



MAPEAMENTO DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO YUNG (JUIZ DE FORA-MG)

EVALUATION OF STABILITY INDEX IN YUNG'S WATERSHED (JUIZ DE FORA-MG)

Waltencir Menon Júnior

Departamento de Geociências-ICH-UFJF
Rua José Lourenço Kelmer, s/n
Campus Universitário, Bairro São Pedro
CEP: 36036-330 - Juiz de Fora – MG
E-mail: waltencirjunior@hotmail.com

Ricardo Tavares Zaidan

Departamento de Geociências-ICH-UFJF
Rua José Lourenço Kelmer, s/n
Campus Universitário, Bairro São Pedro
CEP: 36036-330 - Juiz de Fora – MG
E-mail: ricardo.zaidan@ufjf.edu.br

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
08/2016
Data de Aprovação:
10/2016

Resumo

Os movimentos de massa constituem uma das causas mais frequentes de perdas humanas e econômicas ao redor do mundo. A ameaça de ocorrência destes eventos tem sido objeto de estudo para diversos pesquisadores da comunidade científica. A partir deste interesse, a Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung – localizada na margem esquerda do Rio Paraibuna, situada no Município de Juiz de Fora, é uma das bacias que possui maior ocorrência destes processos físicos na cidade. Dentre as metodologias para previsão desse tipo de

ocorrência, o modelo SINMAP é direcionado para áreas susceptíveis à escorregamentos translacionais rasos. Na execução desse modelo na BHCY foi utilizado: Software ArcGIS; Módulo SINMAP 2.0; Topografia obtida através do MDE; Parâmetros geotécnicos e hidrológicos; pontos de cicatrizes dos escorregamentos. O resultado do mapa de Estabilidade de Encostas - onde estão presentes 6 classes de estabilidade – mostrou que na Bacia do Yung dentre os 19,40km² de área total, 45,95% 9,03km² possui parcial estabilidade ou plena estabilidade. 54,05%, ou 10,67km² do total são consideradas áreas de baixa, alta e altíssima instabilidade. Na porção sul ocorre a maior parte dos escorregamentos. Portanto, a utilização do modelo SINMAP comprovou ser uma ferramenta que auxilia, no estudo da dinâmica de movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung, tal modelo apresentou uma porcentagem considerável de acertos para área. E, apesar do tamanho do pixel utilizado (2m²) – limitado pelo modelo, isto não gerou qualquer problema na análise final dos dados.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung, Estabilidade de Encostas, SINMAP.

Abstract

Landslides are one of the most frequent causes of human and economic losses around the world. The threat of occurrence of these events has been studied for many researchers in the scientific community. From this interest, Yung's Watershed, located in Juiz de Fora city, is one of basins that have higher incidence of these physical processes in the city. Among the methodologies to predict this kind of occurrence, the SINMAP model is directed to areas susceptible to shallow translational landslides. In the implementation of this model in BHCY was used: ArcGIS; Module SINMAP 2.0; Topography obtained by MDE; geotechnical and hydrological parameters; points scars of landslides. The result of Slopes Stability map - where there are 6 stability classes - showed that the basin Yung among 19,40km² of total area, 45.95% 9,03km² has partial or full stability stability. 54.05%, or 10,67km² the total are considered areas of low, high and very high instability. In the southern portion occurs most landslides. Therefore, the use of SINMAP model proved to be a tool that helps in the study of dynamics of landslides in the Yung's Watershed, the model shows a considerable

percentage of correct answers for the area. And despite the size of the used pixel (2m²) - limited by the model, this does not cause any problem in the final data analysis.

Keywords: Yung's Watershed, Stability Index, SINMAP.

1. Introdução

Os movimentos de massa são processos naturais que constantemente ocorrem e remodelam a superfície terrestre. A ocorrência destes processos em encostas tem sido uma grande preocupação para a sociedade há muito tempo. Tais processos causam vários danos em estradas, pontes e casas, e, se ocorrerem rapidamente, podem causar perda de vidas humanas e causarem inúmeros prejuízos econômicos. Portanto, a identificação de áreas associadas aos movimentos de massa, constitui um importante componente geomorfológico na gestão de desastres e uma base importante para promover a ocupação humana de forma segura e a proteção ambiental das encostas (SCHEIDEGGER, 1984; REGMI et. al., 2010).

A ameaça de ocorrência destes eventos tem sido objeto de estudo para diversos pesquisadores da comunidade científica (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; ARISTIZÁBAL, et. al., 2010). No Brasil, grandes desastres estão associados aos movimentos de massa nas encostas, sendo que no domínio de "mares de morros", ocorrem fortes processos de erosão e de movimentos de massa em todo território brasileiro, devido à decomposição das rochas cristalinas, o que torna o meio físico complexo e difícil em relação às construções e ações humanas (FERNANDES & AMARAL, 1996; AB'SÁBER, 2012). As características inerentes aos escorregamentos são: intervalos de curta duração (de algumas horas, até poucos dias para o evento acontecer); dependem em grande parte de eventos climáticos extremos de curta duração (chuvas de grande pluviosidade), no caso dos Trópicos Úmidos; a saturação do solo - devido à acumulação de chuvas por vários dias no terreno o solo pode perder sua coesão interna - podendo provocar o rompimento do talude; abalos sísmicos, que podem afetar a ocorrência deste tipo de processo; e a atividade humana pode ser outro fator agravante, quando estabelecida em áreas desfavoráveis à instalação residencial e/ou industrial.

Diante disso, desde o final dos anos 1960 e início de 1970, estudos têm sido direcionados para o desenvolvimento de modelos capazes de prever mudanças de curto prazo nas formas de relevo. Na Geografia Física, a geomorfologia é uma das vertentes de estudo que tem mais se apropriado dessa forma de análise (HUGETT, 2007). Nesse sentido, as ferramentas para manipulação e análise de dados espaciais (ou seja, os Sistemas de Informação Geográfica, ou SIGs) facilitaram a aplicação de técnicas quantitativas em mapeamento de escorregamentos (GAPRINDASHVILI et. al., 2014).

Portanto, associado a crescente mudança da paisagem, tornou-se necessário a utilização de informações com maior detalhamento, e isso foi facilitado através da evolução dos sensores imageadores (MENON JÚNIOR, et. al., 2013). Uma das tecnologias utilizadas atualmente é o

LiDAR (Light Detection and Ranging), que tem sido utilizado para mapeamento topográfico de alta resolução e modelagem de superfície tridimensional, bem como estudos de infraestrutura (HEIDEMANN, 2014). Uma aplicação em que vem sendo empregada a utilização do LiDAR é através da previsão de ocorrência de escorregamentos. Dentre diversos modelos matemáticos utilizados no meio acadêmico, o SINMAP (Stability INdex MAPping - Mapeamento de índice de estabilidade), elaborado por Pack (2005) têm mostrado um grande acerto nos resultados obtidos.

O município de Juiz de Fora, inserido no contexto dos “mares de morros”, apresenta profundas transformações na paisagem relacionados aos processos de vertente. Dentre as 156 bacias hidrográficas que compõem a drenagem do município aquela que apresenta o maior número de ocorrência dos movimentos de massa na cidade é a Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung (BHCY), trata-se de uma área com importância considerável nos processos de Vertente (Erosão e Movimentos de Massa) dentro do município (PJF, 2004). Portanto, o objetivo desse trabalho foi mapear e validar o índice de estabilidade de encostas da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung a partir da utilização do modelo SINMAP.

2. Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung está localizada no Município de Juiz de Fora. É uma sub-bacia do Rio Paraibuna, que, por sua vez, pertence à bacia do rio Paraíba do Sul. A sua foz está localizada à margem esquerda no rio Paraibuna, na Região Leste deste município. Situada na região da Mantiqueira Setentrional, em específico na área das Serras da Zona da Mata Mineira, a BHCY faz parte do mosaico que compõe o domínio de “mares de morros” (PJF, op. cit.) (Figura 1).

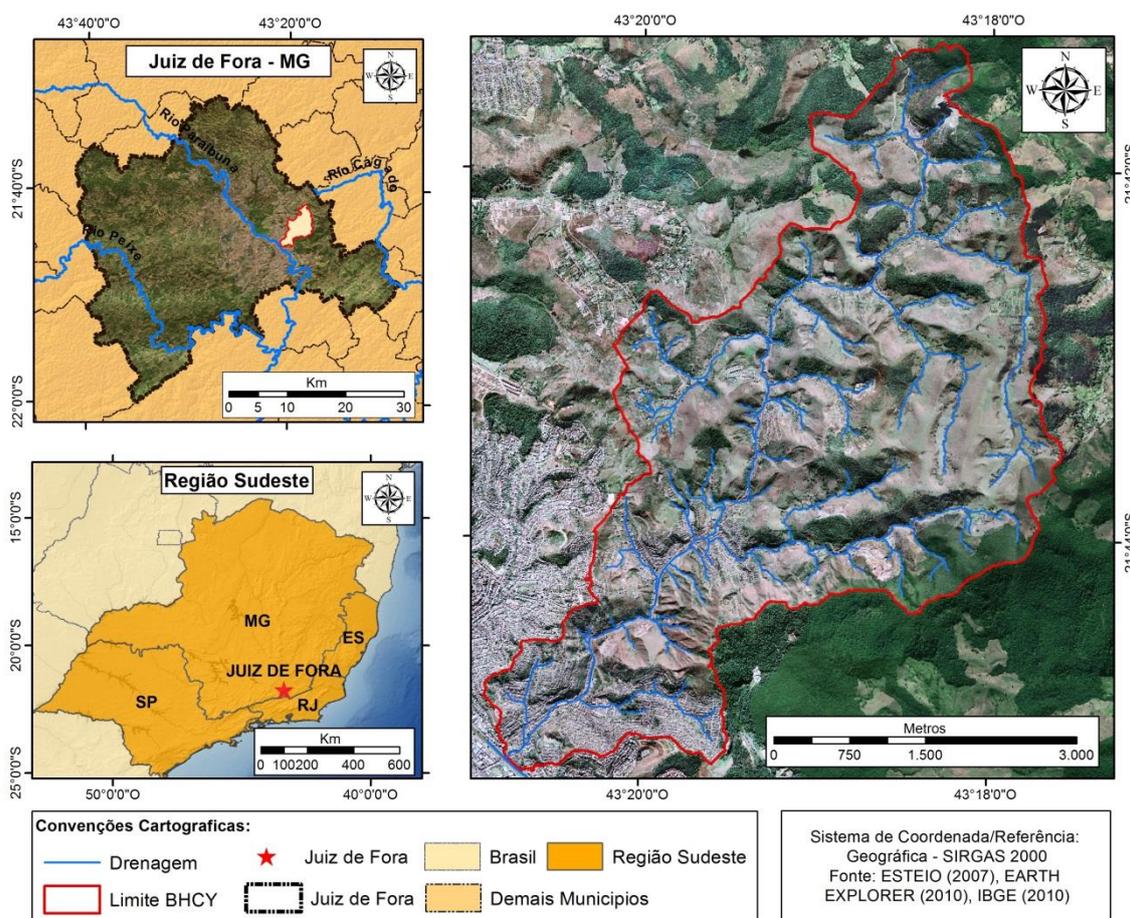


FIGURA 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung (Juiz de Fora – MG).

FONTE: Elaborado pelo próprio autor

Tal bacia possui uma morfologia bastante movimentada, com grande ocorrência de morros, morrotes, morros com encostas suavizadas e colinas, e suas elevações se caracterizam por topos arredondados e vertentes côncavo-convexas. As planícies apresentam largura variável, caráter descontínuo, além da contribuição de materiais oriundos dos transbordamentos dos canais e do domínio das vertentes (MENON JÚNIOR, 2014). O desnível altimétrico é de aproximadamente 380m, o ponto mais alto está situado na cota de 1050m e o ponto de menor elevação situado na cota de 677m, isso mostra o quanto o meio físico é difícil e complexo em relação às construções e ações humanas nesta área.

Portanto, é uma bacia que se constitui por elevada frequência de ocorrências de escorregamentos, processos de erosão (laminar e concentrada) e intervenções de caráter antrópico como: desmatamento voltado à pastagem, e/ou atividades relacionadas à agricultura familiar e extração mineral; corte e/ou aterro de encostas - feitos de forma indevida. Tal área possui um histórico de ocupação desordenado, sua ocupação e consolidação urbana ocorrem principalmente nas áreas de planície do córrego do Yung, expandindo-se em direção as encostas mais próximas, onde as declividades são mais acentuadas (PJF, op. cit.). O remanescente de vegetação existente é marcado por resquícios de Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012).

Na figura 2 é possível visualizar a BHCY de “frente”, ou seja, da porção à jusante em direção à montante. No ponto A está o limite extremo Norte da Bacia, que é a Pedra Redonda, onde está instalada a Pedreira Santo Cristo. O ponto B é um dos pontos mais elevados e faz parte dos divisores de água da porção Sudeste. O ponto C corresponde ao eixo principal da calha de drenagem da BHCY que deságua no ponto D, no encontro com o Rio Paraibuna.

