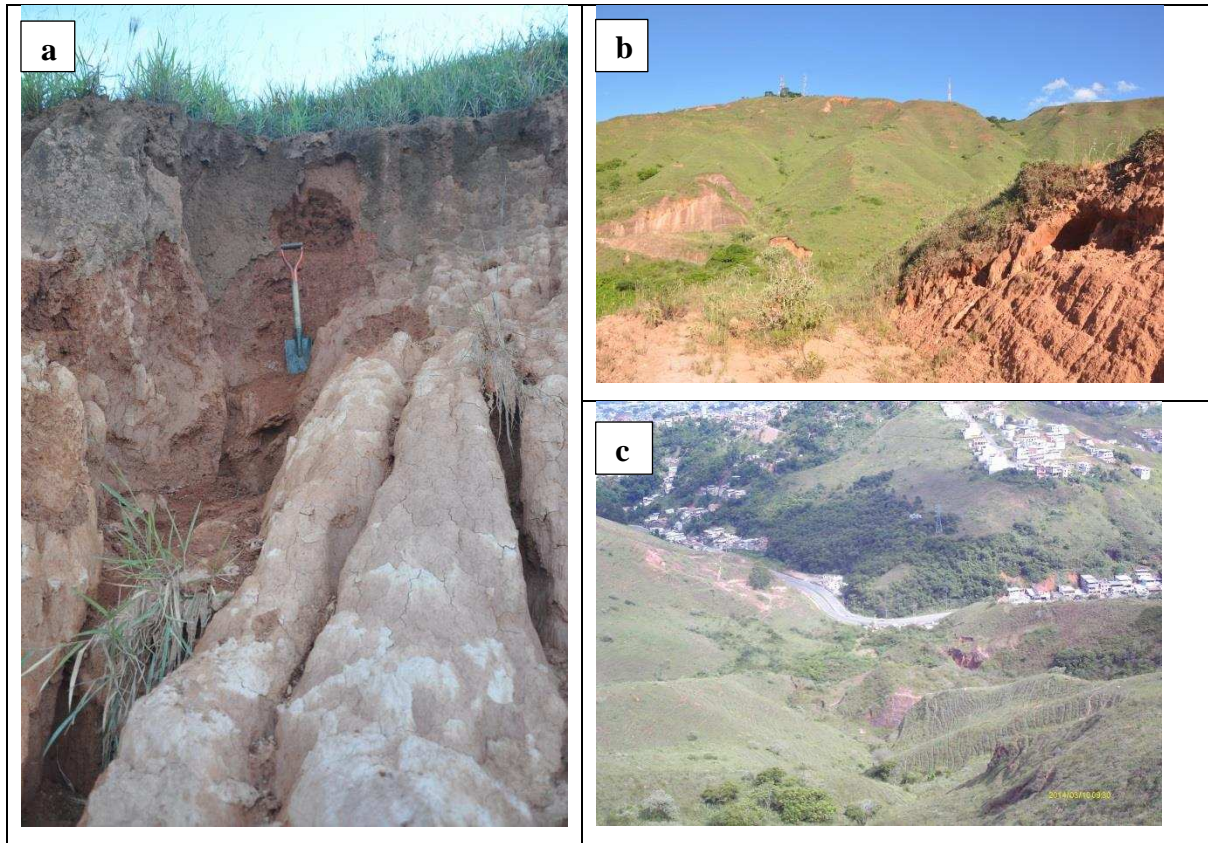


Figura 3. a) Perfil do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico; b) Vista do relevo no ponto de coleta do perfil; c) Vista do relevo do ponto de coleta das amostras para ensaio geotécnico.

A declividade do local caracteriza-se como de maior perda de material (Santos et al., 2010). As características físicas, químicas e mineralógicas são apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Caracterização física dos horizontes do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico

Horizonte	Prof cm	Areia		Silte	Argila	Classe textural	ADA %	Equivalente de umidade kg kg <sup>-1</sup>	Dp g cm <sup>-3</sup>
		Grossa	Fina						
A	0 - 20	310	160	70	460	Argilo- Arenosa	11	0,231	2,67
B	20 - 40	210	140	100	550	Argila	2	0,284	2,62

ADA = Argila dispersa em água; Dp = Densidade de partículas.

Tabela 2. Caracterização química dos horizontes do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico

Horizonte	pH	P	C	Ca <sup>+2</sup>	Mg	K	Na	Al <sup>+3</sup>	H + Al	SB	t	T	V	
	H <sub>2</sub> O	KCl	mg dm <sup>-3</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>				-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----			%	
A	4,91	4,07	15,0	2,0	0,15	0,04	15	-	1,40	7,4	0,23	1,63	7,63	3,0
B	4,35	5,60	2,0	0,0	0,03	0,02	1	-	0,02	2,3	0,05	0,05	2,35	2,1

Tabela 3. Caracterização mineralógica dos horizontes B, C e Cr do Cambissolos Háplico Tb distrófico latossólico

Horizonte	Profundidade	Fração		
		Areia	Silte	Argila
	---cm---			
B	40	Quartzo	Caulinita, feldspato	Caulinita, Goethita, Gibbsita e Hematita
C	100	Quartzo	Caulinita	Caulinita, Goethita e Hematita
Cr	200	Quartzo	Caulinita	Caulinita

A mineralogia apresentou em sua composição essencialmente quartzo, caulinita e óxidos de ferro (hematita e goethita), o que evidenciou o seu alto grau de evolução pedogenética (intemperismo).

### 3.1 Caracterização física

O horizonte B foi classificado como argila de alta compressibilidade e o horizonte C como silte de baixa compressibilidade de acordo com o SUCS (Tabela 4). As curvas de classificação granulométrica estão apresentadas no Anexo 1.

Tabela 4. Limites de consistência, granulometria e classificação dos horizontes do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico

Amostra	Limite de consistência			Granulometria			Classificação
	LL	LP	IP	Areia	Silte	Argila	
Horizonte	-----%-----			-----g kg <sup>-1</sup> -----			
B	58	35	23	290	400	670	CH
C	49	38	11	380	440	180	ML

LL = Limite de liquidez; LP= Limite de plasticidade; IP= Índice de plasticidade; CH = Argila de alta compressibilidade; ML = Silte de baixa compressibilidade.

A amostra de solo do horizonte B foi classificada como Argila de alta compressibilidade (CH), pois o limite de liquidez apresentou valor maior que 50%, e a amostra do horizonte C foi classificada como silte de baixa compressibilidade,  $LL < 50\%$ .

A composição granulométrica do horizonte C (38% areia 44% silte e 18% argila) aproximou do resultado encontrado por Stephan (2010) ao realizar este ensaio em um talude no bairro Bom Jardim (46% de areia, 34% de silte e 20% de argila), em Juiz de Fora, sendo este inserido na bacia do Yung, ou seja, na mesma região. O solo foi considerado como altamente erodível, pois apresentou baixo teor de argila e elevados teores de silte e areia (Fragassi, 2001).

Um dos critérios adotados por Stephan (2010) foi a correlação com os limites de Atteberg, propôs-se então que o  $LL < 50\%$  e IP próximo a 20%, caracterizavam solos com potencial de erosão. Os resultados do horizonte C também atendem a este critério.

O critério proposto por Bastos (1999) para a correlação com a granulometria e erodibilidade propõe que menos de 55% das partículas passem na peneira #200, sendo assim, nenhum dos dois horizontes seriam considerados como erodíveis.

### 3.2 Caracterização geotécnica

Os resultados de resistência ao cisalhamento direto foram obtidos nas condições natural e inundada (Tabela 5). As curvas tensão versus deformação e variação volumétrica, bem com as envoltórias de resistência são apresentadas no anexo 1.

Tabela 5. Variáveis de resistência dos horizontes do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico

Horizonte	Condição natural			Condição inundada	
	W ---%---	C ---Kgf cm <sup>-2</sup> ---	$\phi$ ---°---	C ---Kgf cm <sup>-2</sup> ---	$\phi$ ---°---
B	33,5	0,2	29	0,04	33
C	21,0	0,3	29	0,01	29

W = teor de umidade; C = coesão;  $\phi$  = ângulo de atrito.

Obteve-se o fator de variação da coesão ( $\Delta c$ ) para os horizontes B e C, respectivamente, iguais a 81% e 97%. Como de acordo com o critério proposto por Bastos (1999), solos com elevada erodibilidade apresentam  $\Delta c \geq 85\%$ , conclui-se que este é o caso do horizonte C.

O material carregado pelo fluxo superficial foi plotado através da abertura da peneira em relação ao peso de solo seco por unidade de área de acordo com Santos et al. (2002), o resultado foi obtido pela divisão do peso de solo retido em cada peneira pela área do amostrador em duas repetições para cada horizonte pedológico. Para fins de melhor entendimento e apresentação os dados foram convertidos de  $\text{g cm}^{-2}$  para  $\text{kg ha}^{-1}$  (Figura 4). As peneiras utilizadas foram de 2 mm (#10); 1,18 mm (#16); 0,425 mm (#40); 0,25 mm (#60); 0,15 mm (#100) e 0,075 mm (#200).

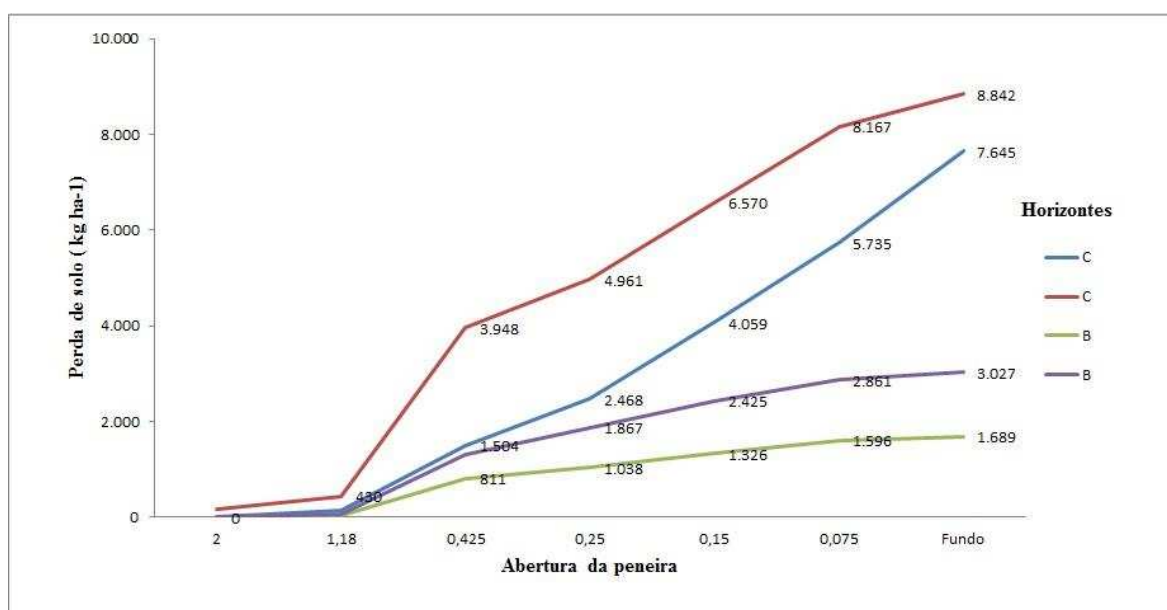


Figura 4. Resultado da perda de solo seco acumulado por área, em duas repetições para cada horizonte pedológico por abertura da peneira.

A perda de solo evidenciou pequena variabilidade nos resultados encontrados nos mesmos tipos de solo. Isto se deve às pequenas variações naturais observados nos perfis em campo, e até mesmo em perdas associadas ao ensaio. Entretanto, os resultados foram satisfatórios, pois evidenciaram a correlação da composição textural do horizonte do solo com a erodibilidade.

O horizonte C apresentou maior perda de solo acumulado, em vista do menor teor de argila e ausência de estrutura, que condicionam grãos mais soltos, portanto mais erodíveis. Também apresentou maior distribuição de tamanho de partículas erodidas, sendo que aproximadamente 75% e 90% do material erodido em cada amostra ficaram retidos na peneira de 0,075 mm.

Apesar da granulometria fina do horizonte B foi observada maior retenção de material nas peneiras 0,425 mm e 0,15 mm. Entretanto, este resultado deve-se à estrutura

do solo, pois quando a amostra foi submetida a um fluxo constante de água, esta manteve os agregados coesos, impedindo maior perda de solo.

Os dados de perda de solo por área, evidenciam que apesar da pequena diferença entre as repetições, os valores encontrados para o horizonte C foram maiores quando comparados com o horizonte B. Fato que também pode ser explicado pela composição mineralógica, o horizonte C apresentou maior teor de areia, esta fração é composta basicamente por quartzo, já o horizonte B, devido ao maior teor de argila, apresenta óxidos de ferro e caulinita, que proporcionam a presença de estrutura no agregado.

O solo foi pouco erodido quando comparado com os resultados encontrados por Stephan (2010) na mesma região, utilizando o mesmo amostrador circular. Este fato está ligado à granulometria, os resultados encontrados pela autora apontam uma composição maior dos grãos de areia, 46%, enquanto que a amostra do horizonte C é composta por 38%. Fragassi (2001) conclui que um solo que erode  $0,02 \text{ g cm}^{-2}$  é considerado resistente à erosão, assim como o resultado encontrado para o horizonte B.

#### 4. CONCLUSÕES

1. Na sub-bacia do Córrego do Yung as áreas com maior potencial de erosão são as que expõem o horizonte C. Entretanto, em vista do relevo movimentado, no horizonte B ocorrem constantes processos de erosão por solapamento apesar de apresentar maior resistência;
2. Os resultados da caracterização geotécnica dos horizontes pedológicos evidenciaram maior resistência à erodibilidade do horizonte B em relação ao horizonte C;
3. O cisalhamento direto mostrou que a resistência quanto ao solo natural é praticamente a mesma, entretanto ao ser saturado, o horizonte C apresenta menor resistência, o que também é evidenciado pelo do índice de coesão proposto por Bastos (1999);
4. Considerando a vazão de  $1 \text{ L min}^{-1}$  em 30 min de duração do ensaio, a perda de solo seria de  $8.842 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $3.027 \text{ kg ha}^{-1}$  para o horizonte B e C respectivamente. Considerando a área total de 35 ha da sub-bacia, a exposição do horizonte C apresentaria uma perda de solo de aproximadamente 300 toneladas. Caso o solo exposto fosse o horizonte B, seriam erodidas 105 toneladas. Ou seja, quanto maior a exposição do horizonte C, maior a quantidade de sedimentos produzidos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: ALVAREZ, V. V. H., FONTES, L. E. F. FONTES, M. P. F., eds. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 1-18.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, D3.080, 2004.
- AQUINO, R. F., SILVA, L. M. N., FREITAS, D. A. F., CURI, N. AVANZI, J. C. Soil losses from Typic Cambisols and Red Latosol as related to three erosive rainfall patterns. R. Bras. de Ci. Solo. 37: 213 - 220, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Determinação do Limite de Liquidez, NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Determinação do Limite de Plasticidade, NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9604. Norma: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro: 1986. 9p.
- ASTM (1989). Standard Test Method for Classification of Soils for Engeneering Purposes. ASTM-D 2487- 85. American Society for testing and Materials, ASTM, Philadelphia Philadelphia USA, .p288-p297.
- BARBOSA, M. C. R. LIMA, H. M. Resistência ao cisalhamento de solos e taludes vegetados com capim vetiver. R. Bras. Ci. Solo, 37: 113 - 120, 2012.
- BASTOS, C. A. B. Estudos geotécnicos sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 251p. (Tese de Doutorado).
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B.; CUNHA FILHO, M.; SOUZA, W. L. S. Características hidráulicas da erosão em sulcos em Cambissolo do semiárido do Brasil. R. Bras. de Ci. Solo. 34: 1325 - 1332, 2010.
- BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. London: Mineralogical Society, 1980. 495p.

- CHEN, P-Y. Table of key lines in x-ray powder diffraction patterns of mineral in clays and associated rocks. Indiana: Bloomington, 1977. 65p. (Dep. of Natural Resources Geological Survey Occasional Paper 21).
- CODEMIG, Mapeamento geológico – Projeto Sul de Minas, Minas gerais, 2013. Disponível em : < <http://www.codemig.com.br/>> Acesso em Janeiro 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Ver. ampl. Brasília, DF. 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FRAGASSI, P. F. M. Estudo da erodibilidade dos solos residuais de gnaise da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG). 2001, 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- FU, ZHIYONG.; LI, ZHAOXIA.; CAI, CHONGFA.; SHI, QINXUE.; WANG, XIAOYAN. Soil thickness effect on hydrological and erosion characteristics under sloping lands: A hydrogeological perspective. Geoderma. 167 – 168, p. 41 – 53. 2011.
- GRIEBELER, N. P. PRUSKI, F. F. MEHL, H. U. SILVA, D. D. OLIVEIRA, L. F. C. Equipamento da erodibilidade cisalhamento do solo para determinação e tensão crítica de canais de estradas. R. Bras. Eng. Agric. Ambiental. v.9, n.2, p.166-170, 2005.
- INDERBITZEN, A. L. An erosion tests for soils. Material Research & Standards. I (7): 553-554. 1961.
- JUIZ DE FORA. Prefeitura Municipal. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora. Juiz de Fora: FUNALFA Edições, 2004, 394p.
- PEDRON, F. A.; DALMOLI, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; KAMINSK, J. Solos Urbanos. Ciência Rural. Santa Maria. v. 34, n. 5, p. 1647- 1653, 2004.
- PETSCHKO, H. BRENING, A. BELL, R. GOETZ, J. GLADE, T. Assessing the quality of landslide susceptibility maps – case study Lower Austria. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vº 14, p. 95 – 118, 2014.
- RESENDE, M. LANI, J. J. REZENDE, S. B. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. Rev. Árvore. Vol. 26. n.3, Viçosa, 2002.

