

ZONEAMENTO MUNICIPAL DO PERCENTUAL DE ALTA E ALTÍSSIMA SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS NOS MUNICÍPIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAIBUNA – MG-RJ

Rosana Lino de Faria¹
Deborah Gomes de Oliveira²
Ricardo Tavares Zaidan³

RESUMO

Os escorregamentos são eventos de ordem natural, ou induzida, que fazem parte da dinâmica externa de modelagem da superfície terrestre. O estudo do seu comportamento e da previsão desses eventos pode minimizar o risco para a população e seus patrimônios. Dessa forma, este trabalho busca criar um Zoneamento Municipal do Percentual de Alta e Altíssima Susceptibilidade a Ocorrência de Escorregamentos nos Municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna – MG/RJ, auxiliado pela aplicação de um modelo matemático determinístico SHALSTAB, como parte integrante de um projeto mais abrangente, o Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Paraibuna.

Palavras-chave: Movimentos de Massa. Geoprocessamento. Rio Paraibuna.

INTRODUÇÃO

Os desastres naturais são responsáveis, atualmente, por grandes problemas socioeconômicos no mundo. Os terremotos, as inundações e os movimentos de massa são exemplos de fenômenos naturais que mais causam prejuízos e mortes em todo o mundo (ONU, 1993). A solução para os escorregamentos, um dos tipos de movimentos de massa, é um dos desafios da atualidade impostos aos pesquisadores, planejadores e administradores públicos, pois esses fenômenos podem afetar regiões onde estão localizadas cidades, redes de infraestrutura (oleodutos, gasodutos, estradas e linhas de transmissões) e complexos industriais (GUIMARÃES et al., 2008).

1 Bolsista PIBIC/CNPq

2 Bolsista BIC/UFJF

3 Professor Orientador - Departamento de Geociências, Instituto de Ciências Humanas, UFJF, e-mail: ricardo.zaidan@ufjf.edu.br. Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geociências, Campus Universitário, s/nº, CEP 36036-900, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil

Os escorregamentos e demais processos gravitacionais fazem parte do conjunto de movimentos de massa integrados à dinâmica natural das encostas. Assim, a mudança de forma dessas encostas está relacionada aos processos dominantes de intemperismo, erosão e escorregamentos (INFANTI JR. e FORNASARI FILHO, 2004).

De acordo com Guidicini e Nieble (1984), Selby (1993), entre outros, os movimentos de massa são processos que envolvem uma massa ou um volume de solo e/ou rocha que se deslocam em conjunto, configurando um dos maiores processos de evolução e de desenvolvimento de encostas, especialmente em regiões íngremes. Dessa forma, pode ser considerado movimento de massa todo e qualquer movimento coletivo de materiais terrosos e/ou rochosos, independente da diversidade dos processos, causas, velocidades, formas e demais características, incluindo a gravidade (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

Dentre as várias formas e processos de movimentos de massa, destacam-se os escorregamentos nas encostas em função de sua grande e persistente interferência com as atividades do homem, da extrema variância de sua escala, da complexidade de causas e mecanismos, além da variabilidade de materiais envolvidos (FERNANDES e AMARAL, 2009).

Diversas metodologias vêm sendo desenvolvidas para a previsão de ocorrência dos movimentos de massa como, por exemplo, as baseadas em inventários de escorregamentos, em que sua distribuição no campo sugere futuros padrões de instabilidade do relevo (AMARAL, 1996; GONÇALVES e GUERRA, 2001; AMARAL e FEIJÓ, 2004; ZAIDAN, 2009), e aquelas baseadas em análises estatísticas de correlação entre as áreas deslizadas e atributos morfológicos e uso do solo (CARRARA, 1983; CARRARA et al., 1991; GAO, 1993). Outras metodologias elaboram seus mapas, a partir da combinação de diversos planos de informação (por exemplo, litologia, declividade, uso do solo, cobertura vegetal), em que pesos ou notas são atribuídos para cada plano de informação, determinando seu grau de importância para a ocorrência de escorregamentos (GOMES, 2002; XAVIER-DA-SILVA e CARVALHO-FILHO, 1993; MOREIRA, 1999; XAVIER-DA-SILVA, 2001).