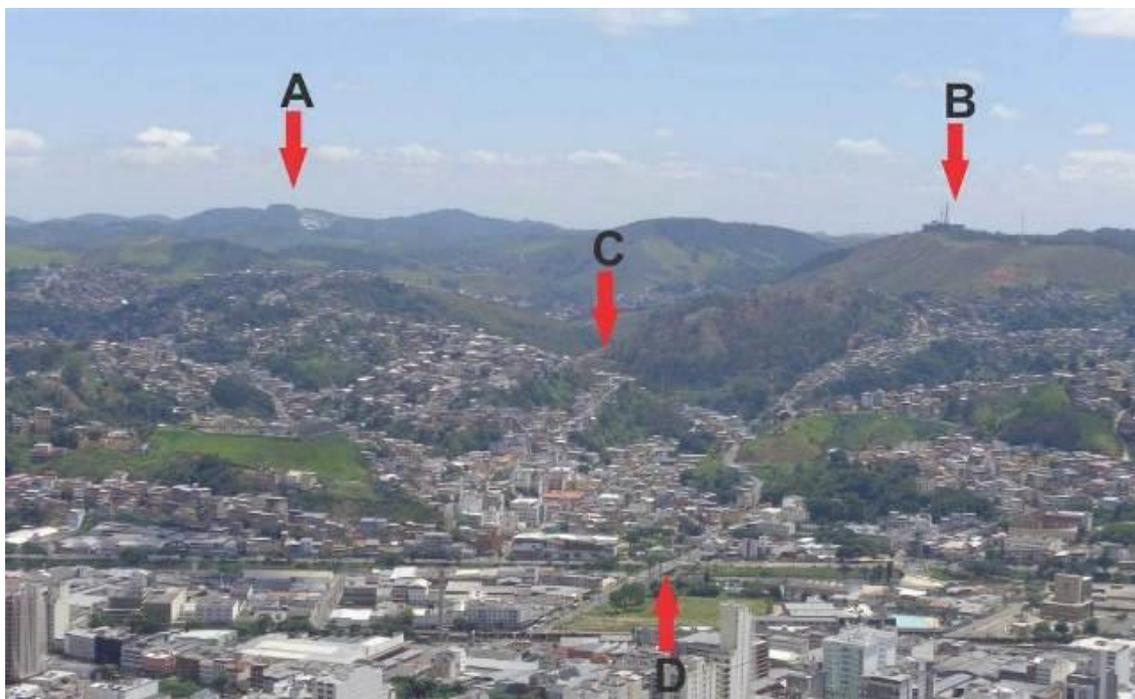


FIGURA 2: Vista Panorâmica da BHCY a partir do Mirante do Morro do Imperador.

FONTE: Acervo do autor

Conforme é possível ver na imagem da figura 2 a ocupação do solo na BHCY possui uma estrutura urbana consolidada e caracterizada por uma ocupação bastante adensada sobre uma malha viária estreita e curvilínea, em busca de menores declividades. As ocupações nas encostas íngremes configuram uma situação tão preocupante que fazem desta área uma parte prioritária para receber programas de prevenção, recuperação e estabilização de áreas de risco sujeitas a deslizamentos (PJF, 2004).

3. Materiais e Métodos

Nesta etapa do trabalho estão descritos os materiais e os métodos utilizados para a obtenção dos resultados, ou seja, cada item a seguir visa: mostrar a preparação e processamento dos dados - além das técnicas utilizadas (aplicação do Geoprocessamento para o tratamento e integração dos dados), apresentar os materiais utilizados (Elaboração do Modelo Digital de Elevação e Declividade, Parâmetros de Entrada do Modelo SINMAP, e as Cicatrizes de Escorregamento da área de estudo).

3.1 Preparação e Processamento de Dados

Durante a execução do trabalho, tanto para a preparação quanto para a apresentação dos dados foi utilizado o software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014), pois combina um ambiente necessário para inserção, edição, manipulação e análise dos mapas. Além disso, no bojo de sua estrutura, possui uma interface que permite a execução do modelo SINMAP através do módulo para ArcGIS, o SINMAP 2.0, ou seja, consegue abarcar as diversas informações, modelos, e processamentos necessários ao estudo em questão (geração do MDE e Mapa de Estabilidade de Encostas).

O módulo SINMAP 2.0 é gratuito, e pode ser obtido pelo sítio eletrônico da Universidade do Estado de Utah (<http://hydrology.usu.edu/sinmap2/>). Através desse módulo foi possível trabalhar com o modelo SINMAP em ambiente GIS. Portanto, permite que o modelo trabalhe o MDE – modelo digital de elevação, onde são obtidas as variáveis topográficas, declividade e demais informações referentes ao modelo, além disso, permite a inserção dos parâmetros necessários a calibração e validação do modelo. A qualidade destas informações depende da escala do mapeamento básico utilizado. O índice de estabilidade (IE) é calculado para cada célula (pixel) separadamente.

A figura 3 apresenta o fluxograma de funcionamento do módulo SINMAP 2.0. Para a operacionalização do módulo é necessário que sejam inseridos os parâmetros da área de estudo, já levantados previamente. Tais dados se dividem em: Topográficos (Modelo Digital de Elevação, Ângulo da Encosta e a Área de Contribuição da Bacia), e Propriedades Físicas do Solo (Transmissividade, Coesão, Espessura e Densidade). Após esta etapa, o módulo fará o processamento dos dados e compilará os mapas de: Declividade, Área de Contribuição, Saturação Hídrica e, Estabilidade de Encostas.

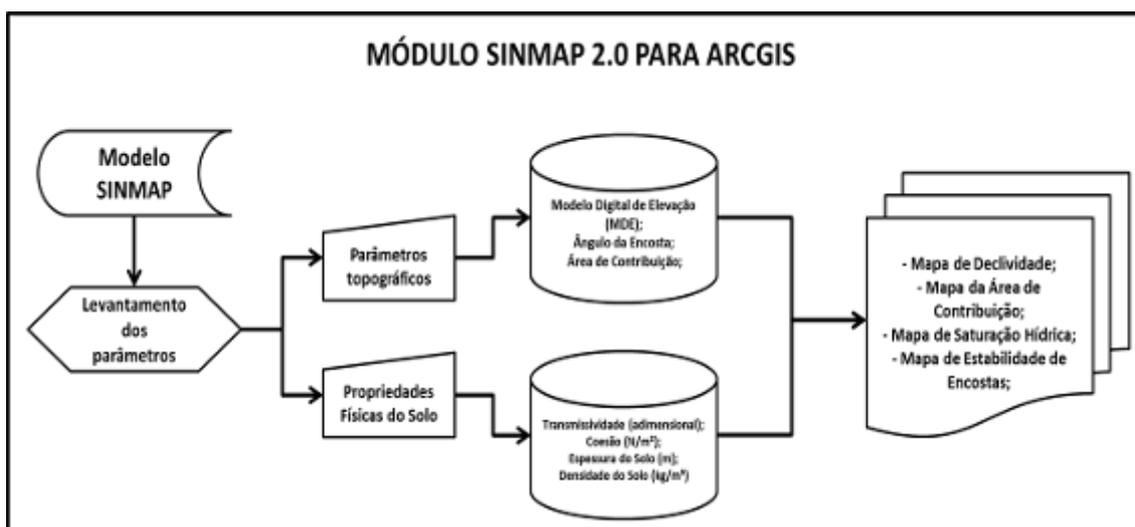


FIGURA 3: Fluxograma de Funcionamento do Módulo SINMAP 2.0

FONTE: Elaborado pelo próprio autor

3.2.1 Elaboração do Modelo Digital de Elevação e Declividade

O Modelo Digital de Elevação (MDE) necessário para a elaboração do mapa de declividade foi gerado a partir da interpolação das curvas de nível obtidas através do modelo topográfico de perfilhamento à Laser - Light Detection and Ranging (LiDAR), tal material foi gerado pela empresa ESTEIO no ano de 2007 e constitui o levantamento topográfico mais recente para o município de Juiz de Fora (ESTEIO, 2007).

As curvas de nível estão disponíveis com equidistância de 1 (um) metro, o passo para a interpolação foi feito através do SIG ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014), utilizando a ferramenta disponível no ArcToolbox: Spatial Analyst > Interpolação > Topo para Raster (figura 4A e 4B), no intervalo de coordenadas 670500/670000E e 7593000/7602000S - sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), referenciado em SIRGAS 2000/23S, tal material cedido pela Defesa Civil/PJF.