- RESENDE, M.; CURI, N; KER, J. C.; REZENDE, S. B. Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações. 2 ed. Ver. e ampl. Lavras: UFLA, 2011. 201p.
- REZENDE, S.B. & RESENDE, M. Solos dos Mares de Morros: Ocupação e uso. In: ALVAREZ V. V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.261-289. 1996.
- SADEGHI, S. H.; MOOSAVI, V.; KARAMI, A.; BEHNIA, N. Soil erosion assessment and prioritization of affecting factors at plot scale using the Taguchi method. *Journal of Hydrology*. 448–449 (2012) 174–180.
- SANTOS, A. C.; PEREIRA, M. G.; CUNHA, L. H. dos ANJOS.; BERNINI, T. A.; COOPER, M.; NUMMER, A. R.; FRANCELINO, M. R. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de Mar de Morros do médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. *R. Bras. Ci. do Solo*. 34: 1297-1314, 2010.
- SANTOS, C.A.; SOBREIRA, F.G.; NETO, A. L. C. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto - MG. *R. Esc. Minas. Ouro Preto*. n.55, p.285 – 290, 2002.
- STEPHAN, A. M. Estudo geotécnico de processos erosivos em três encostas em Juiz de Fora/MG. 2010. 148p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.
- VESTENA, L. R. KOBİYAMA, M. Identificação e mapeamento dos processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Caeté, no município de Alfredo Wagner/SC. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.15, n.1, (Jan-mar) p.23-33, 2014.

## ANEXO 1

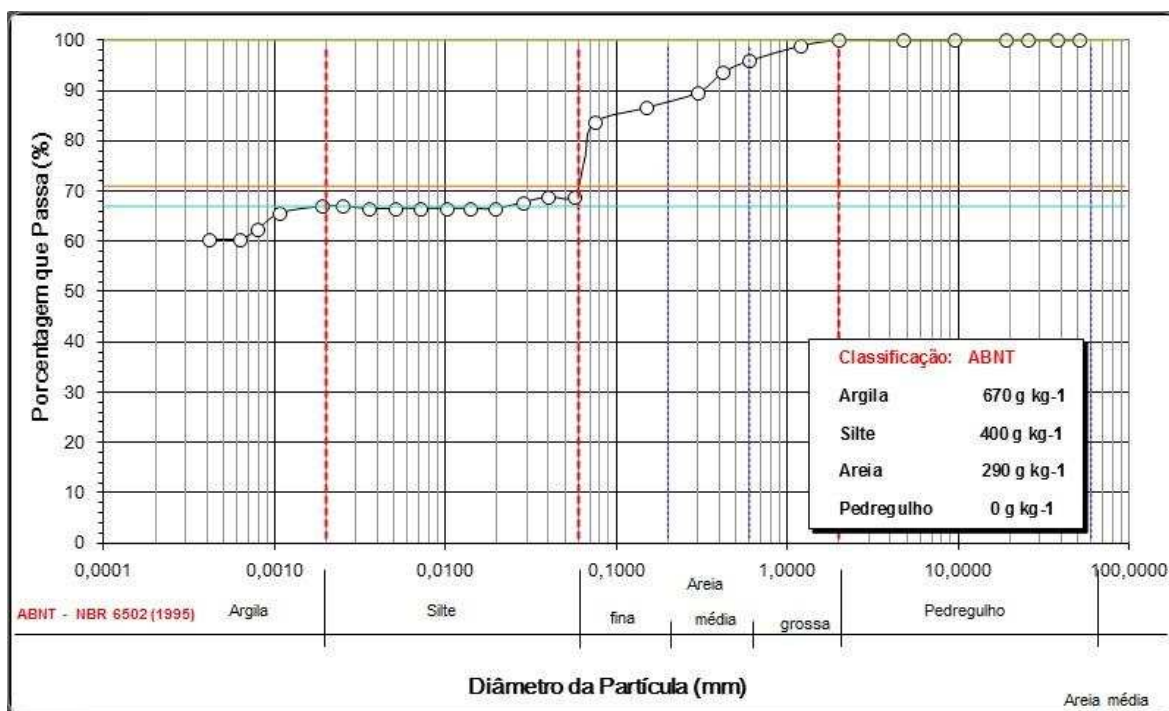


Figura 1. Granulometria do horizonte B do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

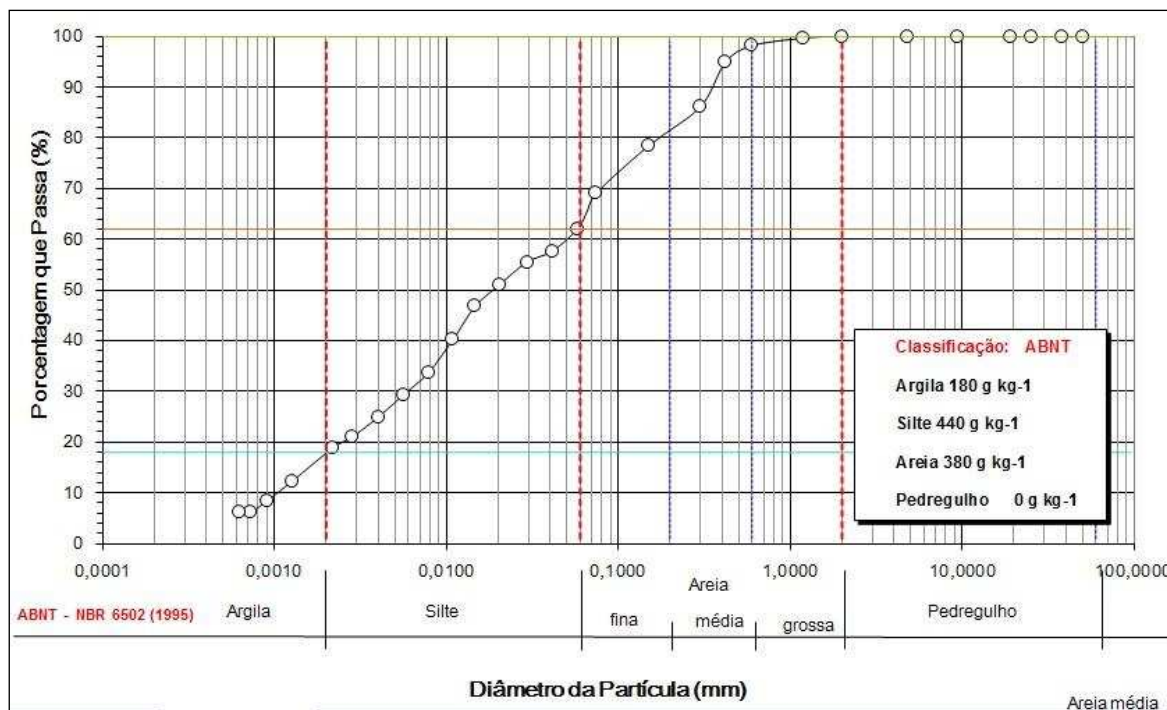


Figura 2. Granulometria do horizonte C do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

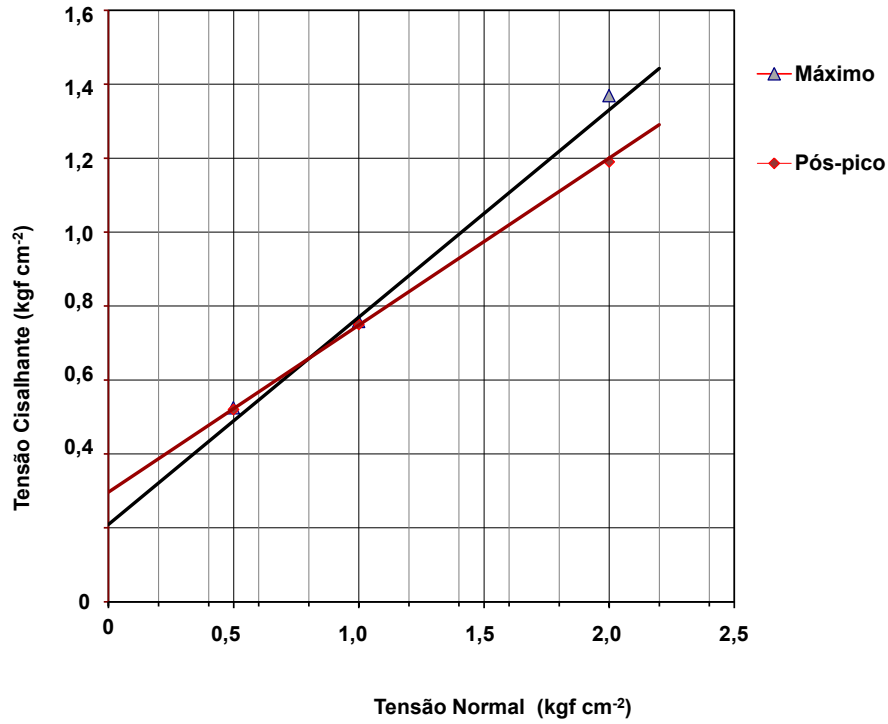


Figura 3. Tensão Normal ( $\sigma$ ) versus Tensão Cisalhante ( $\tau$ ) na amostra natural do horizonte B do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

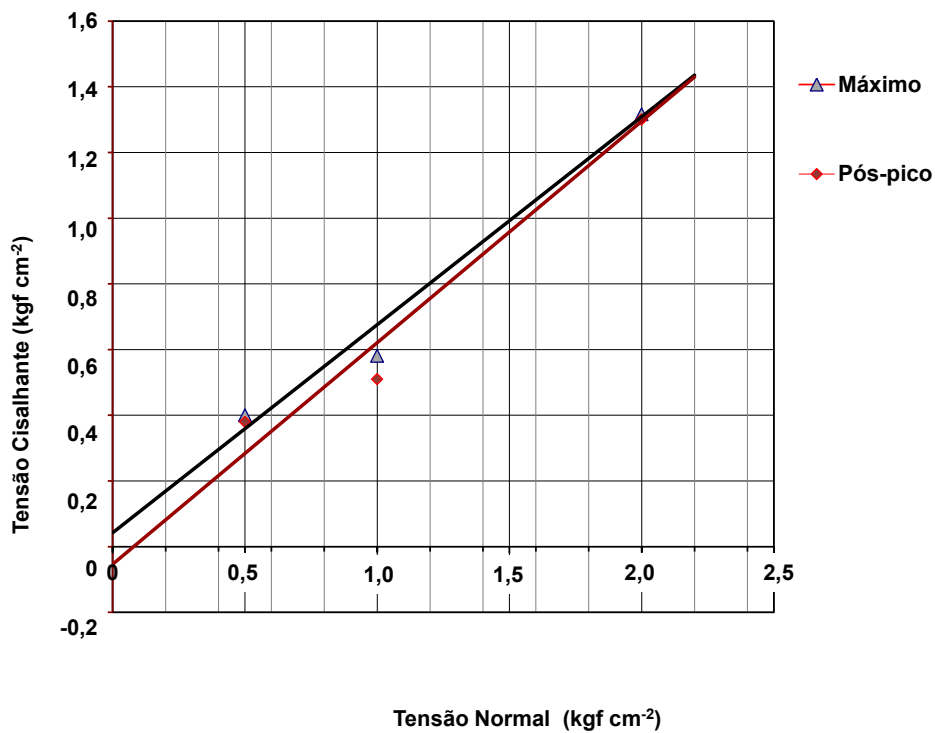


Figura 4. Tensão Normal ( $\sigma$ ) versus Tensão Cisalhante ( $\tau$ ) na amostra inundada do horizonte B do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

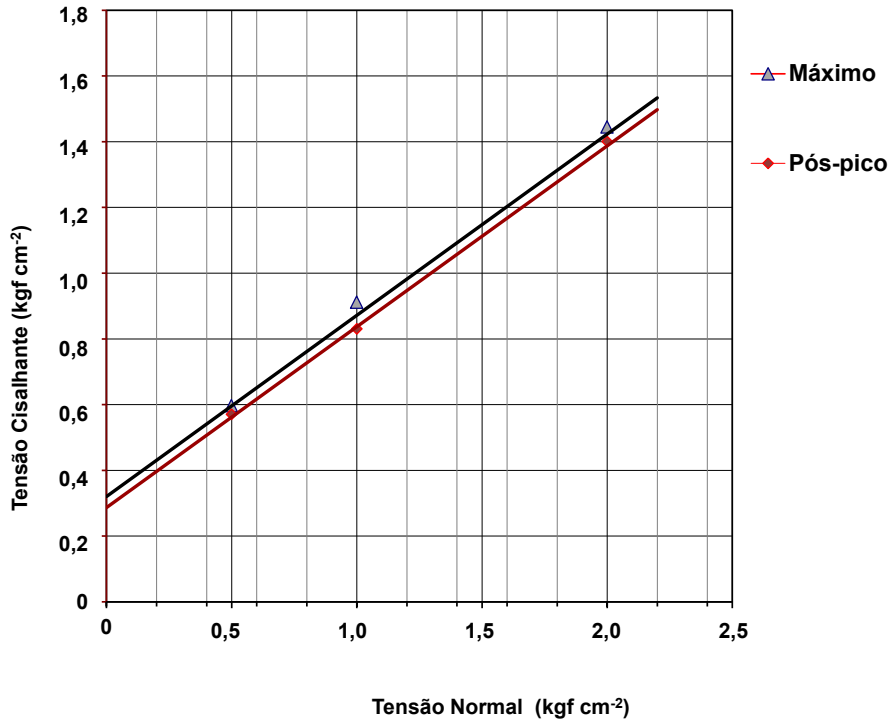


Figura 5. Tensão Normal ( $\sigma$ ) versus Tensão Cisalhante ( $\tau$ ) na amostra natural do horizonte C do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

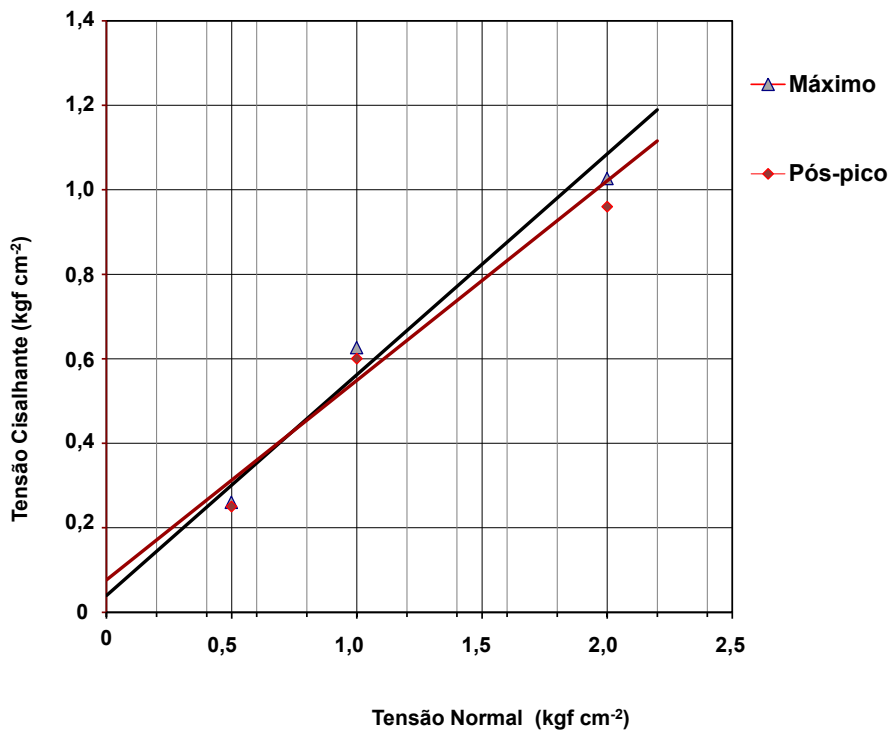


Figura 6. Tensão Normal ( $\sigma$ ) versus Tensão Cisalhante ( $\tau$ ) na amostra inundada do horizonte C do Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico.

## CAPÍTULO 2

### VARIABILIDADE DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREAS SUSCETÍVEIS AO DESLIZAMENTO DE TERRA

#### RESUMO

FONSECA, Leticia d'Agosto Miguel. **Variabilidade dos atributos físicos do solo em áreas suscetíveis ao deslizamento de terra**. Viçosa: UFV, 2014. Cap. 2, 24p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

O objetivo desse estudo foi avaliar a relação entre os atributos físicos do solo e do relevo, com as áreas suscetíveis ao deslizamento de terra na sub-bacia do Córrego do Yung, localizada no bairro Três Moinhos em Juiz de Fora, na mesorregião da Zona da Mata Mineira. A locação dos pontos de amostragem de solo foi realizada primeiramente em ambiente digital no software ArcGis 10.1 em malha hexagonal, perfazendo 43 pontos em toda a área objeto de estudo. Pelo software TrackMaker os pontos foram inseridos com suas respectivas coordenadas no GPS, fundamental para a localização dos pontos de coleta no campo. Encontrado o ponto, procedeu-se à coleta de amostras deformadas em superfície, de 0 a 0,10 m de profundidade e amostras de solos com estrutura preservada, por meio de anel volumétrico. Foi utilizado trado com extensão de três metros de comprimento, para a medição da profundidade do solum e coleta de material subsuperficial, onde observou-se dois fatores: granulometria e tipo de horizonte. Em laboratório, foram determinadas nestas amostras a condutividade hidráulica, densidade do solo e de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. As variáveis de terreno empregadas foram obtidas pelo modelo digital de elevação (MDE), tendo como base a planta topográfica plani-altimétrica, com curvas de nível com equidistância de 1 metro. Para a realização da análise geoestatística dos atributos físicos do solo utilizou-se o programa R R Core Team (2014), por meio do pacote geoR. Testaram-se as distâncias que apresentaram melhor ajuste visual, para posteriormente quantificar o ajuste do modelo teórico. Após a escolha dos modelos dos semivariogramas, realizaram-se as interpolações usando o método da Krigagem Simples (Ks) para prever e mapear os valores dos atributos físicos em toda a sub-bacia hidrográfica. Os mapas temáticos gerados foram exportados em formato ASCII no programa R e convertidos em GRID no ArcGis 10.1, para que pudessem ser realizadas operações de álgebra de mapas. Os resultados dos parâmetros do semivariograma, evidenciam que alguns atributos apresentaram elevados valores de variância, sendo eles: argila, silte e areia grossa, este valor está associado à sensibilidade da variável quanto às distâncias coletadas, indicando que esses atributos exigem uma coleta mais densa para melhores ajustes. Entretanto, todos os atributos foram ajustados em um variograma com patamar, o que indica que ocorre a correlação entre os valores. Os valores de alcance para os atributos macroporosidade, microporosidade e silte

em profundidade foram os menores valores encontrados, o que evidencia o conhecimento da baixa continuidade estrutural do solo de superfície e profundidade do horizonte B em áreas potencialmente erodíveis. Os mapas temáticos apresentaram relação entre si, a textura argilosa relacionou-se à maior condutividade hidráulica, maior porosidade total e menor densidade do solo. Também as áreas mapeadas com maior teor de silte foram localizadas nas áreas degradadas da sub-bacia. A textura em profundidade apresentou elevada correlação com o relevo. Nas áreas mais íngremes, foram mapeados maiores teores de silte, que correspondem ao topo do horizonte C, representando a pequena espessura do horizonte B nessas áreas. As características do terreno também apresentaram relação entre si. Os resultados obtidos para o plano de curvatura revelam que considerando os 35 ha de área da sub-bacia, 40% são encostas côncavas, 22% planas e 34% convexas. Verificou-se também estreita relação da curvatura com a espessura do solo, sendo que nas áreas planas e de menor declividade, a média de profundidade do solo foi maior, quando comparada com as outras formas do relevo.