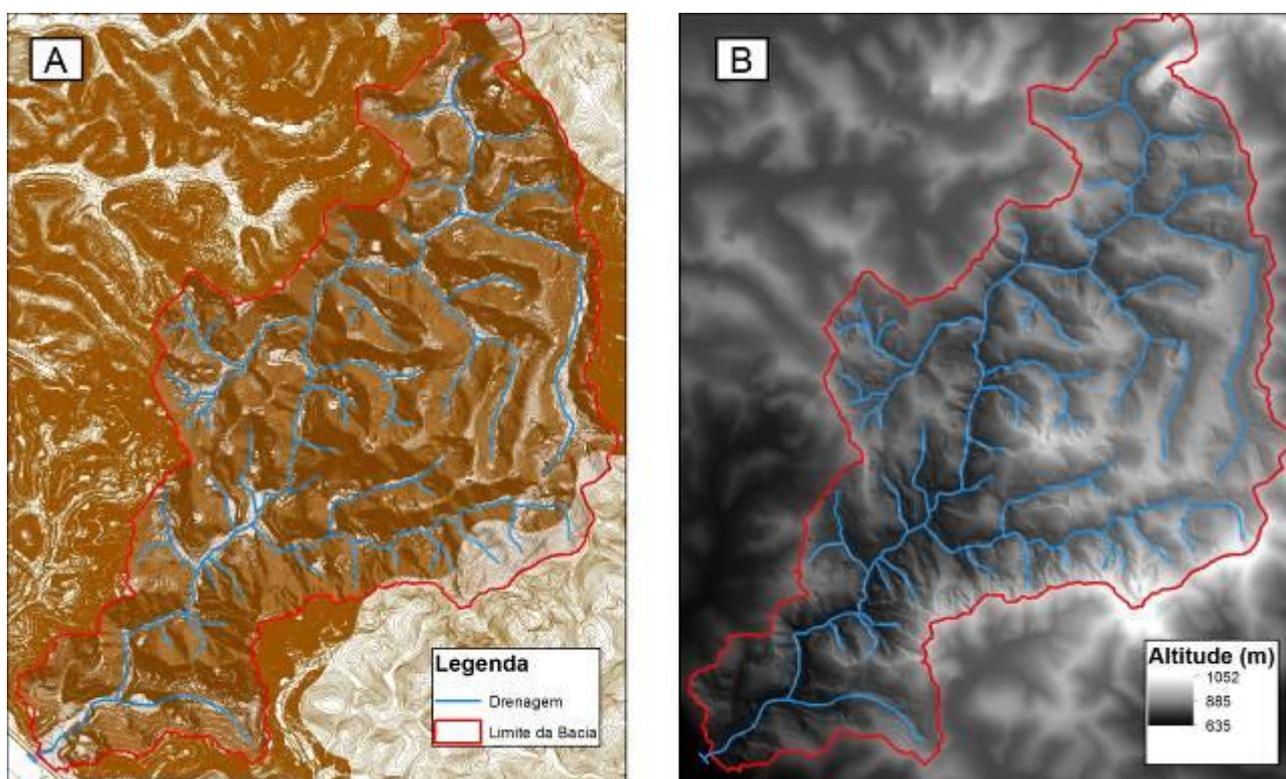


FIGURA 4: Etapas para geração do modelo digital de elevação: Imagem A, curvas de nível (marrom) e drenagem (azul) utilizados para a interpolação; imagem B, o modelo digital de elevação gerado a partir da interpolação dos dados.

FONTE: ESTEIO, 2007.

3.2.2 Parâmetros de Entrada do Modelo SINMAP

O SINMAP está relacionado a fatores hidrológicos e a fatores relacionados à fragilidade do solo (coesão, ângulo de atrito do solo, densidade do solo e da água), teve que ser alimentado por parâmetros de entrada relacionados à precipitação da região, ao tipo de solo e ao relevo. Condicionado às características da área de estudo como o clima, utilizou-se dados pluviométricos dos dias 29 e 30/11/2015, referentes à série de dados disponíveis no INMET para o ano de 2015 e

Revista de Geografia – PPGeo - UFJF. Juiz de Fora, v.6, n.2, (Jul-Dez) p.125-143, 2016.

considerados os dias mais críticos em termo de precipitação, totalizando um total de 101,4mm de chuva acumulados (INMET, 2015).

Os parâmetros relacionados aos solos (Ângulo de atrito, coesão adimensional, densidade do solo) foram condicionados a valores encontrados em pesquisas feitas na área de estudo, a qual se mostrou a compatibilização do tipo de solo, os quais tiveram resultados satisfatórios e adequados para a inserção nesta pesquisa, isso porque são os solos predominantes nas áreas de encostas íngremes onde ocorrem a maior parte dos processos de escorregamentos. Neste caso, para a validação efetiva do mapeamento de estabilidade de encostas foram inseridos valores de parâmetros relacionados ao Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico, CXbd (FONSECA et al., 2016), isso porque este é o solo predominante nas encostas mais declivosas.

No quadro 1, estão os parâmetros para o cálculo do Índice de Estabilidade exigidos na calibração, simulação e validação do modelo, e concomitante, os valores tabelados, a partir das referências consultadas para a execução do trabalho:

QUADRO 1

Parâmetros de entrada utilizados no modelo SINMAP

Parâmetros do SINMAP	Valores:		Referências utilizadas
Linha de umidade do SA Plot (%)	20		Definido pelo autor
Número de pontos no AS Plot	1000		Definido pelo autor
Densidade da água (Kg/m ³)	1000		Constante universal
Ângulo de atrito interno do solo (°)	Mínimo	Máximo	Fonseca et. al. (2016)
	29	33	
C = Coesão adimensional	Mínimo	Máximo	Fonseca et. al. (2016)
	0,143	0,714	
ps = densidade do solo (kg/m ³)	1400 (Valor médio)		Fonseca et. al. (2016)
g = aceleração da gravidade (m/s ²)	9,81		Constante universal
T/R (m)	Mínimo	Máximo	Fonseca et al. (2016); INMET (2015)
	1,5	350	

3.2.3 Cicatrizes de Escorregamentos

Para a validação da análise das ocorrências de movimentos de massa na BHCY, foi necessário recorrer aos pontos referentes aos locais onde ocorreram os escorregamentos (pontos de cicatrizes). Diante disso, é imprescindível buscar esses dados no trabalho de Faria (2013) e, a partir das atualizações, inserir as novas ocorrências destes processos.

Abaixo estão descritos os tipos de escorregamentos encontrados (quanto a sua origem) BHCY e no gráfico da figura 5 estão representadas as quantidades e proporcionalidades dos escorregamentos encontrados.

- Duvidoso: Há dúvida se o escorregamento tem origem natural, ou se é causado por origem antrópica;
- Induzido: É o tipo de escorregamento que tem sua origem devido a interferências de ações humanas (por exemplo: corte de talude provocando um deslocamento do material que está na parte superior da encosta);
- Natural: É o tipo de escorregamento que possui sua origem a partir de causas naturais, ou seja, aquelas dadas por descontinuidade do material, saturação hídrica do solo e etc.

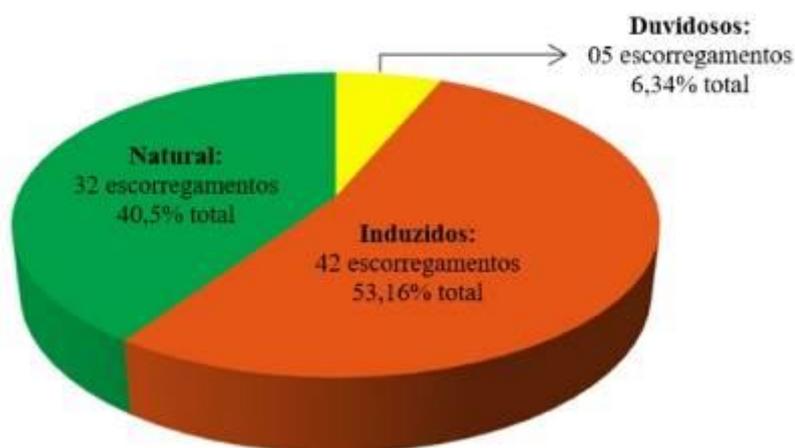


FIGURA 5: Proporcionalidade de Escorregamentos na BHCY

Tais processos foram divididos nestas três classes ao serem analisados em campo e através de imagens aéreas dos locais onde ocorrem os escorregamentos. Isso porque os tipos (quanto à origem) Naturais e Induzidos são nítidos quando visualizados destas duas formas (em campo e imagem aérea), porém os duvidosos podem ter sido “mascarados” por ação antrópica e/ou serem escorregamentos anteriores à ocupação urbana na área.

4. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos visam apresentar as características dos processos de escorregamentos correlacionados ao índice de estabilidade de encostas para a BHCY. Nele são discutidas as características gerais dos processos (causas e consequências) e possíveis interferências para o ambiente.

4.1 Índice de Estabilidade de Encostas na BHCY

A partir do resultado final da análise do modelo SINMAP, foi gerado o mapa de estabilidade de encostas. Nele, de acordo com a metodologia proposta por Pack (1998), estão presentes as 6 classes de estabilidade (Figura 6), que, de acordo com a tabela 1, parte da menos

estável até a mais estável, são elas: Estável, Moderadamente Estável, Pouco Estável, Pouco Instável, Moderadamente Instável e Instável. As três primeiras citadas correspondem as classes de maior estabilidade, porém nas três últimas são designadas aquelas de maior instabilidade. Portanto, a seguir estão os valores tabelados, e o respectivo mapa de instabilidade correspondente.

TABELA 1

Classes de Estabilidade e suas respectivas áreas de abrangência (km² e %) e total de cicatrizes
 Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Classes	Área (km ²)	Área (%)	Número de Cicatrizes
Estável	5,34	27,15	1
Moderadamente Estável	1,43	7,25	0
Pouco Estável	2,26	11,55	0
Parcial de Classes de Estabilidade	9,03	45,95	1
Pouco Instável	9,24	46,8	25
Moderadamente Instável	1,40	7,1	53
Instável	0,03	0,15	0
Parcial de Classes de Instabilidade	10,67	54,05	78
Total Geral	19,7	100	79

A partir da análise dos dados da tabela 1 e do mapa da figura 6, destaca-se que 45,95% da área total da bacia, ou 9,03km², possui parcial estabilidade ou plena estabilidade, de acordo com o modelo, sendo que 27,15% ou 5,34km² da área total da bacia corresponde à áreas de completa estabilidade (Stable), onde foi encontrada uma cicatriz de escorregamento, referente à cortes de taludes de origem antrópica.

Diante disso, a área cai drasticamente para a classe moderadamente estável (Moderately Stable), sendo apenas 7,25% ou 1,43km² da área total, onde não foram encontradas qualquer cicatriz de escorregamento. No que tange as áreas Pouco Estáveis (Quasi-Stable), passa para 11,55% ou 2,26km² da área total da Bacia do Yung, nesta classe também não foram encontradas qualquer cicatriz de escorregamento.

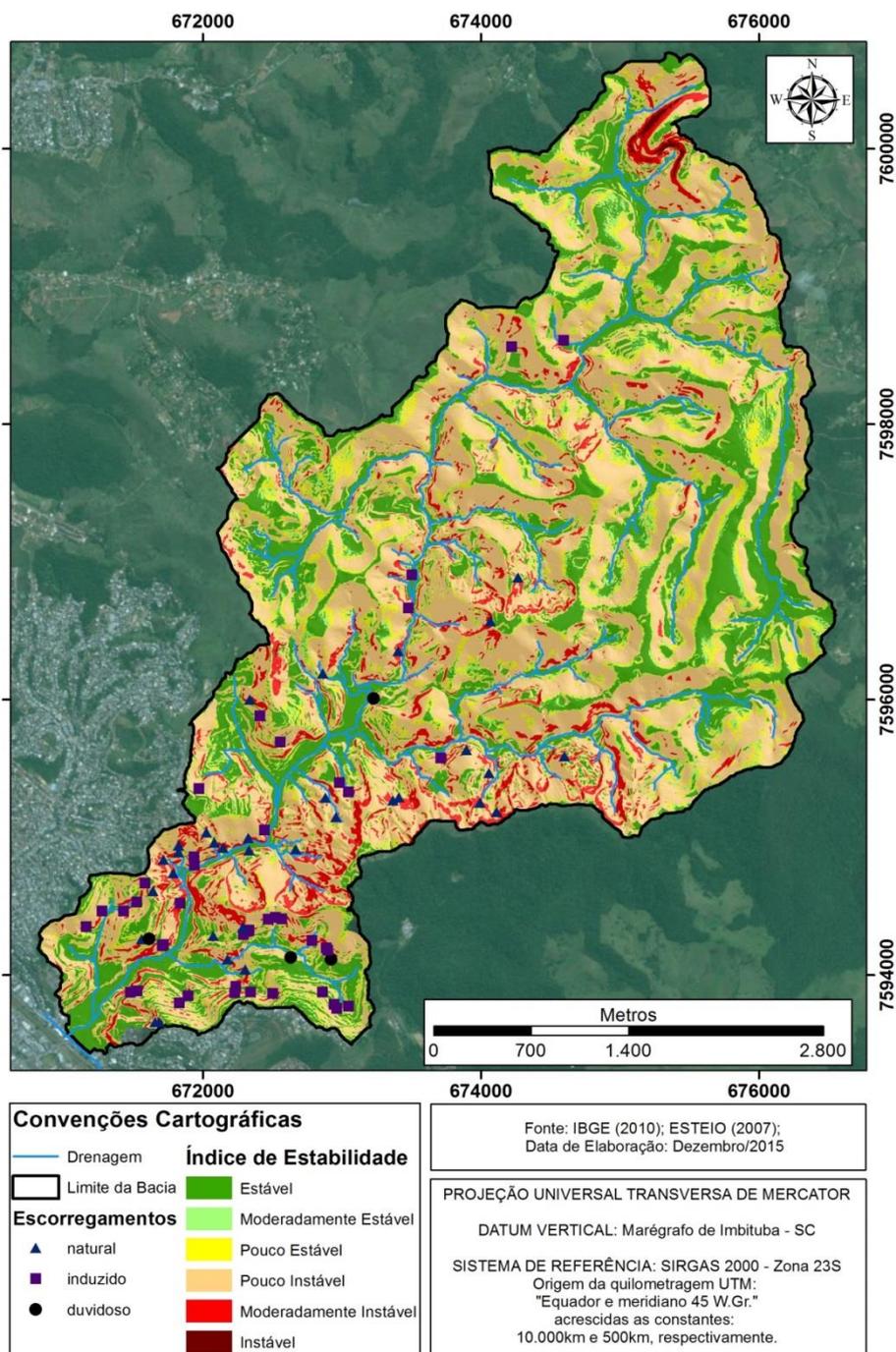


FIGURA 6: Mapa de Estabilidade de Encostas da Bacia do Yung
FONTE: Elaborado pelo próprio autor