## ABSTRACT

FONSECA, Leticia d'Agosto Miguel. **Variability of soil physical properties in susceptible landslide areas**. Viçosa: UFV, 2014. Ch. 2, 24p. (Dissertation –Master's degree in Soil and Plant Nutrition).

This study aimed to evaluate the relationship between the physical attributes of soil and relief to the landslides susceptible areas in the Yung stream sub-basin, located in Três Moinhos neighborhood in Juiz de Fora, in the middle region of Zona da Mata Mineira. The location of soil sampling points was first performed in ArcGIS 10.1 software on a hexagonal mesh, totaling 43 points throughout the area object of study. This points were inserted with their respective coordinates in the GPS using TrackMaker software for the location of collection points in the field. When the point was found in the field, it was proceeded the collection of deformed samples on the surface, from 0 to 0.10 m depth and soil samples with preserved structure using volumetric ring. An auger with extension of three meters long was used to measure the depth of the solum (Horizon A + B) and collecting subsurface material observing in depth the particle size and transition horizon. In the laboratory, it was determined in these samples hydraulic conductivity, bulk density and particle, total porosity, macroporosity and microporosity. Topographic indices were obtained by the digital elevation model (DEM), based on the topographic plan, contour interval of 1 meter. Geostatistical analysis of physical attributes of soil was performed using the R program Core Team (2014) through geoR package. It was tested the distances that had the best visual fit to further quantify the fit of the theoretical model. After choosing the models of semivariogram, there were interpolations using the Simple Kriging method (Ks) to predict and map the values of physical attributes throughout the sub-basin. Thematic maps were exported from ASCII format in R program and converted into GRID in ArcGIS 10.1 to perform map algebra operations. The results of semivariogram parameters showed that some attributes presented high values of variance such as: clay, silt and sand. This value is associated with the variable sensitivity for the collected distances, indicating that these attributes require a denser collection for best settings. However, all attributes were set on a variogram with sill indicating that there is correlation between the values. The attributes as macroporosity, microporosity and silt in depth showed the lowest values of range, which demonstrated the knowledge of low structural continuity of the soil surface and depth of the B horizon in potentially erodible areas. Thematic maps showed relation to each other where the clayey soil related to the higher hydraulic conductivity, higher porosity and lower bulk density soil. Also the mapped areas with higher silt content were located in degraded areas of the sub-basin. The depth texture showed high correlation with the relief on the steeper areas there were mapped larger content of silt, which correspond the top C horizon, representing the small thickness of B horizon in these areas. The terrain features also related to each other and the results showed that considering the 35 ha area of the sub-basin 40% are concave slopes, 22% flat and 34% convex. It was

verified that the soil thickness was higher compared with other forms of relief on flat curvature and lower slope angles areas.

## 1. INTRODUÇÃO

Deslizamentos de terra sempre foram motivos de grande preocupação, especialmente no meio urbano, no período das chuvas, os quais ao longo dos últimos anos, tem ocorrido em diversas regiões brasileiras como os recentes casos na região de Petrópolis (RJ), Santa Catarina (SC) e Além Paraíba (MG).

Para a obtenção das condições de suscetibilidade ao deslizamento de terra, é necessário compreender os processos hidrológicos associados ao solo e ao relevo, fundamentais em estudos ambientais e na gestão de áreas de riscos. Neste contexto, a bacia hidrográfica instituída por lei como unidade de planejamento (Lei Federal nº 9.433/1997), tem se revelado importante unidade espacial utilizada para gerenciar as atividades de uso e conservação do solo (Calil et al., 2012).

Sendo assim, as informações sobre as propriedades do solo são importantes, bem como as formas do relevo, pois tem efeito sobre a capacidade de infiltração e armazenagem de água no solo e isso influencia a possibilidade de ocorrência dos deslizamentos de terra (Petschko et al., 2014). Esses fatores combinados na dinâmica espacial podem interferir na energia cinética das chuvas (Aquino et. al., 2012).

Experimentos realizados relacionando erosão e textura do solo mostraram que solos com elevada quantidade de silte apresentam maior susceptibilidade à erosão em comparação a solos argilosos e arenosos, sobre as mesmas condições, devido ao maior escoamento superficial. Também, concluiu-se que a declividade e a presença de cobertura vegetal influenciaram a intensidade de erosão (Sadeghi et al., 2012).

Os Cambissolos apresentam grau de erodibilidade diferente em razão da declividade do terreno, teor de silte e espessura do horizonte B (Vestena & Kobayana, 2014). No domínio dos “Mares de Morros” o horizonte C tende a ser muito profundo e há uma desproporção do tamanho do solum e solo, caracterizando o rejuvenescimento do processo pedogeomorfológico deste domínio (Rezende & Resende, 1996). Segundo estes autores nas porções mais íngremes, geralmente com o horizonte C exposto, tem maior dificuldade de recomposição da cobertura vegetal, devido à deficiência de nutrientes e de água estacional, aumentando os processos erosivos.

Gomide et al., (2011) ao avaliarem os atributos físicos, químicos e biológicos em três voçorocas em comparação com áreas nativas, observaram que dentre os atributos físicos, aqueles que mais alteraram foram a porosidade total, macroporosidade,

microporosidade e densidade do solo, bem como o acentuado decréscimo de fertilidade provocados pela erosão hídrica.

Relações entre os atributos dos solos como textura, porosidade e densidade do solo com a condutividade hidráulica ( $K_0$ ) e a curva característica de água (SWRC), em áreas que passaram por processos de deslizamentos de terra, evidenciaram que estas foram satisfatórias para o entendimento da interação da estrutura dos solos e comportamento hidráulico (Bogner et al., 2014). Um exemplo disso é a condutividade hidráulica do solo saturado que depende da percolação da água em razão da macroporosidade, que por sua vez, relaciona-se com a textura, arranjo das partículas (estrutura) e densidade do solo. A livre passagem de água é determinante na redução do escoamento superficial (Gomes et al., 2011).

Os atributos físicos do solo apresentam continuidade espacial (Kamimura et al., 2013), ou seja, o uso de modelos espaciais consiste em ferramenta ideal para a análise desses dados, que podem ser modelados espacialmente por Geoestatística (Silva et al., 2008). Destaca-se a erosão hídrica dos solos, a qual é caracterizada e modelada por atributos com comportamento contínuo no espaço, incluindo dados pedológicos, cobertura vegetal, erosividade da chuva, topografia entre outros. A erosão dos solos poderá ser mapeada por modelos espaciais desde que estudos sobre a dependência espacial dos dados e a modelagem do semivariograma experimental sejam adequados (Silva et al, 2008).

Diversos trabalhos de mapeamento e avaliação de áreas suscetíveis a deslizamentos em áreas urbanas e rurais vêm sendo realizados com base em dados de sensoriamento remoto e fotogrametria. A declividade, relevo, geologia, profundidade e resistência do solo, uso e cobertura, pluviometria e pontos mapeados de ocorrência de deslizamentos compõem os principais fatores utilizados em SIG para estes estudos (Klimes & Escobar, 2010; Costanzo et al., 2012; Di Martire et al., 2012; Zizioli et al., 2013 ).

Assim, o estudo do solo em meio a esses processos de deslizamento de terra e erosão torna-se fundamental, destacando-se como um campo de interesse de profissionais de diversas áreas do conhecimento. Nos últimos anos, a cidade de Juiz de Fora, tem apresentado expansão urbana significativa. A defesa civil registra todos os anos ocorrências de deslizamentos de terra em diversas regiões da cidade, principalmente em épocas de chuvas. Dentre estas regiões com maior número de ocorrências encontra-se o bairro Três Moinhos.

Considerando o exposto anteriormente objetivou-se com o presente trabalho definir indicadores em uma área passível de ocorrência de deslizamento de terra na área urbana de Juiz de Fora (bairro Três Moinhos), de modo a auxiliar no gerenciamento dessa área de risco por parte das autoridades competentes.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

O estudo foi realizado na sub-bacia do córrego do Yung, localizada no bairro Três Moinhos em Juiz de Fora, na mesorregião da Zona da Mata Mineira.

A presença de vales profundos associados a encostas com elevada declividade, conhecidos como “Mares de Morros” (Ab’Saber, 1996), sujeitos a maiores precipitações pluviométricas, características do clima tropical de altitude, constituem os principais fatores que imprimem à região uma dinâmica superficial bastante intensa, com acomodações de solos, enchentes e áreas de deslizamento de terra (PJF, 2004). A litologia é biotita gnaisse bandado com intercalações de quartzito impuro, gnaisse quartzoso, rocha anfibolítica e, subordinadamente, granada gnaisse e rocha calcissilicática (CODEMIG, 2013).

O bairro Três Moinhos localiza-se na Região de Planejamento (RP) do Linhares, na bacia hidrográfica do córrego do Yung, região Leste da cidade. Caracteriza-se por apresentar moradias sem infraestrutura básica e distribuídas de maneira irregular. O relevo é montanhoso e há muitos pontos vulneráveis a deslizamentos de massa.

A ocupação da região Leste se deu de maneira desordenada por volta do final do século XIX, sendo que a parte inferior foi estruturada e consolidada antes. Já na parte superior, de ocupação mais recente, a abertura de caminhos, de acessos e escavações para as construções, foi executada com equipamentos manuais e realizada pelos próprios moradores, contribuindo para a descaracterização da região (PJF, 2004).

Conforme informações da Secretaria de Atividades Urbanas - SAU uma das áreas do Alto Três Moinhos trata-se de um loteamento não aprovado pela Prefeitura, que foi implantado no local pelo loteador com a venda de terrenos e posterior registro em cartório. As outras áreas são invasões que foram ocorrendo ao longo do tempo.

A área total da sub-bacia é de 35 há, em relevo montanhoso, com ravinas de deslizamentos e presença de voçorocas. O solo predominante na área é o Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico (EMBRAPA, 2013).

## 2.2 Coleta de solos e preparo das amostras

A locação dos pontos de amostragem foi realizada primeiramente em ambiente digital no software ArcGis 10.1 em malha hexagonal, dividida em pontos distantes de 100 m em linha horizontal, perfazendo 43 pontos em toda a área objeto de estudo (Figura 1). A malha hexagonal foi utilizada por ser mais representativa conforme o estudo realizado por Yfantis et al., (1987) que comprova que esta amostragem apresentou melhor desempenho quanto ao máximo erro quadrático médio, comparando com as malhas triangulares e quadradas.

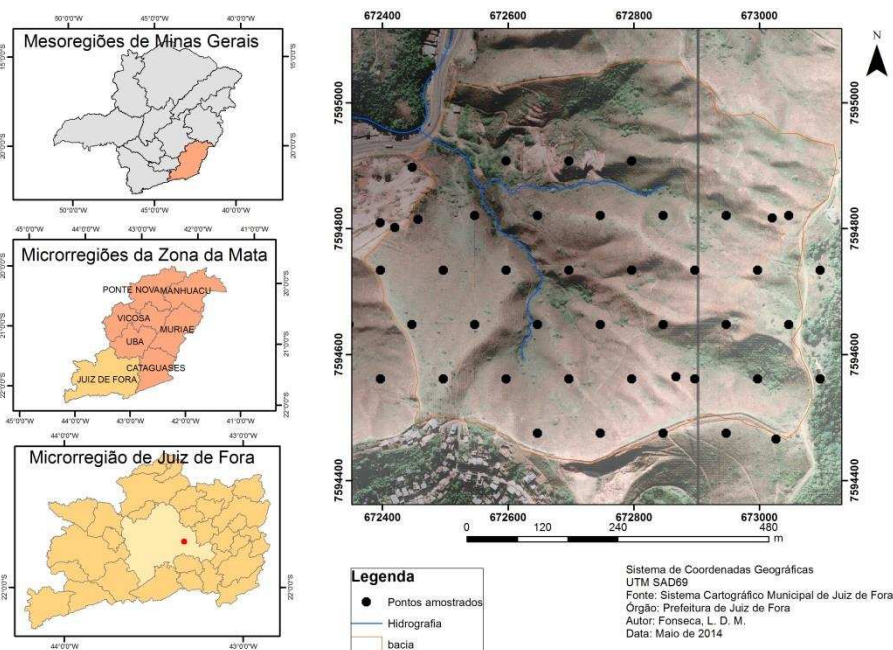


Figura 1. Distribuição dos pontos amostrados na sub-bacia do Cérrego do Yung, no bairro Três Moinhos, Juiz de Fora, MG.

Pelo software TrackMaker os pontos foram inseridos com suas respectivas coordenadas no GPS de navegação modelo Garmin map 62 Trilha. A função de busca de pontos do GPS (função go to) foi fundamental para a localização dos pontos de coleta no campo. Encontrado o ponto, procedeu-se à coleta de amostras deformadas em superfície, de 0 a 0,10 m de profundidade e amostras de solos com estrutura preservada, por meio de anel volumétrico com 0,045 m de altura e 0,0405 m de diâmetro.

Foi utilizado trado com extensão de três metros de comprimento, para a medição da profundidade do solum e coleta de material subsuperficial. Em profundidade foram observados dois fatores: granulometria e tipo de horizonte.

O material de solo coletado foi acondicionado em sacos plásticos, posteriormente destorroado, seco ao ar e passado em peneira de 2 mm (TFSA). Os solos coletados pelos anéis (trado) foram revestidos por plástico filme, com a finalidade de preservar a sua estrutura para o transporte e caracterização física em laboratório. Foram determinadas nestas amostras a condutividade hidráulica, densidade do solo e de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade.

### **2.3 Análises de laboratório**

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta. Utilizou-se solução de NaOH 0,1 mol l<sup>-1</sup> como dispersante químico e agitação mecânica (EMBRAPA, 1997; Ruiz, 2006).

A densidade do solo (Ds) foi determinada pela relação entre a massa de solo seco e o volume interno do anel. A densidade de partículas (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico. A porosidade total (PT) foi definida a partir da relação entre a densidade do solo e densidade de partículas, pela expressão  $PT = [1 - (Ds / Dp)]$  (EMBRAPA, 1997). A macroporosidade (Macro) do solo foi alcançada pela diferença entre PT e microporosidade (Micro), sendo esta considerada o conteúdo de água retido no potencial matricial de 6 KPa (EMBRAPA, 1997).

### **2.4 Análise do terreno**

As variáveis de terreno empregadas foram obtidas pelo modelo digital de elevação (MDE), tendo como base a planta topográfica plani-altimétrica, com curvas de nível com equidistância de 1 metro, cedida pela Prefeitura de Juiz de Fora, desenvolvida a partir do levantamento aerofotogramétrico realizado em 2007. As curvas de nível foram interpoladas utilizando ferramentas do ArcGis 10.1 no módulo Spatial Analyst, com base nas curvas cotadas, hidrografia orientada e limite da sub-bacia do Córrego do Yung.

Para a verificação da relação existente entre a condutividade hidráulica e os atributos físicos do solo, e também a relação da profundidade do solum com a

granulometria em profundidade, utilizou-se a função de correlação simples na planilha eletrônica do programa Microsoft Excel 07.

## 2.5 Análise geoestatística

Para a realização da análise geoestatística utilizou-se o programa R R Core Team (2014), por meio do pacote geoR desenvolvido por Ribeiro Júnior & Diggle (2001). Para adequada análise espacial, adotou-se a hipótese intrínseca, que não requer a existência de uma média constante e variância finita para a função aleatória  $z(x)$ , mas que os incrementos da função aleatória  $[Z(x+h) - Z(x)]$  sejam estacionários de 2ª ordem. Esta hipótese define que a esperança matemática  $E [Z(x)]$  existe, e não depende do suporte “x”, e também que a correlação entre duas variáveis aleatórias depende somente da distância “h”, que as separa, e é independente da sua localização (Vieira, 2000).

Os semivariogramas experimentais para os pontos observados foram construídos a partir desta hipótese, por meio da equação (1):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos,  $Z(X_i)$ ,  $Z(X_i + h)$  representam pontos separados por um vetor “h”. O gráfico de  $\gamma(h)$  criado em função dos valores correspondentes de “h” é chamado também semivariograma, portanto, depende da magnitude e direção de “h” (Journel & Huijbrets, 1991).

O semivariograma (gráfico) construído descreve a variância em função da distância entre os pontos observados. Ajustam-se modelos teóricos aos dados (exponencial, gaussiano, esférico e etc.) e pelos seus coeficientes numéricos quantifica-se a qualidade do ajuste. Estes modelos buscam captar a estimação de alguns parâmetros, a saber: o alcance (range) que é a distância (que os dados recebem e exercem influência) segundo a qual a semivariância atinge certo nível, denominado patamar, que teoricamente deve ser igual à variância a priori dos dados, sendo esta representada por  $C_0+C$ , e o alcance por “a”. O efeito pepita  $C_0$ , que é uma descontinuidade da função na origem do referencial cartesiano é causado pela variância aleatória do fenômeno estudado; e a contribuição  $C$  é a variância espacial do fenômeno (Yamamoto & Landim, 2013).

A principal etapa realizada na Geoestatística é o ajuste do semivariograma. Testaram-se as distâncias que apresentaram melhor ajuste visual, para posteriormente

quantificar o ajuste do modelo teórico. Foram ajustados modelos do tipo exponencial, gaussiano e o esférico pelo método dos mínimos quadrados para quase todos os atributos físicos, exceto os dados de areia grossa da superfície, que foi ajustado pelo método da máxima verossimilhança.