Diante dos dados, pouco mais de 54% da área da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung ou 10,67km² do total são consideradas áreas de baixa, alta e altíssima instabilidade, segundo o modelo SINMAP. Desse total de áreas instáveis 46,8% ou 9,24km² estão no limiar inferior de instabilidade (Pouco Instável – ou Lower Threshold), significando que o número de cicatrizes de escorregamentos situados nesta classe foram o total de vinte e cinco (25), que são de origem induzida, ou seja, além do fator de instabilidade, a ocupação urbana afetou na indução deste processo. Isso gira em torno de uma cicatriz de escorregamento a cada 0,37km² da classe Pouco Instável. Diante disso, os valores do limiar superior de instabilidade (Moderadamente Instável – ou

Upper Threshold) são de 7,1% da área total da bacia, ou 1,4km² respectivamente, na qual cinquenta e três (53) cicatrizes de escorregamentos foram classificadas neste índice e são de origem duvidosa, ou seja, pode ser um evento causado tanto pela instabilidade natural da área, quanto à própria ocupação urbana no local. Isso gira em torno de uma cicatriz de escorregamento a cada 0,03km² da classe Moderadamente Instável. O percentual de 0,15% corresponde a área de completa instabilidade (Instável - ou Defended) da bacia do Yung, isso gira em torno de 0,03km² da área total. Nesta é importante ressaltar que não foi encontrada quaisquer cicatrizes de escorregamentos.

Em geral, isto indica que não é somente a questão do material e os processos envolvidos que causam os movimentos de massa na bacia, o fator antrópico é considerável neste aspecto, pois das setenta e nove (79) cicatrizes encontradas, quarenta e duas (42) são induzidas (53,15% do total encontrado). Portanto, associados às áreas de instabilidade é somado a grande quantidade de ocupações residenciais irregulares, as quais possibilitam que estes eventos de movimentos de massa se tornem cada vez mais recorrentes.

Na figura 7 é mostrado o gráfico gerado a partir do resultado do modelo de validação do SINMAP para a BHCY, nele é feita uma relação entre a área de contribuição (Contributing Area) e a declividade (Slope) da bacia. O gráfico apresenta uma nuvem de pontos aleatórios (Random Points) juntamente com os pontos mapeados das cicatrizes de escorregamento (Landslide Points) distribuídos ao longo das curvas de saturação (Saturated, Unsaturated e Wetness) e de índice de estabilidade (SI).

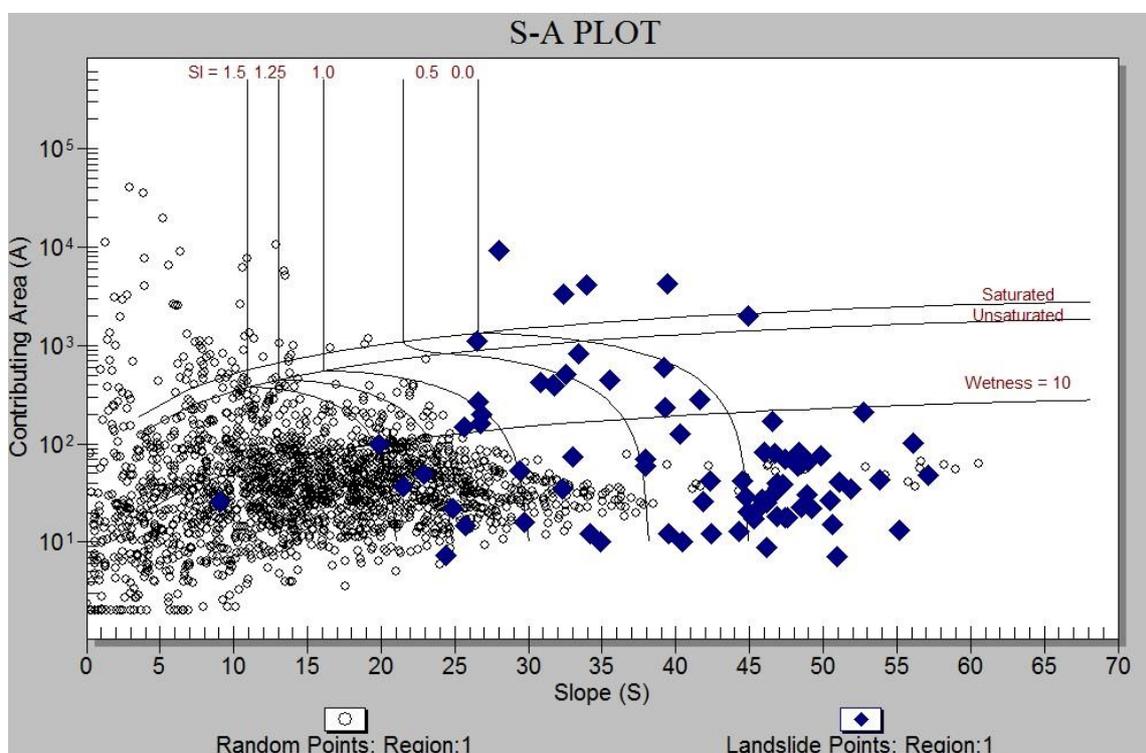


FIGURA 7: Gráfico de dispersão representando a Área de Contribuição (Contributing area) versus Declividade (Slope) com as cicatrizes mapeadas (azul) e pontos aleatórios (preto).

Interpretando os dados do gráfico é possível perceber que parte considerável dos escorregamentos ocorre em intervalos de declividade superiores a 30° atingindo até cerca de 58° , ou seja, em locais com declividades mais acentuadas. Além disso, a maior parte desses processos ocorre em condição de pouca umidade (Wetness), índice de estabilidade (SI) inferior à 1.25 e área de contribuição inferior à 100m^2 . Isso reflete que não é necessária uma precipitação volumosa para a deflagração dos escorregamentos nas encostas e que o fator topográfico é um importante desencadeador para a ocorrência dos mesmos.

Nota-se que os escorregamentos presentes nas condições insaturada (Unsaturated) e saturada (Saturated) ocorrem principalmente devido à elevação do fator de umidade e ao aumento na área de contribuição, variando entre 100 e 10000m^2 . Em geral, as parcelas de áreas mais instáveis correspondem aquelas onde a declividade é maior do que nas demais áreas. Na figura 8 há uma área específica onde ocorre a maior parte dos escorregamentos, tal área está localizada na porção ao sul da Bacia.