Após a escolha dos modelos dos semivariogramas, realizaram-se as interpolações usando o método da Krigagem Simples (Ks) para prever e mapear os valores dos atributos físicos em toda a bacia hidrográfica. Em estudo realizado por Santos et al., (2011) foi demonstrado que a Ks é mais precisa que a krigagem Universal e Ordinária através da comparação da variância de krigagem média entre as realizações e os valores preditos, obtida por autovalidação.

A krigagem procura zerar o erro residual médio e também minimizar a variância dos erros e para tal, existe um procedimento de autovalidação chamado jack-knifing. Este procedimento envolve a medida dos pontos observados em campo, “escondendo a variável”, para que esta seja estimada pela krigagem como se fosse um ponto perdido, avaliando o desempenho para estimar os valores conhecidos. Os resultados observados nos erros dos resíduos geralmente são muito pequenos, garantindo confiança nos valores estimados por este interpolador (Vieira, 2000).

Os mapas gerados foram exportados em formato ASCII no programa R e convertidos em GRID no ArcGis 10.1, para que pudessem ser realizadas operações de álgebra de mapas.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Atributos do terreno na sub-bacia do Córrego do Yung**

A curvatura representa a forma da vertente, que pode ser côncava, convexa ou plano-retilínea. A forma da curvatura de uma encosta pode influenciar os processos pedológicos, hidrológicos e os solos, os quais resultam das interações entre esses processos. Sendo assim, para que sejam compreendidos os processos erosivos em uma bacia hidrográfica, os atributos do relevo devem ser considerados (Minella & Merten, 2012).

A curvatura plana (perpendicular à declividade) influencia diretamente na velocidade do escoamento e conseqüentemente na erosão do solo e no transporte de

sedimentos. As classes foram divididas em: até -0,5 (côncavas), de -0,5 a 0,8 (planas) e de (0,8 a 20) convexas, sendo estas definidas por meio de análise do aspecto do terreno.

Os resultados obtidos para o plano de curvatura revelam que considerando os 35 ha de área da bacia, 40% são encostas côncavas, 22% planas e 34% convexas. Verificou-se também estreita relação da curvatura com a espessura do solo, sendo que nas áreas planas, a média de profundidade do solo foi maior, quando comparada com as outras formas do relevo.

Os dados de profundidade do solum medidos in loco nos pontos amostrados foram interpolados utilizando a ferramenta topo to raster no módulo Spatial Analyst do ArcGis 10.1, gerando o mapa temático. A legenda do mapa de profundidade (Figura 2) indica que as áreas mapeadas com profundidade acima de 3 metros, não houve mudança de horizonte, portanto, o topo do horizonte C está abaixo de 3 metros de profundidade.

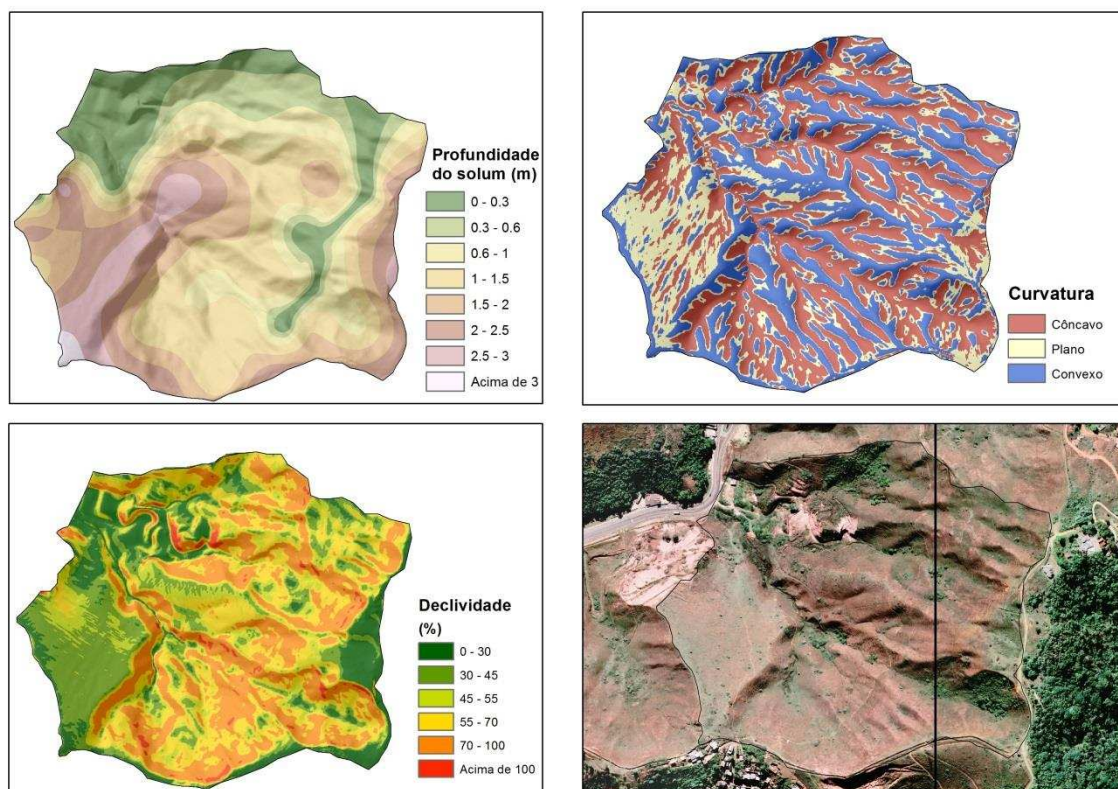


Figura 2. Atributos do terreno e imagem aerofotogramétrica da sub-bacia hidrográfica do Córrego do Yung, Juiz de Fora, Minas Gerais.

Ao realizar a operação “zonal statistics as table” no ArcGis, verificou-se que a profundidade do solo está diretamente relacionada com a declividade, a menor média de declividade foi observada em áreas com solos mais profundos, acima de 2 metros, sendo que esta classe ocupa apenas 4 ha na bacia que apresenta área de 35ha.

As áreas predominantes de profundidade na bacia vão até 1,5 metros de profundidade do solum, ocupando 70% da área da bacia, sendo também as áreas com maiores médias de declividade. Os dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Relação da profundidade do solum com a média de declividade

Profundidade (m)	Área (ha)	Média de declividade (m m <sup>-1</sup> )
0 – 0,5	7,31	59,80
0,5 – 1,0	7,90	59,71
1,0 - 1,5	9,10	60,96
1,5 – 2,0	5,84	55,61
> 2,0	4,79	45,35

Estudos realizados acerca do tema de deslizamentos de terra classificam a profundidade do solo e a condutividade hidráulica como informações fundamentais em análises de estabilidade de taludes, embora sejam as mais difíceis de mensurar. Entretanto, outros dados também essenciais podem ser obtidos por meio do sensoriamento remoto como modelo de elevação, inventário de deslizamentos e mapas de uso da terra (Western et al., 2008).

Correlações associando a declividade, forma das encostas e geomorfologia podem ser feitas para inferir sobre a profundidade do solo, entretanto mais ênfase deve ser dada à obtenção de mapas confiáveis e em escala adequada de tipos de solos e profundidade dos mesmos (Western et al., 2008).

Em vista da dificuldade de obtenção de bases de dados para o mapeamento das áreas instáveis, o método mais utilizado para estimar a probabilidade de deslizamentos são as observações de condições meteorológicas e mapas de áreas de risco elaborados pelas prefeituras a partir do método do Ministério das Cidades, que consta de uma ficha de campo, na qual são anotadas características do terreno, como inclinação da rampa, tipo de deslizamento e tipo de material.

### 3.2 Espacialização dos atributos físicos do solo

Os dados de profundidade e condutividade hidráulica não apresentaram estrutura de dependência espacial, sendo considerado como efeito pepita puro. Segundo Yamamoto & Landim (2013) o efeito pepita pode ser resultado tanto da variabilidade do fenômeno espacial em estudo como da escala de amostragem, sendo assim os dados apresentam

características aleatórias na distribuição e independência espacial. Para os demais atributos analisados modelos foram ajustados aos dados, atendendo a pressupostos da teoria geoestatística, como por exemplo, a estacionaridade intrínseca e pode-se também considerar atendida a estacionaridade de segunda ordem.

Os resultados dos parâmetros do semivariograma, (Tabela 2) evidenciam que alguns atributos apresentaram elevados valores de variância, sendo eles: argila, silte e areia grossa, este valor está associado à sensibilidade da variável quanto às distâncias coletadas, indicando que esses atributos exigem uma coleta mais densa para melhores ajustes. Entretanto, todos os atributos foram ajustados em um variograma com patamar, o que indica que ocorre a correlação entre os valores.

Tabela 2. Principais informações obtidas dos semivariogramas ajustados

Dados descritivos				Semivariograma ajustado					
Atributos	N	Média	Var	Máx, distância	Modelo	Contrib,	Alcance	Pepita	Métodos
Superfície									
Argila	43	377,0	32.360,0	487	Exponencial	27.540,5	541,7	6.281,0	WLS
Areia fina	43	122,6	824,3	367	Exponencial	746,2	254,8	90,0	OLS
Silte	43	114,6	14.825,5	650	Gaussiano	13.218,7	237,6	1.000,0	WLS
Areia grossa	43	317,0	20.688,3	612	Esférico	14.129,0	212,4	6.099,0	ML
Macroporosidade	41	0,2	0,0	755	Exponencial	0,0	117,6	0,0	WLS
Microporosidade	41	0,3	0,0	570	Gaussiano	0,0	140,4	0,0	WLS
Densidade do Solo	41	1,3	0,0	562	Esférico	0,0	558,2	0,0	OLS
Profundidade									
Argila	36	486,9	39.101,8	632	Esférico	35.211,4	289,6	4.882,0	OLS
Silte	39	101,5	9.818,6	595	Gaussiano	8.776,6	155,4	1.373,0	OLS
Areia fina	36	105,3	1.077,1	617	Esférico	990,6	247,6	119,0	OLS
Areia grossa	36	297,8	28.069,2	642	Esférico	25.412,4	242,7	3.250,0	OLS

n = número de amostras; Var = variância dos dados; Máx. distância = máxima distância adotada no semivariograma; Contrib. = contribuição; WLS = método dos mínimos quadrados ponderados; OLS = método dos mínimos quadrados ordinários; ML = máxima verossimilhança.

Os valores de alcance (que representa a extensão da dependência espacial) para os atributos macroporosidade, microporosidade e silte em profundidade foram os menores valores encontrados, sugerindo que essas variáveis são correlacionadas espacialmente a pequenas distâncias, o que evidencia o conhecimento da baixa continuidade estrutural do solo de superfície e profundidade do horizonte C em áreas potencialmente erodíveis.

Os maiores valores de alcance foram observados para a argila em superfície e profundidade, sendo assim, um ponto em superfície exerce influência no teor de argila a 540 metros de raio no seu entorno e em profundidade a 289 metros.

As estimativas da média e da variância dos resíduos obtidos na autovalidação devem ser próximos de 0 e 1, respectivamente (Tabela 3), pois a média dos resíduos representa a soma dos resíduos entre os valores preditos pela krigagem e os pontos observados, ou seja, teoricamente, estas medidas seriam 0 e 1 (Vieira, 2000). Os resultados da autovalidação foram satisfatórios para todos os atributos interpolados.

Tabela 3. Principais indicadores de qualidade de ajuste obtidos na validação dos ajustes para cada atributo

Atributo	Dados da regressão		Autovalidação	
	Intercepto	Predito	Média dos erros	Desvio padrão dos erros
Superfície				
Argila	1	-0,4815	-0,01	1,08
Areia fina	11,18	0,91	0,06	1,06
Silte	70,81	0,4	0,04	2,21
Areia grossa	-24,9	1,08	0	0,99
Macroporosidade	0,25	-0,6	0	1,01
Microporosidade	0,08	0,77	-0,01	1,07
Densidade do Solo	0,42	0,68	1,39	0,01
Profundidade				
Argila	42,43	0,91	0	1,11
Silte	142,43	-0,4	-0,27	1,35
Areia fina	39	0,63	0,01	1,2
Areia grossa	94	0,67	-0,01	1,2

O modelo de semivariograma evidencia uma estrutura de correlação espacial até o ponto do alcance, a partir do qual a semivariância torna-se constante, restringindo a área de influência espacial. O modelo esférico foi ajustado para a densidade do solo, areia grossa em superfície, argila, areia fina e areia grossa em profundidade.

De acordo com Vieira (2000), nesse modelo, são empregados os valores de efeito pepita e patamar ( $C+C_0$ ). O traçado desse modelo intercepta o eixo y em  $C_0$  e é tangente aos primeiros pontos próximos de  $h = 0$ , com comportamento linear até  $(1/3)a$  ( $a =$  alcance). A diferença fundamental entre o modelo esférico e o exponencial é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente (sem alcançá-lo efetivamente), enquanto o esférico atinge no valor do alcance. O parâmetro  $a$  é determinado visualmente

como a distância após a qual o semivariograma se estabiliza, evidenciando a importância da escolha dos modelos mais adequados à distribuição dos dados.

O modelo gaussiano apresenta uma curva parabólica junto à origem, e a tangente nesse ponto é horizontal, indicando pequena variabilidade a curtas distâncias, também apresenta comportamento assintótico (Vieira, 2000).

Testaram-se os ajustes dos modelos gaussiano e exponencial para os outros atributos, sendo que silte em superfície e profundidade, e microporosidade ajustaram-se melhor ao modelo gaussiano e os demais ao modelo exponencial (Figura 3 e 4), conforme apresentado por Kamimura et al., (2013).

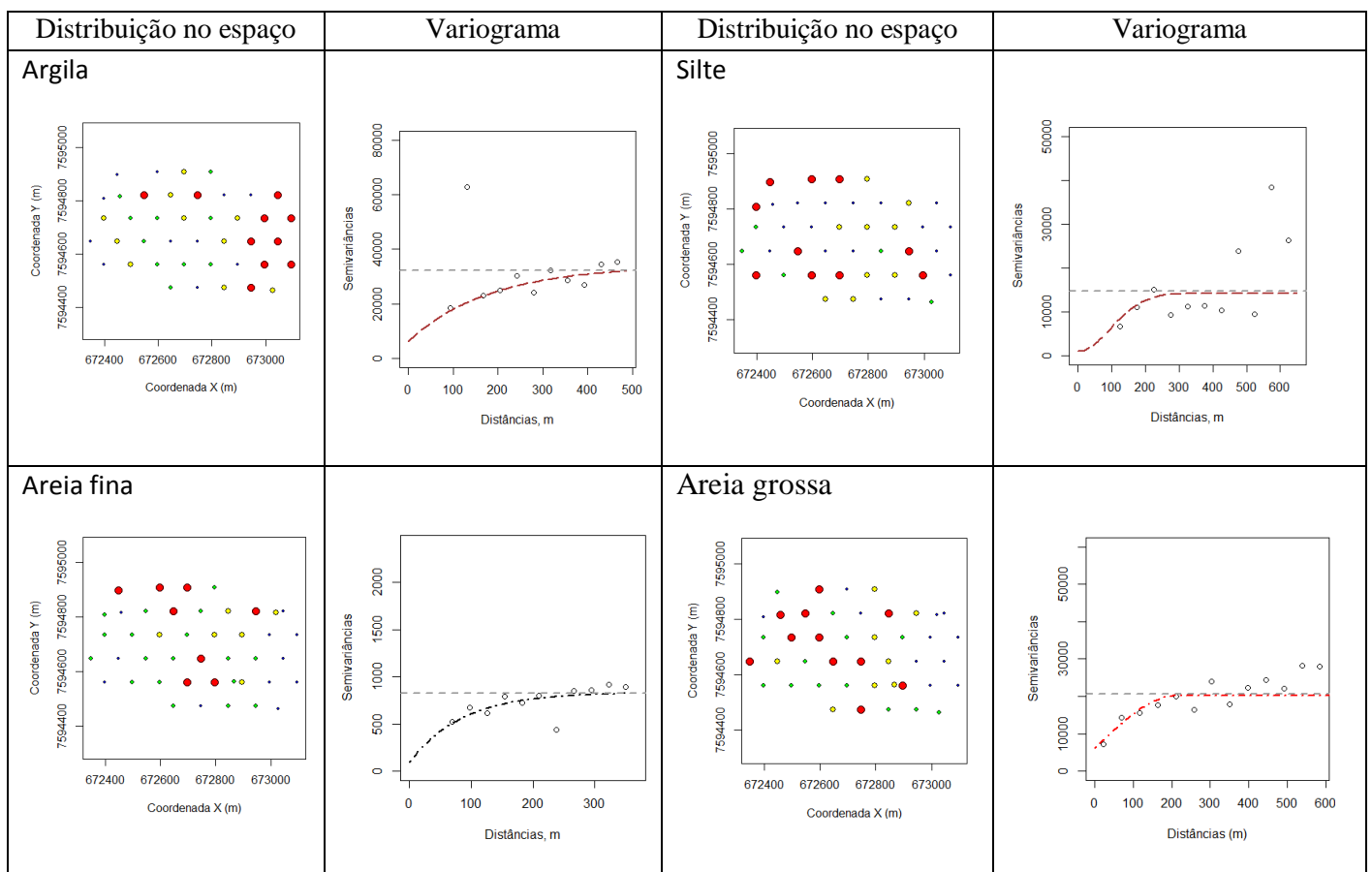


Figura 3. Distribuição dos dados e semivariograma para os atributos físicos estudados (cont.).

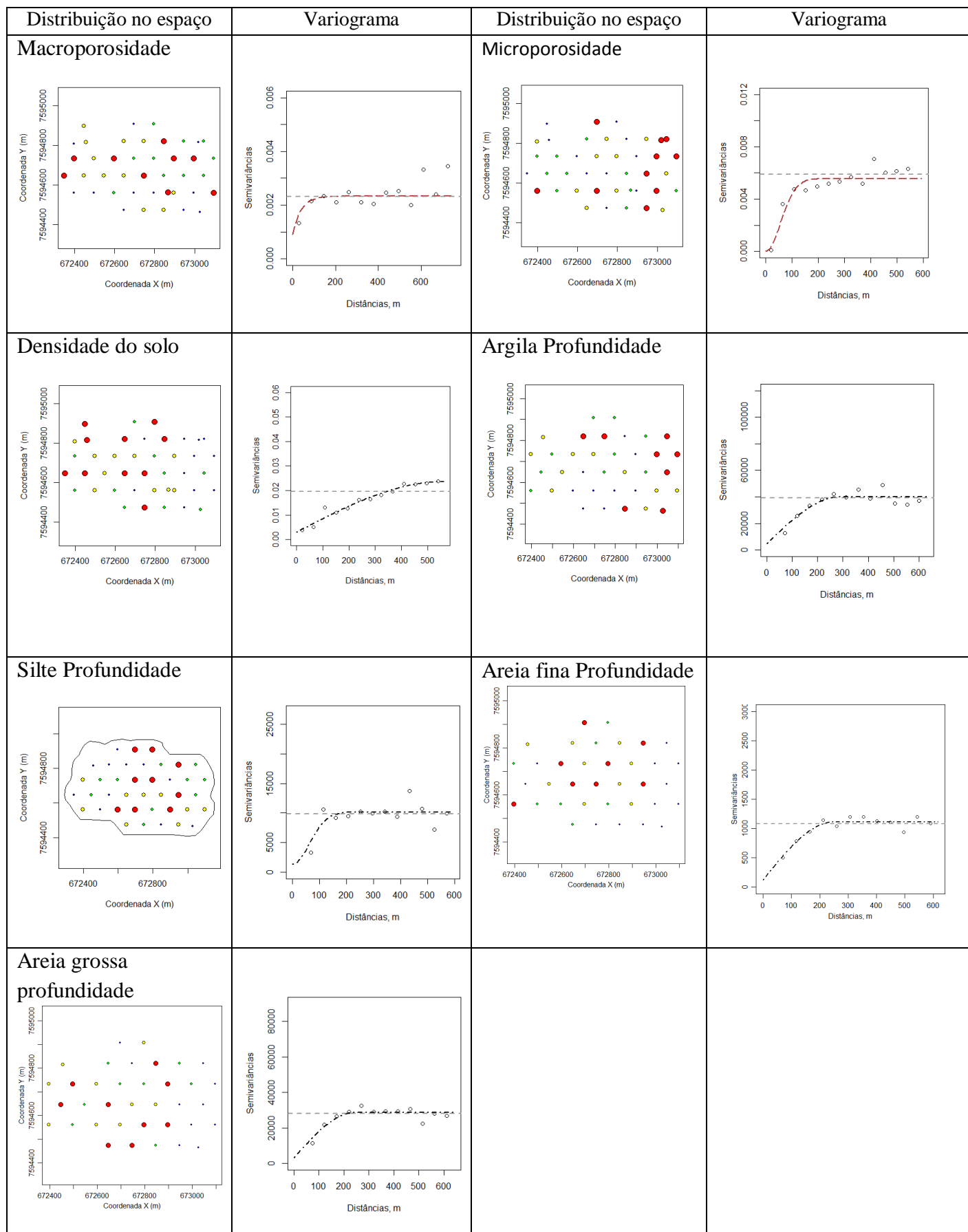


Figura 4. Distribuição dos dados e semivariograma para os atributos físicos estudados.

Após a escolha dos semivariogramas, os dados foram interpolados pela Krigagem Universal e os grid's gerados foram divididos em 1.000 linhas na horizontal e 1.000 linhas na vertical, o que correspondeu ao pixel de 0,90 m, esta operação foi realizada em todos os atributos. As imagens em formato ASC foram inseridas no ArcGis para conversão em GRID e elaboração dos layouts.

Os intervalos mais elevados do teor de argila foram observados nas áreas de topo mais planas, destacadas no mapa na cor vermelha e laranja, entre 500 e 820 g kg<sup>-1</sup>, na porção Leste da bacia, onde foram encontrados os menores valores de silte e areia (Figura 5). Observou-se uma cobertura vegetal menos degradada e presença de horizonte A granular, com grau de desenvolvimento moderado, sendo esta estrutura favorecida pela presença de matéria orgânica.

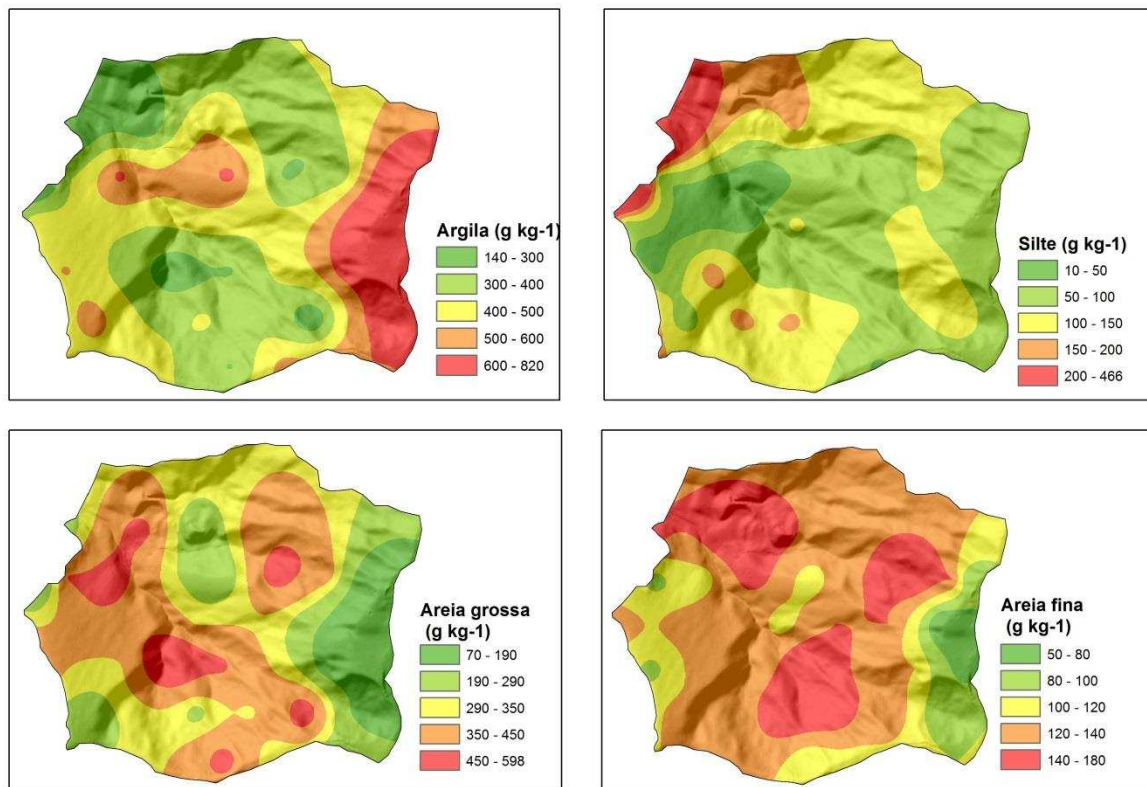


Figura 5. Espacialização da textura superficial na sub-bacia do Córrego do Yung, Juiz de Fora, MG.

Os valores mais elevados de silte foram observados a noroeste na bacia, correspondente às áreas identificadas no campo como degradadas e em processos de erosão, por exposição do horizonte C. Quanto aos valores de areia fina apesar de não

apresentar elevado teor numericamente, foi o atributo que apresentou expressiva distribuição espacial dos intervalos mais altos de 120 a 180 g kg<sup>-1</sup> na maior parte da bacia.

As áreas com maiores teores de silte em profundidade, considerando os intervalos de 100 a 397 g kg<sup>-1</sup> nas cores bege, verde e verde escuro (Figura 6) foram mapeadas nas áreas com relevo mais íngreme e solum mais raso, nas mesmas áreas foram detectados altos valores de areia fina de 100 a 170 g kg<sup>-1</sup> e areia grossa de 250 a 670 g kg<sup>-1</sup> em algumas áreas.

Ainda com relação a Figura 5, os elevados teores de argila entre 550 e 900 g kg<sup>-1</sup> foram observados nas áreas de solo mais profundo, onde não foi encontrado o horizonte C perfurando-se até 3 metros de profundidade.

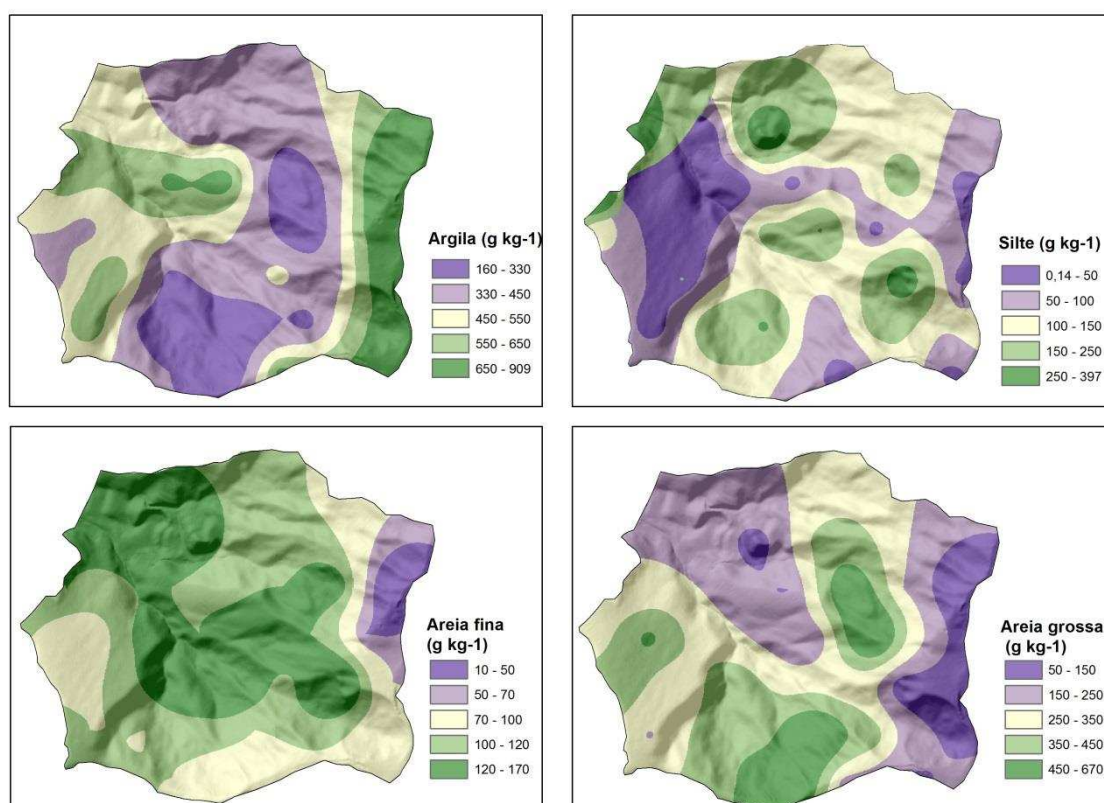


Figura 6. Espacialização da textura em profundidade na sub-bacia do Córrego do Yung, Juiz de Fora, MG.

Como os dados de condutividade hidráulica ( $K_0$ ) não foram ajustados espacialmente, testaram-se por meio da regressão linear múltipla realizada no programa R, as relações entre as características físicas do solo com a  $K_0$ . Quando as variáveis são atributos edáficos, essas regressões são denominadas funções de pedotransferência.

As funções de pedotransferência podem ser definidas como regressões utilizadas na obtenção de estimativas de atributos edáficos a partir de outros atributos que podem ser mensurados com maior facilidade (Medeiros et al., 2014). Os dados de Argila, Densidade do solo ( $D_s$ ) e Macroporosidade (Macro) apresentaram significância na regressão resultando na equação (2):

$$K_0 = -6,74 * D_s + 51,74 * Macro + 0,01 * Argila \quad (2)$$

A equação utilizada apresentou os melhores valores de ajuste da regressão linear múltipla com  $r^2 = 0,6$  e valor-p =  $2,9 \cdot 10^{-8}$ .

Sendo assim, para mapear a  $K_0$  na área da sub-bacia por meio da equação obtida, foi utilizada a ferramenta do ArcGis 10.1, raster calculator no módulo Spatial Analyst, que realiza operações entre imagens formadas por uma matriz de células (rasters).

Os valores de microporosidade foram baixos nos pontos observados, exceto em poucos pontos no topo, onde o relevo é suave e com cobertura vegetal pouco degradada. Pode-se concluir que como se trata de uma bacia com vertentes íngremes, o solo superficial apresenta constante processo de erosão, acarretando a degradação da estrutura do solo em algumas áreas (Figura 7).

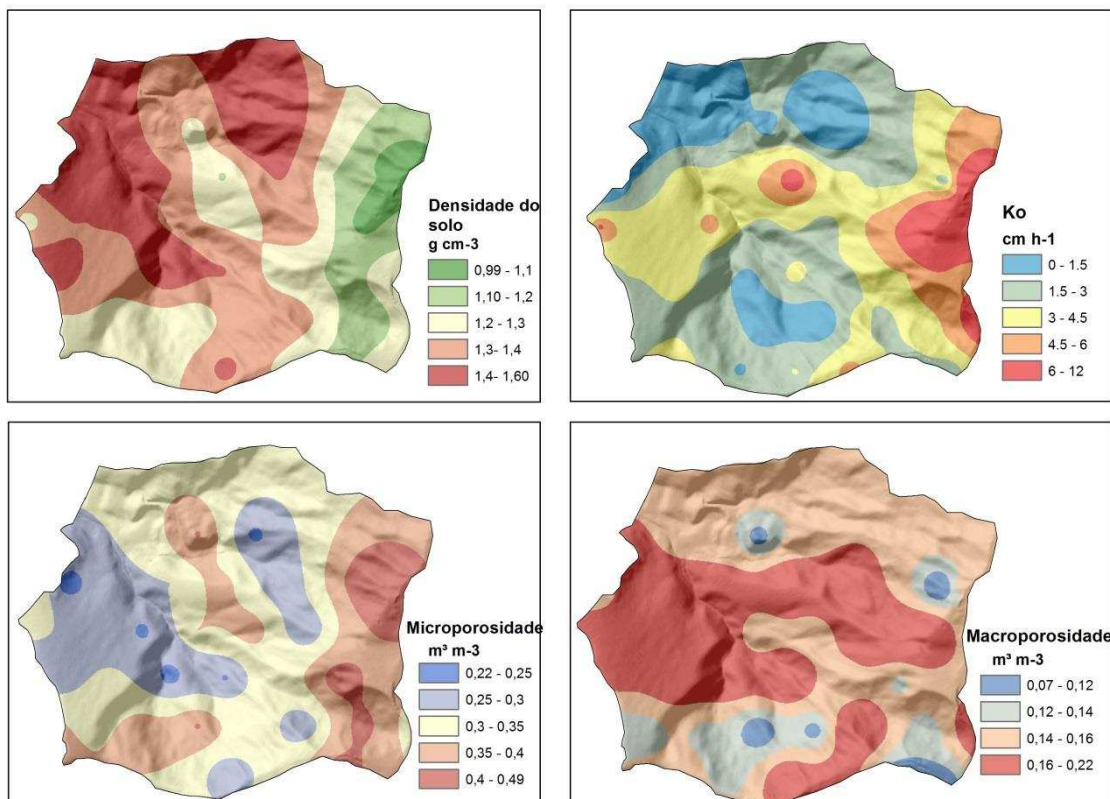


Figura 7. Atributos físicos espacializados na sub-bacia do Córrego do Yung, Juiz de Fora, MG.

As feições do mapa apresentaram coerência em relação às áreas identificadas com maior condutividade hidráulica, que foram verificadas nas medições em laboratório dos pontos de coleta em áreas menos degradadas, com cobertura vegetal, que caracterizam maior infiltração e menor escoamento superficial.

Também foram verificadas as correlações entre a condutividade hidráulica com os atributos do solo. Apesar dos baixos valores apresentados pela correlação na Tabela 4, verificou-se que os atributos físicos que melhor se ajustaram foram densidade do solo e areia fina negativamente, argila, porosidade total e macroporosidade positivamente. Assim como encontrado em Sampaio et al., (2006).

Tabela 4. Análise da correlação entre a condutividade hidráulica e os atributos do solo em superfície

Atributos	K <sub>0</sub> x		K <sub>0</sub> x Areia		K <sub>0</sub> x				
	Silte	Argila	Grossa	fina	Ds	Pt	Micro	Macro	Dp
Correl	-0.28	0.4	-0.18	-0.37	-0.41	0.5	0.12	0.37	0.24

Correl = correlação; Ds = Densidade do solo; Pt = Porosidade total; Micro = Microporosidade; Macro = Macroporosidade; Dp = Densidade de partícula

Mediante as análises de correlação entre profundidade do solum e textura (Tabela 5), verificou-se que as texturas que melhor se correlacionaram foram Argila, Silte e Areia grossa, devido ao fato de que quanto menor a profundidade maior a presença de silte e menor a presença de argila, pois mais próximo da superfície estará o horizonte C.

Tabela 5. Análise da correlação entre a profundidade do solum e a textura coletada no topo do horizonte C.

Atributo	Profundidade x			
	Areia Grossa	Areia fina	Silte	Argila
Correlação	0.45	0.29	0.44	-0.64

Os resultados observados nas Tabelas 4 e 5 podem ser visualizados nos mapas das Figuras 5, 6 e 7, reforçando o carácter de dependência espacial entre esses atributos.