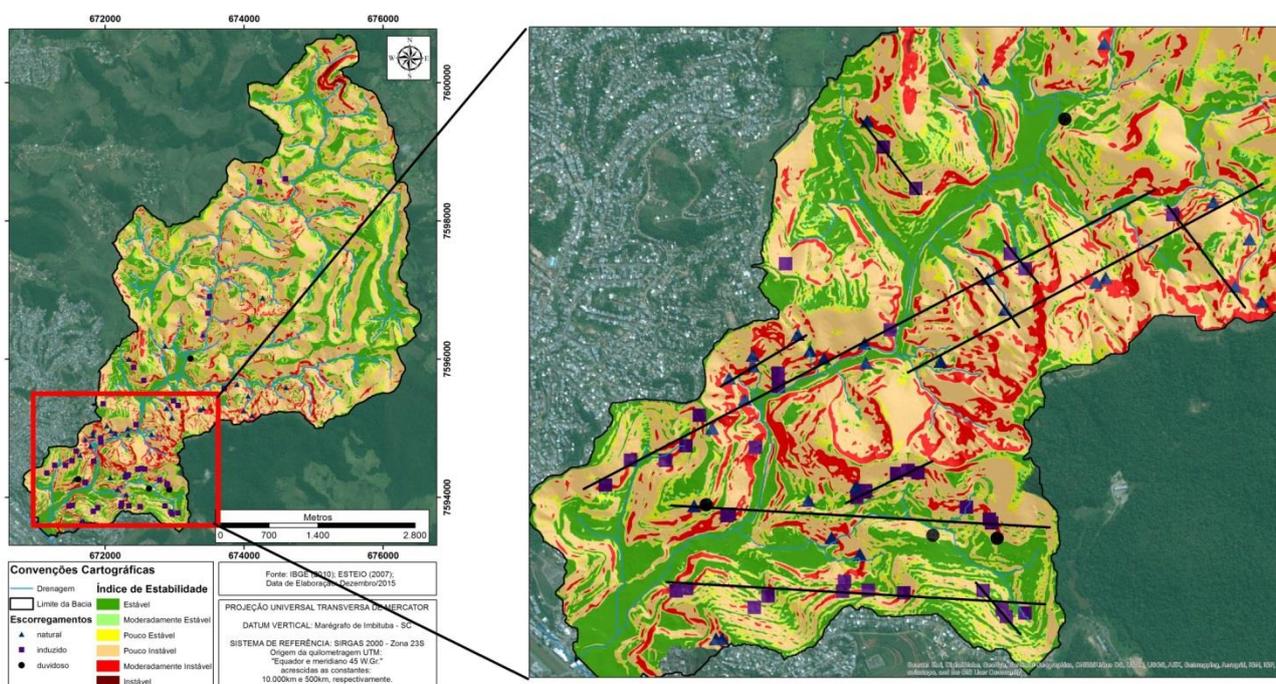


FIGURA 8: Área de Concentração de Cicatrizes na BHCY

Nesta área há uma zona de contato litológico transcorrente entre litotipos presentes na BHCY (MENON JUNIOR, 2016), e esses contatos formam um eixo transversal com os principais lineamentos apresentado na figura 8, ou seja, pode-se considerar que há uma possível ação de caráter interno (estrutura interna das litologias), associado com a dinâmica externa (ação do intemperismo químico) retrabalhando a paisagem. Esse retrabalhamento pode estar provocando um recuo das vertentes juntamente com o alargamento da planície nos arredores (Figura 9A e B), pois ao visualizar a figura 8 é possível notar que há concentração de escorregamentos associados às classes de maior instabilidade das encostas.



FIGURA 9: Exemplo de recuo das vertentes (A). Visualização da vertente anterior em outro ângulo, mostrando alguns processos erosivos e de movimentação de massa (B) - Indicações com as setas em vermelho.

FONTE: Acervo do autor

Nas imagens apresentadas nas Figuras 9A e B podemos notar que as encostas sofrem agressivos processos de desgaste, provocando escorregamentos de dimensões consideráveis, isso sem contar que nesta área encontram-se cerca de 60 cicatrizes escorregamentos (aproximadamente 75% total encontrado na bacia inteira) sendo que todos estão em áreas baixa a alta instabilidade (Pouco Instável e Moderadamente Instável). Portanto, é possível incluir que esta área tem um potencial considerável a esse tipo de processo, onde tal poderia ser considerada uma área de maior risco na Bacia do Yung. Além disso, o desnível altimétrico é bastante incisivo nesta porção da bacia – cotas que superam os 950m de altitude, esta mesma área possui declividades superiores à 30%, evidenciando uma grande susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa nessa região. As demais áreas com potencial instável estão localizadas em áreas situadas próximas ao canal principal e afluentes que desaguam diretamente na drenagem principais (vertentes íngremes, que denunciam o recuo das mesmas em função da energia do relevo), onde também se concentra a ocupação urbana (Figuras 10 e 11).



FIGURA 10: Ocupações de Imóveis em áreas de alta instabilidade à instáveis.
FONTE: Acervo do autor



FIGURA 11: Forte entalhamento do canal fluvial, mostrando o grande potencial de suavização das vertentes, e possíveis ocorrências de movimentos de massa na BHCY.
FONTE: Acervo do autor

Diante disso, ao verificar os quase 46% de áreas de estabilidade (Estável, Moderadamente Estável e Pouco Estável), foi possível identificar que grande parte destas classes estão situadas em áreas de planície de inundação da BHCY – suavizadas pelos processos de coluvionamento do

material que se deslocou vertente abaixo e deposição de material no leito do canal fluvial. A maior parte destas áreas possuem até 30% de declividade, evidenciando que o substrato (solo e/ou rocha) estão bem consolidados, ou seja, a estabilidade do terreno não permite que ocorra, com facilidade, qualquer movimentação e possível deslocamento vertente abaixo, mesmo que a maioria das vertentes estejam desprovidas de cobertura vegetal mais proeminente.

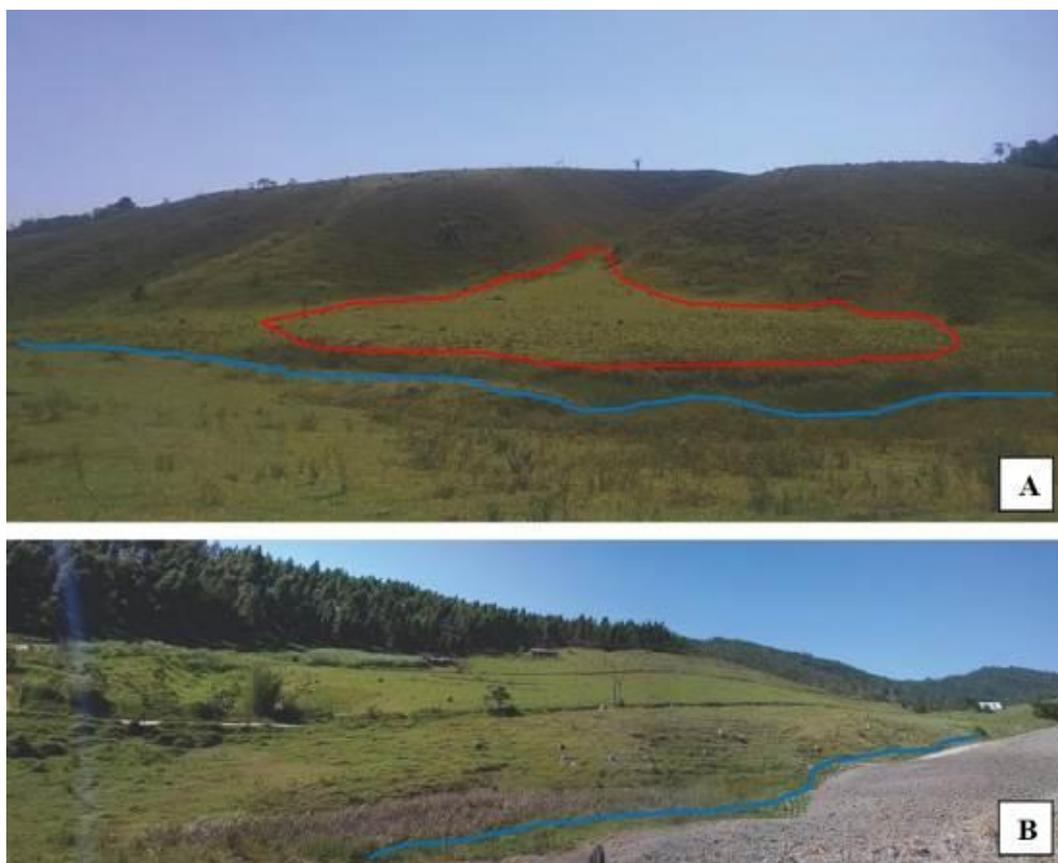


FIGURA 12: Imagens referente as porções Estáveis, Moderadamente Estáveis e Pouco Estáveis apontadas pelo modelo SINMAP, (A) e (B). Linha azul é referente à drenagem e o vermelho à deposição em leque.