#### 4. CONCLUSÕES

- 1- Os mapas temáticos dos atributos físicos dos solos apresentaram relação entre si, a textura argilosa relacionou-se à maior condutividade hidráulica, maior porosidade total e menor densidade do solo. Também as áreas mapeadas com maior teor de silte foram localizadas nas áreas degradadas da sub-bacia.
- 2- Os mapas temáticos das características do terreno também apresentaram relação entre si, nas áreas de solos mais profundos foram observadas áreas com menor declividade e curvatura plana.
- 3- A textura em profundidade apresentou elevada correlação com o relevo, nas áreas mais íngremes, foram mapeados maiores teores de silte, que correspondem ao topo do horizonte C, representando a pequena espessura do horizonte B nessas áreas.
- 4- Os valores de alcance para os atributos macroporosidade, microporosidade e silte em profundidade foram os menores valores encontrados, o que evidencia o conhecimento da baixa continuidade estrutural do solo de superfície e profundidade do horizonte B em áreas potencialmente erodíveis.
- 5- É necessário coletar mais amostras na área estudada para melhores resultados e ajuste dos atributos, visto a elevada variância apresentada nas texturas (argila e silte) e também para os que apresentaram efeito pepita, profundidade e condutividade hidráulica.
- 6- Os baixos valores encontrados nas análises de correlação realizadas no programa Excel podem estar ligados à variabilidade das características dos solos estudados, pois a superfície da sub-bacia apresenta áreas com vegetação em regeneração, com pasto degradado e áreas de solo exposto, ou seja, a estrutura dessas amostras variou muito nos pontos coletados.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: ALVAREZ, V. V. H., FONTES, L. E. F., FONTES, M. P. F., eds. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 1-18.
- AQUINO, R. F.; SILVA, L. M. N.; FREITAS, D. A. F.; CURI, N. AVANZI, J. C. Soil losses from typic Cambisols and Red Latosol as related to three erosive rainfall patterns. R. Bras. de Ci. Solo. 37: 213 - 220, 2012.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B.; CUNHA FILHO, M.; SOUZA, W. L. S. Características hidráulicas da erosão em sulcos em Cambissolo do semiárido do Brasil. R. Bras. de Ci. Solo. 34: 1325 - 1332, 2010.
- BOGNER, C. BAUER, F.; TRANCÓN Y WIDEMANN, B.; VIÑAN, P.; BALCAZAR, L.; HUWE, B. Quantifying the morphology of flow patterns in landslide-affected and unaffected soils. J. Hydrol., 511: 460-473, 2014.
- CALIL, P. M.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMAN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. R. Bras. Eng. Agri. Ambiental. Campina Grande. v.16. n.4. p.433 - 442, 2012.
- CODEMIG, Mapeamento geológico – Projeto Sul de Minas, Minas gerais, 2013. Disponível em : < <http://www.codemig.com.br/> > Acesso em Janeiro 2014.
- COSTANZO, D.; ROTIGLIANO, E.; IRIGARAY, C.; JIMÉNEZ-PERÁLVAREZ, J. D. CHACÓN, J. Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the GIS matrix method: application to the river Beiro basin (Spain)., 12, 327-340, 2012.
- Di MARTIRE, D.; ROSA, M.; PESCE, V.; SANTANGELO, M. A.; CALCATERRA, D. Landslide hazard and land management in high-density urban areas of Campania region, Italy. Nat. Harzards Earth Syst. Sci., v.12, p.905-926, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Ver. Ampl. Brasília, DF. 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

- GOMES, M. A.; LANI, J. J.; COSTA, L. M.; PONTES, L. M.; FIGUEIREDO, N. A.; BARDALES, N. G. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa – MG. Rev. Árvore. Viçosa-MG, v.36, n.1, p. 93 – 102. 2012.
- GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F.S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras – MG. R. Bras. Ci. Solo. 35:567-577, 2011.
- JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, C. J. Mining geostatistics. 5.ed.London, Academic Press, 1991. 600p.
- JUIZ DE FORA. Prefeitura Municipal. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora. Juiz de Fora: FUNALFA Edições, 2004, 394p.
- KAMIMURA, K. M.; SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, M. S.; DIAS, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob lavoura cafeeira. R. Bras. Ci. Solo, 37:877-888, 2013.
- KLIMEŠ, J. & ESCOBAR, V. R. A landslide susceptibility assessment in urban areas based on existing data: an example from the Iguaná Valley, Medellín City, Colombia., 10, 2067-2079, 2010.
- MEDEIROS, J. C.; COOPER, M.; ROSA, J. D.; GRIMALDI, M.; COQUET, Y. Assessment of pedotransfer functions for estimating soil water retention curves for the Amazon region. R. Bras. Ci. Solo, v. 38, p. 730-743, 2014.
- MINELLA, J. P. G. MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. Ciência Rural, v.42, n.9, set, 2012.
- PETSCHKO, H. BRENING, A. BELL, R. GOETZ, J. GLADE, T. Assessing the quality of landslide susceptibility maps – case study Lower Austria. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vº 14, p. 95 – 118, 2014.
- R CORE TEAM (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>. Acesso em 25. mar. 2014.
- REZENDE, S. B. & RESENDE, M. Solos dos Mares de Morros: Ocupação e uso. In: ALVAREZ V.,V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.261-289.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. P. & DIGGLE, P.P. GeoR: A package for geostatistical analysis. R-News, 1:15-18, 2001.

- RUIZ, H. A. Métodos de análises físicas do solo. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Viçosa, 2006. 22p.
- SADEGHI, S. H.; MOOSAVI, V.; KARAMI, A.; BEHNIA, N. Soil erosion assessment and prioritization of affecting factors at plot scale using the Taguchi method. *Journal of Hydrology*. 448–449 (2012) 174–180.
- SAMPAIO, F. M. T.; MENEZES, S. M.; FURTINI, M. B.; RIBEIRO, K. D. Correlação entre a permeabilidade e os atributos físicos do solo na sub-bacia do córrego Centenário da cidade de Lavras – MG. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 30, n. 4, p. 798 – 803, jul/ago., 2006.
- SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, M. S.; LOUZADA, J. M.; SANTOS, A. M. R. T. Krigagem Simples versus Krigagem Universal: qual o preditor mais preciso?. *Botucatu*, vol.26, n.2, 2011, p 49-55.
- SILVA, A. M. D.; MELLO, C. R.; CURI, N.; OLIVEIRA, P. M. De. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de Latossolos no sul de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:2125 – 2132, 2008.
- VESTENA, L. R.; KOBIYAMA, M. Identificação e mapeamento dos processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Caeté, no município de Alfredo Wagner/SC. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.15, n.1, (Jan-mar) p.23-33, 2014.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., H.V. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-55.
- WESTERN, C. J,V. CASTELLANOS, E. KURIAKOSE, S. L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* 102 (2008) 112–131.
- YFANTIS, E. A.; FLATMAN, G. T.; BEHAR, J. V. Efficiency of Kriging estimation for Square, Triangular and Hexagonal Grids. *Mathematical Geology*, vol. 19, n.3, 1987.
- YHAMAMOTO, J. K.; LAINDIM, P. M. B. *Geoestatística: conceitos e aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- ZIZIOLI, D.; MEISINA, C.; VALENTINO, R.; MONTRASIO, L. Comparison between different approaches to modeling shallow landslide susceptibility: a case history in Oltrepo Pavese, Northern Italy. *Nat. Harzards Earth Syst. Sci.*, 13, 559-573, 2013.

## CAPÍTULO 3

### ÁREAS DE RISCOS A DESLIZAMENTOS DE TERRA NA ÁREA URBANA DE JUIZ DE FORA, MINAS GERAIS

#### RESUMO

FONSECA, Letícia d'Agosto Miguel. **Áreas de riscos a deslizamentos de terra na área urbana de Juiz de Fora, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2014. Cap.3, 19p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

O objetivo desse trabalho foi relacionar os atributos do terreno com a legislação de uso e ocupação do solo, a fim de discutir a restrição de uso quanto à declividade e analisar a relação das ocorrências de deslizamentos com a pluviometria diária no município de Juiz de Fora, através da base de dados da Prefeitura. As variáveis de terreno empregadas neste estudo foram obtidas pelo modelo digital de elevação (MDE), tendo como base a planta topográfica plani-altimétrica, com curvas de nível com equidistância de 1 metro, cedida pela Prefeitura de Juiz de Fora. Foram utilizados os pontos e polígonos de áreas de risco mapeados pela Defesa Civil. Os dados foram analisados em ambiente SIG, de forma que pudessem ser realizadas análises espaciais das áreas de risco com relação aos atributos do relevo, discutidos com base no artigo 6º da lei de uso e ocupação do solo inciso III, que define que terrenos com declividade acima de 30% tem uso restrito. Também foram analisados os dados de chuva diários obtidos no site do INMET para a cidade de Juiz de Fora, correlacionados com os dias de ocorrência de deslizamentos obtidos na defesa civil. Os dados foram manipulados em planilha eletrônica do programa Microsoft Excel 07. Os resultados apontaram a existência de 222 pontos mapeados como áreas de risco no centro urbano de Juiz de Fora. Por meio da sobreposição desses pontos com o mapa de declividade, obteve-se a relação entre áreas de riscos e relevo. De acordo com a lei municipal, 124 pontos estariam em áreas iguais ou acima de 30% de declividade, totalizando 56% das áreas de risco da região urbana. Observou-se que apesar de vários bairros apresentarem muitas áreas com declividades acima de 30%, as áreas de risco estão sempre relacionadas às ocupações de baixo padrão social. Os meses que apresentaram o maior número de ocorrências de deslizamentos de terra coincidiram com os meses de maior volume de chuvas. O registro de maior impacto foi observado em janeiro de 2007, com 599 ocorrências registradas pela defesa civil, sendo que neste mês o total precipitado foi de 487 mm, enquanto a média esperada para esse mês é de 287 mm. A partir de análise de uma série histórica de oito anos (2006 – 2013), relacionando precipitação versus probabilidade de deslizamentos, e precipitação versus número de deslizamentos registrados, verificou-se 74% de probabilidade de deslizamento a partir de dados acumulados de chuva de 10 dias, para a precipitação igual ou acima de 150 mm, e 67% de probabilidade de deslizamentos em 15 dias de observações, para chuva igual ou acima de 200 mm. Concluindo, os dados acumulados foram representativos e as equações obtidas nas funções lineares podem ser utilizadas pela defesa civil para alerta de deslizamentos, com base nos registros anteriores.

## ABSTRACT

FONSECA, Letícia d'Agosto Miguel. **Landslide risk in urban areas in Juiz de Fora, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2014. Ch. 3, 19p. (Dissertation –Master's degree in Soil and Plant Nutrition).

This study aimed to compare the land attributes with the soil use and occupation law, discussing the restriction of use concerning slope and analyze the relationship of landslides occurrences of daily rainfall in the city of Juiz de Fora, by the City Hall database. The terrain variables used in this study were obtained through the digital elevation model (DEM), based on the topographic planialtimetric with contour interval of 1 meter. It was used points and polygons risk areas mapped by the Civil Defense. The data were analyzed in a GIS software so they could be performed spatial analysis of risk areas regarding to relief attributes, discussed based on Article 6 of the use and occupation law section III, which define that land above 30% slope has restricted use. It was also analyzed daily rainfall data obtained in INMET site for the city of Juiz de Fora correlated with the days of the landslides occurrence obtained in civil defense. The data were manipulated in a spreadsheet program Microsoft Excel 07. The results indicate 222 points mapped as risk areas in the urban center of Juiz de Fora. By overlaying these points with the slope map, it was obtained the relationship between risk areas and relief. According to municipal law, 124 points were in the same or above 30% slope areas, totaling 56% of the urban region risk areas. It was observed that although several neighborhoods present many areas with slopes above 30%, the risk areas are always related to low social status occupations. The months with the highest number of landslides occurrences coincided with the months of highest rainfall. The greatest impact registration was observed in January 2007 with 599 incidents recorded by the civil defense. Total rainfall along that month was 487 mm while the expected average is 287 mm. Trough analysis of time series from 2006 to 2013 relating probability of precipitation versus sliding, and precipitation versus number of registered slides, it is 74% likely to slip from the cumulative rainfall data from 10 days to precipitation above 150 mm, and 67% probability of slips in 15-day observations for rain greater than 200 mm. In conclusion, the accumulated data were representative and the equations obtained in the linear functions can be used for civil defense warning slips, based on previous records.

## 1. INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra em áreas urbanas e em rodovias têm se intensificado nos últimos anos no Brasil, em especial, na região sul e sudeste, provocando mortes e grandes prejuízos materiais. Os grandes desastres de deslizamentos de terra ocorridos em Santa Catarina em 2008 e na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 têm alçado o tema “Defesa Civil” a nível federal, o que culminou na elaboração do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres (PNGRD), em agosto de 2012. Este Plano buscou analisar as políticas e planos setoriais e nacionais, bem como, experiências em vários estados brasileiros que mostraram resultados importantes na redução de riscos e desastres, quer nos aspectos de deslizamentos, quer nos de inundações (FGV, 2012).

Com a criação do Ministério das Cidades em 2003 iniciaram-se as discussões junto à sociedade sobre as questões urbanas brasileiras. Este passou a ser o órgão responsável pela política de desenvolvimento urbano, juntamente com a Secretaria Nacional de Programas Urbanos (SNPU). Foi priorizado o apoio ao planejamento territorial urbano destacando como missão implantar o Estatuto das Cidades que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal referentes à política urbana (BRASIL, 2001; FGV, 2012).

Assim, o estudo do solo em meio a esses processos de deslizamento de terra e erosão torna-se fundamental. É um campo de interesse de profissionais de diversas áreas do conhecimento. Entretanto, a atuação é maior na geotecnia, que tem se restringido aos geólogos, engenheiros ambientais e engenheiros civis. Os pedólogos, a partir da caracterização, identificação, classificação e mapeamento dos solos podem contribuir na solução desses problemas, especialmente no caráter preditivo de identificação dessas áreas. Isso facilitaria o planejamento do melhor uso destes recursos naturais (Resende, et al., 2002; Pedron et al., 2004).

As características do meio físico, como geomorfologia, clima, vegetação e solos podem servir como indicadores para o planejamento do uso e ocupação do solo, estabelecendo as áreas de fragilidade ambiental (Gomes, et al., 2012). Esses dados podem ser obtidos a partir de bases cartográficas (geologia, topografia, e outros), imagens de satélite (uso e ocupação do solo) e levantamentos e classificação de solos representativos da área de trabalho (Calil et al., 2012; EMBRAPA, 2013).

A classificação taxonômica (EMBRAPA, 2013) aplicada a uma unidade de mapeamento ajuda a separar conjuntos de paisagens relativamente homogêneas. O

conhecimento sobre gênese, morfologia e classificação pode orientar a estratificação de ambientes, sendo os mapas de solos, os elementos mais úteis a essa tarefa (Caten & Dalmolin, 2014).

Sendo assim, cada classe de solo indica um potencial de uso ou restrição, os Cambissolos apresentam diferentes graus de erodibilidade a depender da declividade do terreno, teor de silte e da sua profundidade (Vestena & Kobayana, 2014). No domínio dos “Mares de Morros” o horizonte C tende a ser muito profundo, e há uma desproporção do tamanho do solum e solo, caracterizando o processo de rejuvenescimento do processo pedogeomorfológico deste domínio (Rezende & Resende, 1996). Segundo estes autores nas porções mais íngremes, geralmente com o horizonte C exposto há maior dificuldade de recomposição da cobertura vegetal, devido à deficiência de nutrientes e de água estacional, aumentando os processos erosivos.

O comportamento espacial e temporal das chuvas consiste no fator determinístico para os processos erosivos de deslizamentos de massa de solo em áreas cuja geomorfologia é reconhecidamente de risco, como as áreas íngremes e sem cobertura vegetal (Mello et al., 2012), predominantemente áreas com solos pouco desenvolvidos, rasos e com exposição do horizonte C.

A utilização de mapas de potencial de erosão visa o subsídio ao zoneamento de áreas de restrição à ocupação. Assim, estudos como o realizado por Costa & Nishiyama (2012) têm sido desenvolvidos relacionando a integração de dados para a caracterização da degradação do solo com a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Também o cadastro georreferenciado dos eventos históricos de deslizamentos, aliado às características geomorfológicas do local (geologia e declividade) e o uso e ocupação do solo (manchas urbanas), ajudam a definir parâmetros que podem ser utilizados no mapeamento de áreas suscetíveis ao deslizamento (Di Martire et. al., 2012).

O mapa de suscetibilidade à erosão se baseia em indicadores naturais como chuva, erodibilidade do solo (diretamente relacionado ao tipo de solo e ao manejo), declividade das encostas e uso e ocupação (Aragão et al., 2011).

Nos últimos anos, a cidade de Juiz de Fora tem apresentado uma expansão urbana significativa. A defesa civil registra todos os anos ocorrências de deslizamentos de terra em diversas regiões da cidade, principalmente em época de chuva. Dentre estas regiões com maior número de ocorrências encontram-se a região leste (PJF, 2004).

Assim buscou-se através da base de dados da Prefeitura relacionar os atributos do terreno com a legislação de uso e ocupação do solo, a fim de discutir a restrição de uso quanto à declividade e analisar a relação das ocorrências de deslizamentos com a pluviometria diária no município de Juiz de Fora.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

O município de Juiz de Fora situa-se no Estado de Minas Gerais, na mesorregião da Zona da Mata Mineira. A presença de vales profundos associados a encostas com elevadas declividades, sujeitos a maiores precipitações pluviométricas, características do clima tropical de altitude, constituem os principais fatores que imprimem à região uma dinâmica superficial bastante intensa, com acomodações de solos, enchentes e áreas de deslizamento de terra (PJF, 2004).

Os solos predominantes no município foram os Cambissolos Húmicos, Cambissolos Háplicos, Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos (UFV, 2010).

A legislação municipal que aborda o uso e ocupação do solo é o código de obras do município n.º6908 de 31/04/86. No capítulo II dos requisitos urbanísticos para o parcelamento do solo, seção I das proibições para o parcelamento do solo no município de Juiz de Fora, no artigo 1º define:

“Esta Lei buscando promover o predomínio do interesse coletivo sobre o particular, visa, dentre outros motivos”.

V- Ordenar o crescimento da cidade.

O art. 6º da mesma lei se refere às restrições para o parcelamento do solo onde se destacam os incisos.

III - terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas as exigências específicas formuladas pela Prefeitura;

IV - terrenos nos quais as condições geológicas não aconselham a edificação;

V – Áreas contendo preservação ecológica ou naqueles onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis de sua correção;

VI – Áreas contendo matas ou florestas, sem prévia manifestação favorável das autoridades competentes;

VII - áreas com reservas naturais que o Poder Público tenha interesse em sua defesa e proteção;

VIII – Área de beleza natural paisagística de interesse público.

O Art. 11 dá ao Poder Executivo o direito de criar zonas especiais sujeitos ao regime específico, mais restritivo, podendo delimitar as respectivas delimitações urbanísticas com vistas à preservação ecológica dos recursos naturais, defesa do patrimônio histórico e arquitetônico, proteção ambiental e ecológico, à saúde pública, realização de cunho social, etc.

Diversos bairros da cidade apresentam ocupações irregulares dentre eles o bairro Três Moinhos se destaca, caracteriza-se por apresentar moradias sem infraestrutura básica e distribuídas de maneira irregular. O relevo é montanhoso e há muitos pontos vulneráveis a deslizamentos de terra (Figuras 1 e 2).



Figura 1. Vista parcial do bairro Três Moinhos, Juiz de Fora, MG.

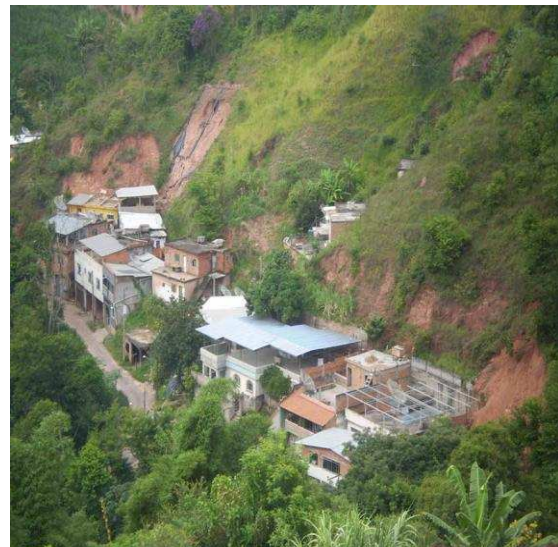


Figura 2. Cortes no terreno com a exposição do horizonte C. Bairro Três Moinhos, Juiz de Fora, MG.

## **2.2 Dados utilizados**

As variáveis de terreno empregadas neste estudo foram obtidas pelo modelo digital de elevação (MDE), tendo como base a planta topográfica plani-altimétrica com curvas de nível com equidistância de 1 metro, cedida pela Prefeitura de Juiz de Fora, desenvolvida a partir do levantamento aerofotogramétrico realizado no município no ano de 2007. As curvas de nível foram interpoladas utilizando ferramentas do ArcGis 10.1 no módulo Spatial Analyst, com base nas curvas cotadas, hidrografia orientada e limite da região urbana de Juiz de Fora.

Foram utilizados os pontos e polígonos de áreas de risco mapeados pela Defesa Civil.

Os dados foram analisados em ambiente SIG, de forma que pudessem ser realizadas análises espaciais das áreas de risco com relação aos atributos do relevo, discutidos com base no artigo 6º da lei de uso e ocupação do solo inciso III, que define que terrenos com declividade acima de 30% de declividade tem uso restrito.

Também foram analisados os dados de chuva diários obtidos no site do INMET para a cidade de Juiz de Fora correlacionados com os dias de ocorrência de deslizamentos obtidos na defesa civil, os dados foram manipulados em planilha eletrônica do programa Microsoft Excel 07.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Análise do mapeamento das áreas de risco no centro urbano de Juiz de Fora**

Existem 222 pontos mapeados como áreas de risco no centro urbano de Juiz de Fora (Anexo 1). Por meio da sobreposição desses pontos com o mapa de declividade obteve-se a relação entre áreas de riscos e relevo (Tabela 1).

De toda área urbana 6.666 ha são de encostas côncavas, 3.572 planas e 5.374 convexas, sendo que 81 pontos estão localizados em áreas côncavas 63 em áreas planas e 78 em áreas convexas.

Tabela 1. Relação entre o relevo e os pontos mapeados de áreas de riscos da área urbana do município de Juiz de Fora, Minas Gerais

Declividade m m <sup>-1</sup>	Relevo aproximado	Pontos mapeados de áreas de risco	%
0 - 10	Plano	20	9
10 - 20	Ondulado	26	12
20 - 30	Forte ondulado	52	23
30 - 45*	Forte ondulado	55	25
45 - 60	Montanhoso	49	22
> 60	Escarpado	20	9

\*A linha pontilhada indica áreas que não deveriam ser ocupadas segundo a Lei nº 6.908, salvo se atendidas as exigências específicas formuladas pela prefeitura.

De acordo com a lei municipal 124 pontos estariam em áreas iguais ou acima de 30% de declividade, totalizando 56% das áreas de risco da região urbana, sendo que destes pontos, 49 estão em encostas côncavas, 24 em planas e 51 convexas. Os pontos mapeados em relevo plano estão localizados em topos de morros e também em cortes de terreno.

A região de planejamento com maior número de pontos mapeados e ocorrências foi Linhares, com 27 pontos e 256 ocorrências nos últimos oito anos, entretanto, as áreas mapeadas como áreas de risco ocupam 0,6% da região urbana, pois, a ocupação é concentrada na porção Oeste nos bairros Três Moinhos e Bom Jardim e caracteriza-se como área rural, esses bairros estão inseridos na bacia do Yung.

Dos 63 pontos mapeados como áreas de risco de escorregamento na bacia do Yung, 36 estão localizados em áreas impróprias para uso, como previsto na Lei 6.908, acima de 30% de declividade. Destes 36 pontos, 20 foram classificados como de alto e muito alto risco, sendo assim, conclui-se que 55% das casas mapeadas em situação de risco não apresentariam problemas caso a lei fosse obedecida. Entretanto, os pontos que representam os 45% restantes, evidenciam que somente a declividade não é suficiente para restringir a ocupação.

Os dados do relevo evidenciam que deve ser dada atenção adequada para obras de infraestrutura prévia à ocupação na região, pois as áreas de declividade abaixo de 30% ocupam apenas 178 ha, enquanto as áreas acima de 30% ocupam 357 ha, com encostas côncavas (221 ha) e convexas (202 ha), em detrimento de áreas planas.

Também as regiões vizinhas Santa Rita de Cássia, São Benedito e Grajaú apresentam regiões com grandes áreas de risco mapeadas, e relevo semelhante. As áreas de risco representam 10%, 3% e 3,5% das regiões, com registros de 176, 132 e 200 casos de deslizamentos de terra, respectivamente.

A condição social dos bairros desta região difere significativamente da região central, 60% dos chefes de família ganham até dois salários mínimos, sendo que muitos moradores, em especial do Três Moinhos, vivem de subemprego ou são desempregados.

A crescente ocupação nesta região é preocupante, pois geralmente são ocupações subnormais, em áreas potenciais de erosão que utilizam água para irrigar as hortas existentes nessa região e com isso ainda podem comprometer a qualidade da água, que abastece a cidade.

As regiões urbanas de Grama (onde estão os bairros: Nova Suíça, Grama, Vila Montanhosa e Recanto dos Lagos) e Graminha (Granjas Betel, Graminha e Granja Santo Antônio) apresentam as maiores áreas em hectares, nas regiões urbanas com declividade acima de 30%, entretanto, Grama apresentou somente 22 registros e Graminha, 9.

Na região do Bandeirantes foram implantadas ao longo da década de 70 diversos conjuntos habitacionais, estes assentamentos trouxeram infraestrutura e impulsionaram a ocupação do local. Entretanto, houve adensamento e muitas famílias ocuparam áreas impróprias. Existem na atualidade nove pontos de áreas de risco, com registro de 55 ocorrências, associadas ao relevo movimentado, pois as áreas acima de 30% são expressivas neste centro.

A região de Salvaterra também se destaca em áreas com declividade acima de 30%, predominando sítios e chácaras. Os bairros Aeroporto e Cascatinha também apresentam áreas expressivas com declividade acima de 30%, ocupando 34% e 26% do território respectivamente, e nenhuma área de risco mapeada, devido ao alto padrão de ocupação. O índice de rendimento das famílias no Aeroporto é superior a dez salários mínimos.

Bem próximo ao bairro Aeroporto está o bairro Dom Bosco, com padrão socioeconômico baixo, este apresenta um padrão de ocupação bem inferior aos seus vizinhos. Neste bairro foram registradas 32 ocorrências em 2 pontos mapeados.

Observa-se assim, que apesar de várias regiões apresentarem muitas áreas com declividades acima de 30%, as áreas de risco estão sempre relacionadas às ocupações de baixo padrão social, portanto, cabe ao poder público impedir a expansão urbana

desordenada e, quando já instalado, prover infraestrutura e condição de moradia para as famílias.

### **3.2 Relação da precipitação com os deslizamentos de terra**

Pode-se observar que entre os anos de 2006 a 2013 em alguns meses, a intensidade de precipitação excedeu a média esperada dada pela normal climatológica (Figura 3), estando estes eventos meteorológicos relacionados com os maiores registros de ocorrências de deslizamentos na região urbana de Juiz de Fora (Figura 4).

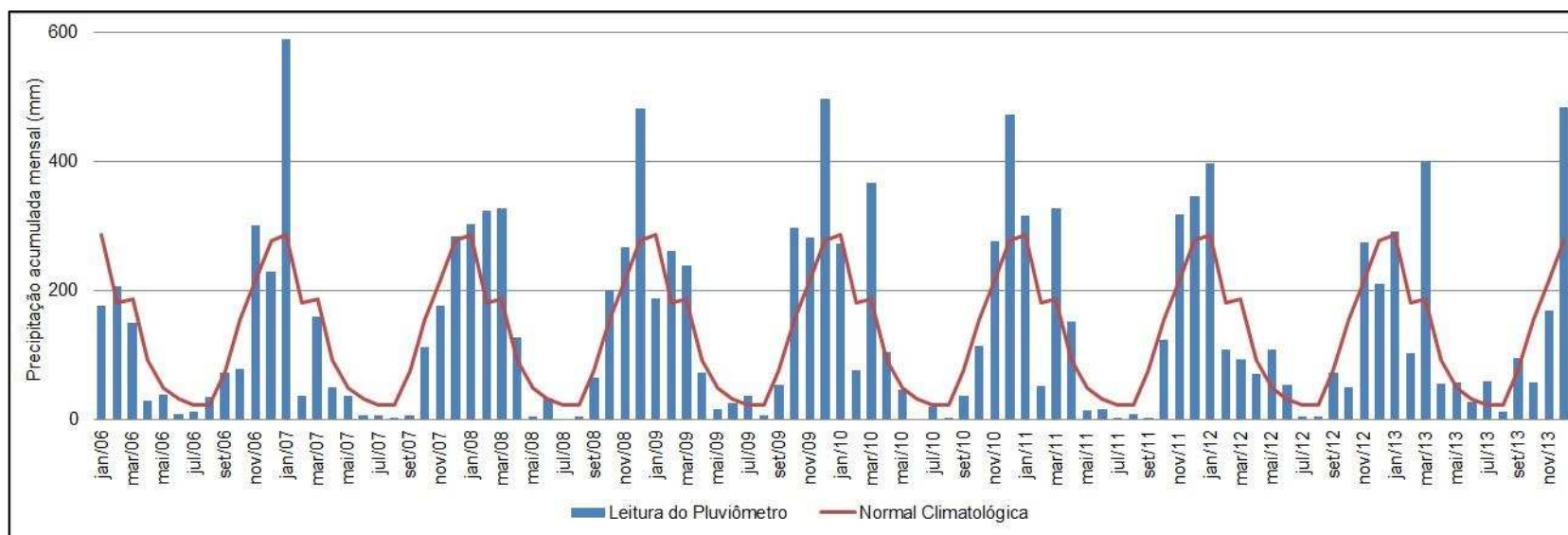


Figura 3. Precipitação acumulada mensal nos anos de 2006 a 2013 na cidade de Juiz de Fora, MG.

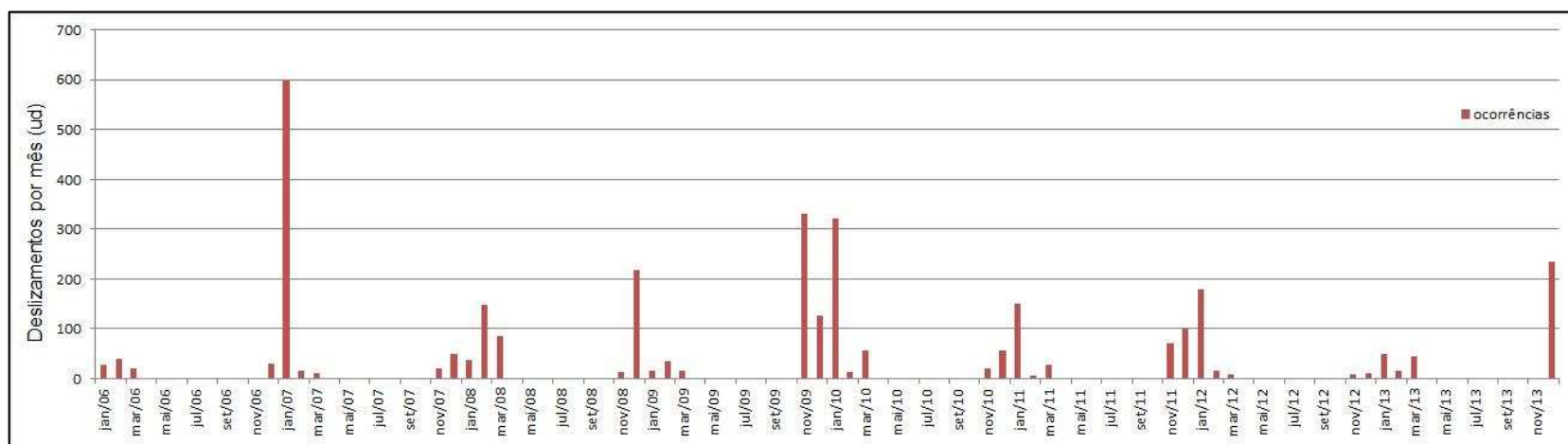


Figura 4. Número de ocorrências de deslizamentos por mês ao longo dos anos de 2006 a 2013 na cidade de Juiz de Fora, MG.

Os meses que apresentaram o maior número de ocorrências de deslizamentos de terra coincidiram com os meses de maior volume de chuvas. O registro de maior impacto foi observado em janeiro de 2007, com 599 ocorrências registradas pela defesa civil, sendo que neste mês o total precipitado foi de 487 mm, enquanto a média esperada para esse mês é de 287 mm.

Em dezembro de 2008 e dezembro de 2013 as chuvas foram semelhantes, acima dos 400 mm (480,6 e 484), e também o número de ocorrências 217 e 235 respectivamente.

Em novembro de 2009 apesar da chuva não muito intensa com 280,8 mm, sendo este valor um pouco acima da média da normal climatológica (219 mm), foram realizados 332 registros, seguido dos meses de dezembro de 2010, que apresentou um evento de chuva intensa bem acima da média, 511 mm, com 127 ocorrências, e janeiro de 2011 com 299 mm, sendo esta última pouco acima da média com 322 ocorrências. Estes deslizamentos estão associados ao período chuvoso a partir do mês de novembro e, portanto, à saturação do solo, que implica em menor estabilidade e resistência do mesmo.

Os dados de chuva diários evidenciam que existe um padrão de ocorrência dos deslizamentos, no qual há 82% de chance de ocorrência de deslizamento quando a precipitação diária supera os 50 mm (Figura 5), embora tenham sido registradas apenas 37% das ocorrências a partir desta observação.

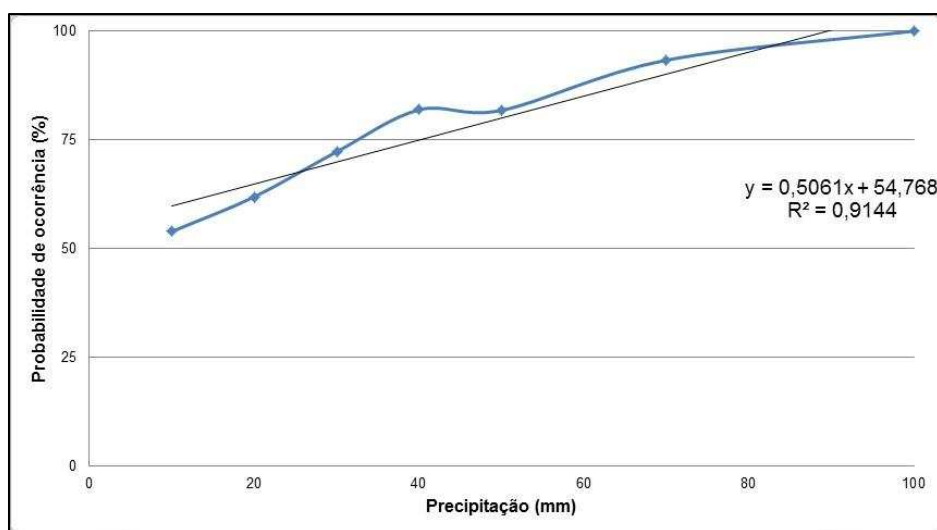


Figura 5. Relação da probabilidade de deslizamento com a precipitação diária.

O evento de chuva diário superior a 100 mm apresenta 100% de probabilidade de haver ocorrência de deslizamento, apesar de eventos de chuva com esse volume no intervalo de tempo de um dia serem pouco comuns, foram registrados 10% dos

deslizamentos na cidade quando o evento de precipitação foi igual ou superior a 100 mm, ou seja, dentre as 3.305 ocorrências registradas nos últimos sete anos, aproximadamente 33 casos foram relacionados a ocorrências de eventos de chuvas diárias intensas (Figura 6).

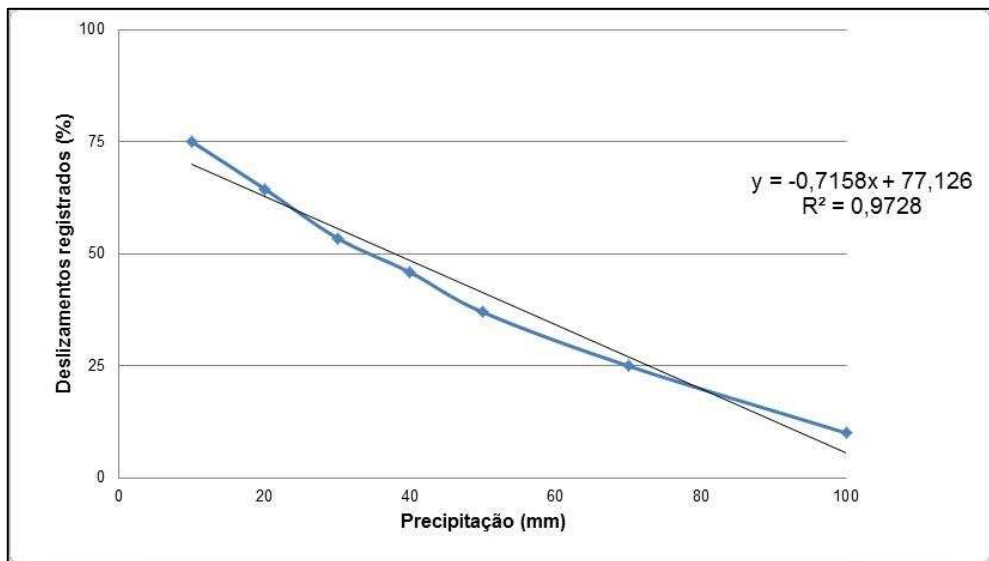


Figura 6. Relação dos deslizamentos registrados com a precipitação diária.