FONTE: Acervo do autor

Na figura 12A é mostrado um segmento de planície com morrotes ao fundo, é notável a estabilidade do material ao longo das margens, devido ao manejo dos solos próximos à encosta. A deposição pretérita do material em leque denuncia um estágio de diminuição da energia do relevo, o qual deposita o seu material ao longo das margens próximas ao canal e o córrego não consegue transportar o mesmo, por isso a ocorrência de vertentes próximas estarem mais suavizadas. A Figura 12B apresenta a mesma configuração da figura anterior, ela é uma porção à montante do mesmo canal, nesta imagem é possível perceber ainda que o ambiente possui uma redução química do seu material (em função da coloração acinzentada vista em campo), denunciando a saturação por água em períodos mais chuvosos.

5. Conclusões

Em relação ao panorama apresentado da estabilidade das encostas, considera-se que a utilização do modelo SINMAP se mostra uma ferramenta capaz de auxiliar, no estudo da dinâmica de movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung, ou seja, bacias de pequeno porte. No que diz respeito à consistência dos dados geotécnicos e hidrológicos, é considerável a importância com dados calibrados da área, isso porque em trabalho anterior Menon Júnior (2014) já havia obtido um resultado satisfatório para área com dados ainda não calibrados, neste caso 86% das cicatrizes se enquadraram em classes de instabilidade, agora o acerto chega aos 98%.

Apesar da limitação de resolução espacial para a operação do modelo SINMAP - o qual somente permite uma entrada de um MDE de 7000x7000 pixels, ou seja, não foi possível trabalhar com pixel de 1m (1m² de área), isso não gerou quaisquer problemas na manipulação e interpretação dos dados. Portanto, mesmo trabalhando com um pixel de 2m - 4m² de área, nota-se que isso não gerou qualquer problema na análise final dos dados de estabilidade e muito menos do risco na BHCY.

O mapa de estabilidade possibilitou compreender os locais com maiores susceptibilidades à ocorrência de movimentos de massa na Bacia do Yung e estimar quais são as áreas mais propensas a esse tipo de evento. É notório o papel da declividade sobre as forças de cisalhamento do terreno, além dos solos espessos da região, sem considerar que em períodos chuvosos há o somatório destas diversas forças.

As sugestões de possíveis ações a fim de minimizar os riscos de processos perigosos com os escorregamentos podem ser as obras de contenção de encostas - eficientes enquanto medidas de curto prazo - podem ser as principais medidas tomadas para redução do risco de acidentes associados a escorregamentos onde existe um risco instalado e/ou iminente. Porém, existe outro fator é que essas obras nunca serão suficientes para atender a todos os pontos de risco, pois os escorregamentos de pequeno volume ocorrem espalhados em diversos pontos da BHCY.

Nesse sentido, é importante que sejam implantadas medidas de caráter estrutural e não estrutural de longo prazo, ou seja, o impedimento de ocupação e uso da terra através das leis ou a remoção de moradias que estejam situadas em áreas de risco extremamente elevado. A adoção de medidas de longo prazo para a redução de risco de escorregamentos não é simples, pois há alguns fatores que devem ser levados em consideração, como: Falta de decisão política para fazer valerem os documentos legislativos e garantir a ocupação ordenada das encostas; Persistência do desconhecimento de grande parte do público sobre as medidas técnicas e seus aspectos positivos.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora (PPGEO-UFJF), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) pela concessão de bolsa de Mestrado, que auxiliou na execução deste projeto.

Referências

- AB'SÁBER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. 7ªed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012. 158p.
- ARISTIZÁBAL, E.; MARTÍNEZ, H.; VÉLEZ, J. I. Una Revisión Sobre El Estudio De Movimientos En Masa Detonados Por Lluvias. **Rev. Acad. Colomb. Cienc**, v. 24, n.131, 2010. p.209-227.
- ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10.2.2**. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, 2014.
- ESTEIO-S/A. **Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Juiz de Fora**. Curitiba: ESTEIO S/A, 2007. (1:2000).
- FARIA, R. L. **Zoneamento da Susceptibilidade à Ocorrência de Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.
- FERNANDES, N. F. e AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Ed.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro 1996. p.123-194.
- FONSECA, L. M. D.; LANI, J. L.; FERNANDES FILHO E. I.; MARQUES, E. A. G.; FERREIRA, W. P. M. Avaliação da Erodibilidade de um Cambissolo de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Geotecnica**, n.136, março 2016. p. 143-156
- GAPRINDASHVILI, G.; GUO, J.; DAORUEANG, P; XIN, T.; RAHIMY, P. A New Statistic Approach towards Landslide Hazard Risk Assessment. **International Journal of Geosciences**, v.5, 2014. p. 38-49
- HEIDEMANN, H.K. **Lidar Base Specification**. U.S. Geological Survey book 11, chap. B4, 67p, 2014.
- HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook - A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129 p.
- HUGETT, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. 2ª ed. New York: Routledge, 2007. 466p.
- IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira/** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 275p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTUxOA==. Acesso em: 27/12/2015.
- MENON JÚNIOR, W. **Movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung – Juiz de Fora/MG: Interpretações a partir da utilização do modelo SINMAP**. Monografia de conclusão de curso (Graduação em Geografia). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.
- _____. **Evolução Temporal das Áreas de Risco à Ocorrência de Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung – Juiz de Fora/MG entre 1968 e 2010**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.
- MENON JÚNIOR, W.; MOURA, A. B. A. P.; FARIA, R. L.; Z AidAN R.T: Utilização De Imagens Aster Como Auxílio Na Aplicação De Modelos Hidrológicos De Perdas De Solo. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 de abril a 18 de abril de 2013, p. 5299-5306 (meio digital)**.

PACK, R. T.; TARBOTON, D. G.; GOODWIN, C. N. "**The SINMAP Approach to Terrain Stability Mapping**" Paper Submitted to 8th Congress of the International Association of Engineering Geology, Vancouver, British Columbia, Canada 21-25 September 1998.

PACK, R. T., TARBOTON D. G., GOODWIN C. N., PRASAD, A. "**SINMAP user's manual**", 2005.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. **Plano Diretor de Desenvolvimento de Juiz de Fora** - Diagnóstico. Juiz de Fora, 2004.

REGMI, N. R.; GIARDINO, J. R.; VITEK, J. D. Assessing susceptibility to landslides: Using models to understand observed changes in slopes. **Geomorphology**, v.122, 2010. p. 25-38.

SCHEIDEGGER, A. E. A review of recent work on mass movements on slopes and on rock falls. **Earth-Science Reviews**, v.21, 1984 p. 225-249.