Também, houve casos de registros de deslizamentos em dias que choveu pouco, pois estes estão associados às precipitações acumuladas. Sendo assim, verificou-se a probabilidade de ocorrência de deslizamentos com relação à intensidade de precipitação diária e também acumulada.

Os dados de chuva acumulado são mais significativos, uma vez que, ao aumentar o volume de chuva, cresce a probabilidade de ocorrência, trata-se, portanto, de uma função linear (Figuras 7 e 8).

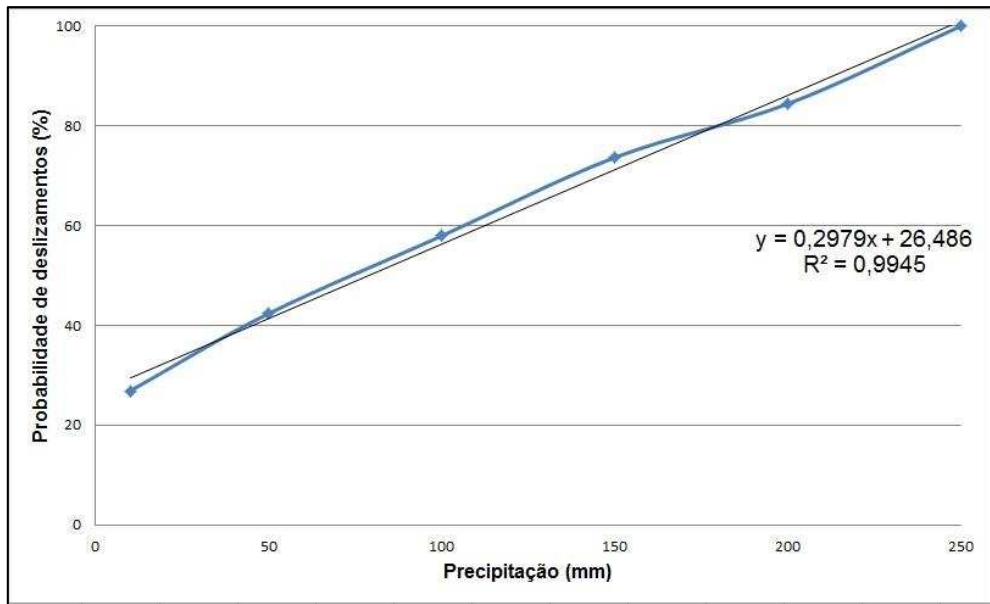


Figura 7. Relação da probabilidade de deslizamento com a precipitação acumulada em 10 dias.

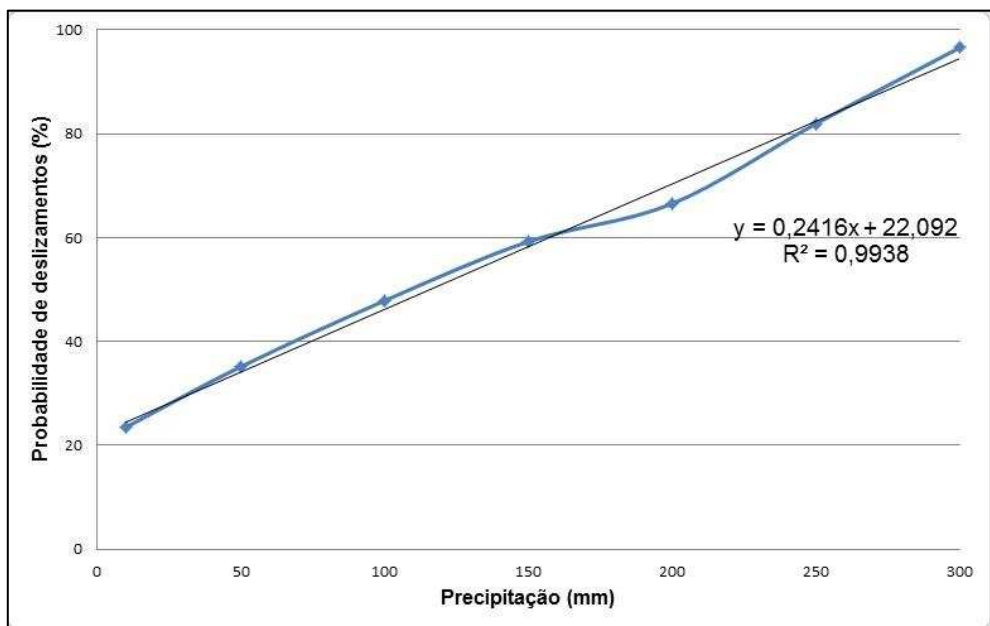


Figura 8. Relação da probabilidade de deslizamento com a precipitação acumulada em 15 dias.

Verificou-se 74% de probabilidade de deslizamento a partir de dados acumulados de chuva de 10 dias para a precipitação igual ou acima de 150 mm.

Os dados acumulados de chuva igual ou acima de 200 mm em 15 dias de observações resultaram em 67% de probabilidade de ocorrências.

Mesmo considerando a ocorrência de chuvas dentro da normal climatológica, sem eventos extremos de chuvas intensas, a probabilidade de ocorrência para os meses mais

chuvosos é sempre elevada. Considerando que ocorram chuvas uniformes, os dados mensais da normal climatológica foram divididos por três e dois, os valores foram adotados como chuvas acumuladas em 10 e 15 dias respectivamente (Tabela 2). Esses dados foram comparados com os percentuais de probabilidade de deslizamentos para essas chuvas acumuladas encontrados a partir das equações da reta nas figuras 7 e 8.

Tabela 2. Dados da Normal climatológica

Meses	Normal climatológica	Chuva acumulada	
		10 dias	15 dias
-----mm-----			
Janeiro	287	96	143
Fevereiro	181	60	91
Março	186	62	93
Abril	93	31	46
Maio	49	16	24
Junho	32	11	16
Julho	23	8	12
Agosto	22	7	11
Setembro	76	25	38
Outubro	155	52	78
Novembro	216	72	108
Dezembro	277	92	139

Para um evento de chuva acumulada de 10 dias, a normal indica 50% de probabilidade de ocorrências no mês de novembro, 56% em dezembro, 57% para o mês de janeiro e 47% em fevereiro.

Para a chuva acumulada de 15 dias, a probabilidade de ocorrência em novembro é de 60%, dezembro 69%, janeiro 70% e fevereiro 56%. Esses dados revelam que a região deve permanecer sob constante alerta de deslizamento em épocas chuvosas.

A chuva acumulada esperada para 10 dias consecutivos considerando a normal climatológica para o mês de dezembro é de 92 mm, observando o gráfico de chuva versus percentual de ocorrências registradas (Figura 9), e utilizando a equação da reta para o cálculo do percentual, há 79% dos deslizamentos no município, bem como neste mês o acumulado para 15 dias esperado é de 138 mm, observando o gráfico, verifica-se a concentração de 75% das ocorrências de deslizamentos quando apresenta estas condições (Figura 10).

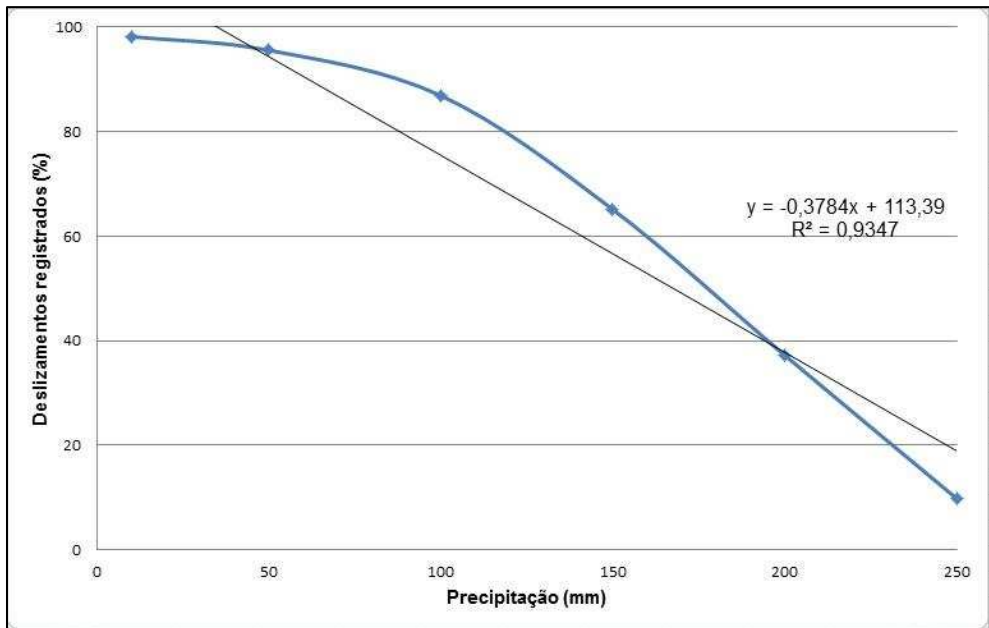


Figura 9. Ocorrências de deslizamentos registrados no município x precipitação acumulada em 10 dias.

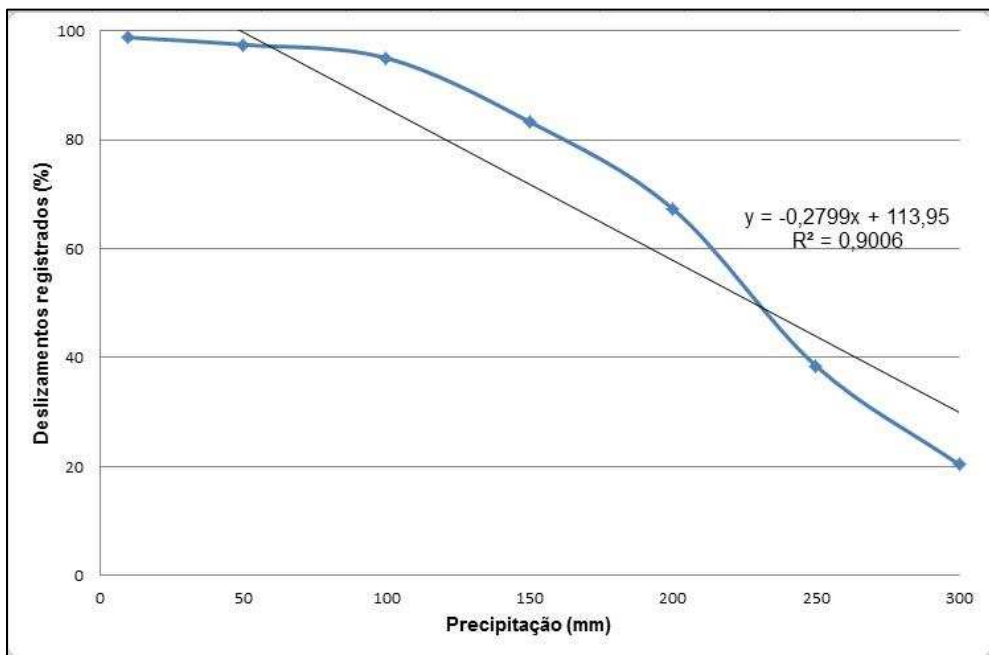


Figura 10. Ocorrências de deslizamentos registrados no município x precipitação acumulada em 15 dias.

Para o mês de janeiro, é esperado um acumulado de 96 mm em 10 dias, concentrando 77% das ocorrências, em fevereiro espera-se 60 mm, este acumulado soma 91% das ocorrências.

Em janeiro considerando o acumulado de 15 dias, espera-se a soma de chuva de 143 mm, a partir deste valor, verificou-se a concentração de 74% das ocorrências, em fevereiro para este mesmo período de chuva acumulada espera-se um total de chuva de 90 mm, concentrando 89% dos deslizamentos.

#### 4. CONCLUSÕES

1. Volumes de chuvas de 100 mm ou superiores, mesmo quando obtidos a partir do acúmulo de 10 dias, representam para a região, probabilidade acima de 56% de ocorrências de deslizamentos de terra nas áreas de riscos no município de Juiz de Fora;
2. A probabilidade de ocorrências de deslizamentos de terra em Juiz de Fora é de 80% quando a precipitação diária supera 50 mm;
3. Os meses com maior volume de chuvas são os meses com maior número de ocorrências de deslizamentos;
4. Os deslizamentos estão fortemente associados a estação chuvosa da região;
5. A ocorrência de chuvas acima da média normal do período (normal climatológica) aumenta o risco de eventos de deslizamentos de terra nas áreas de risco de Juiz de Fora;
6. As áreas de ocupação com declividade acima de 30%, ou seja, que não obedeceram a lei municipal 6.908 são em sua maioria ocupadas por famílias classificadas como de baixo padrão social;
7. Na bacia do córrego do Yung aproximadamente 55% das residências mapeadas em situação de risco estão classificadas como localizadas em zonas de risco muito alto de deslizamento porque foram edificadas em encosta acima de 30% de declividade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; FIGUEIREDO, E. E.; SIRINIVASAN, V. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do rio Japaratuba, SE, via SIG. R. Bras. Eng. Agric. Ambiental. Campina Grande. v.15, n.7, p.731–740, 2011.
- BRASIL. Lei nº10. 257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.
- CALIL, P. M.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMAN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. R. Bras. Eng. Agri. Ambiental. Campina Grande. v.16. n.4. p.433 - 442, 2012.
- CATEN, A. T. DALMOLIN, R. S. D. Geoprocessamento como aliado da pedologia. Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 39, p 32 - 35, 2014.
- COSTA, R. A.; NISHIYAMA, L. Zoneamento ambiental das áreas urbana e de expansão urbana de Caldas Novas (GO): uma contribuição metodológica. RAEGA. Curitiba. v.25, p. 343 - 372. 2012.
- Di MARTIRE, D. ROSA, M. De., PESCE, V. SANTANGELO, M. A. CALCATERRA, D. Landslide hazard and land management in high-density urban areas of Campania region, Italy. Nat. Harzards Earth Syst. Sci., v.12, p.905-926, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Ver. ampl. Brasília, DF. 2013. 353p.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Plano Nacional de Gestão de Riscos e Desastres – PNGRD. Diagnóstico outubro de 2012.
- GOMES, M. A. LANI, J. J. COSTA, L. M. PONTES, L. M. FIGUEIREDO, N. A. BARDALES, N. G. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa – MG. Rev. Árvore. Viçosa-MG, v.36, n.1, p. 93 – 102, 2012.
- JUIZ DE FORA. Prefeitura Municipal. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora. Juiz de Fora: FUNALFA Edições, 2004, 394p.
- MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; CURI, N.; SILVA, A. M. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no estado do Espírito Santo. R. Bras. Ci. Solo. 36: 1878 – 1891, 2012.

- PEDRON, F. A.; DALMOLI, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; KAMINSK, J. Solos Urbanos. *Ciência Rural*. Santa Maria. v. 34, n. 5, p. 1647- 1653, 2004.
- RESENDE, M. LANI, J. J. REZENDE, S. B. Pedossistemas da Mata Atlântica: Considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. *Rev. Árvore*. Vol. 26. n.3, Viçosa, 2002.
- REZENDE, S.B. & RESENDE, M. Solos dos Mares de Morros: Ocupação e uso. In: ALVAREZ V.,V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.261-289.
- Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: Legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 49p, 2010.
- VESTENA, L. R. KOBİYAMA, M. Identificação e mapeamento dos processos erosivos na bacia hidrográfica do rio caeté, no município de Alfredo Wagner/SC. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.15, n.1, (Jan-mar) p.23-33, 2014.

## ANEXO 1

## CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos dados de chuva, análise de uso e ocupação do solo urbano e atributos físicos do solo, foi possível identificar as características ambientais e sociais das áreas de riscos.

A restrição de ocupação considerando somente os 30% de declividade como previsto na lei municipal não é suficiente, visto que muitas áreas foram mapeadas com áreas de menor declive, em bairros onde o padrão de ocupação é subnormal, sem infraestrutura urbana.

Somente considerando a média pluviométrica esperada para os meses chuvosos, os dados registrados de deslizamentos são alarmantes, ou seja, não é necessário acontecer eventos extremos de chuvas, como foi o caso de janeiro de 2007, evidenciando que o fator responsável pelos deslizamentos não são as chuvas intensas, mas as ocupações irregulares e a resistência dos solos.

Ao analisar os dados de chuva acumulados em 10 e 15 dias com 150 e 200 mm respectivamente, com relação aos dados registrados de ocorrência de escorregamentos de solo, verificou-se que estes dados são significativos, pois a probabilidade de ocorrência aproxima dos dados registrados, sendo assim, um sistema de alerta poderia ser montado considerando esses intervalos de saturação do solo.

Considerando os cortes de terreno, ao expor o horizonte C, os resultados da caracterização geotécnica apontaram a menor resistência deste horizonte pedológico frente ao horizonte B. O cisalhamento direto mostrou que a resistência quanto ao solo natural é praticamente a mesma, entretanto ao saturar o horizonte C apresenta uma menor resistência.

Corroborando as análises geotécnicas, nas áreas que ocorreram deslizamentos foi identificado maior teor de silte, menores valores de microporosidade e maiores valores de densidade do solo, características do horizonte C exposto.

Os mapas temáticos dos atributos físicos espacializados na sub-bacia do Córrego do Yung apresentaram relação entre si, a textura argilosa relacionou-se à maior condutividade hidráulica, maior porosidade total e menor densidade do solo, em áreas mais estáveis. Também as áreas mapeadas com maior teor de silte foram localizadas nas áreas degradadas da bacia.

Os mapas temáticos das características do terreno também apresentaram relação entre si, nas áreas de solos mais profundos foram observadas áreas com menor declividade, e curvatura plana. Em contrapartida, nas encostas mais íngremes foram mapeados os maiores teores de silte, e, portanto, constatados os solos mais rasos.