Existem ainda as metodologias baseadas em modelos matemáticos desenvolvidos em bases físicas, ou seja, modelos baseados nas leis físicas da natureza (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994; FERNANDES et al., 2001). Desenvolvidos em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) os resultados que esses modelos apresentam estão relacionados aos processos naturais vinculados ao fenômeno estudado, não permitindo às técnicas do SIG o poder de decisão das áreas susceptíveis à ocorrência dos escorregamentos.

Neste estudo, adotou-se o método da modelagem matemática através do modelo SHALSTAB, nos municípios da Bacia do Rio Paraibuna, localizados nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, por apresentarem diversas áreas com registros de movimentos de massa.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi criar um Zoneamento Municipal do Percentual de Alta e Altíssima Susceptibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nos Municípios da Bacia Hidrográfica do Paraibuna – MG/RJ.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado nos municípios localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna MG-RJ, em uma escala de trabalho de 1:250000. A escolha dessa escala foi necessária dada a extensão da área de estudo, 8.593 km².

Para o Zoneamento Municipal do Percentual de Alta e Altíssima Susceptibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas da Bacia do Paraibuna – MG/RJ foram necessários os dados de

elevação da bacia, os cálculos de área de contribuição, declividade e o cálculo da susceptibilidade a escorregamentos. Para a obtenção dos dados de elevação da bacia foram utilizadas quatro imagens SRTM disponíveis no site da EMBRAPA (SF-23-X-C, SF-23-X-D, SF-23-Z-A e SF-23-Z-B) no sistema UTM, referenciado no DATUM SAD-1969 (*South American Datum*) – Zona 23S. O processamento dessas imagens foi realizado através do *software* ERDAS IMAGINE. Para o cálculo da área de contribuição e declividade, foi utilizado o modelo SHALSTAB em ambiente ArcView 3.3. Os resultados obtidos foram o cálculo da área de drenagem para cada célula da grade (*grid*) e a porcentagem da média local da encosta para cada célula da grade.

Para a obtenção do cálculo da susceptibilidade a escorregamentos, foi calculada a proporção da precipitação efetiva q (chuva menos evapotranspiração) para a transmissividade T (capacidade da superfície do terreno em transmitir água encosta abaixo), ou a proporção q/T para toda a paisagem, utilizando o modelo SHALSTAB. Para esse cálculo foram utilizados os dados de elevação, a área de contribuição e a declividade. Os parâmetros geotécnicos adotados foram a densidade do solo (1700 kg/m^3 – densidade aproximada da maior parte do solo da bacia) e ângulo de fricção do solo de 45° (valor sugerido pelo *software*). Para esse cálculo não foi considerado o fator coesão do solo.

O produto gerado a partir desses dados foi o Zoneamento de Susceptibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nos Municípios da Bacia do Rio Paraíba. O resultado foi apresentado, a partir de 7 classes de instabilidade, determinadas pelo modelo SHALSTAB, sendo: Incondicionalmente Instável e Saturado – Altíssima Instabilidade, Incondicionalmente Instável e Não-Saturado – Alta Instabilidade, Instável e Saturado – Média Alta Instabilidade, Instável e Não-Saturado – Média Instabilidade, Estável e Não-Saturado – Média-Baixa Instabilidade, Incondicionalmente Estável e Não-Saturado – Baixa Instabilidade, Incondicionalmente Estável e Saturado – Baixíssima Instabilidade.

Neste estudo, foi destacada a classe Incondicionalmente Instável e Saturado - Altíssima Instabilidade e Incondicionalmente Instável e Não-Saturado – Alta Instabilidade por entendermos que, nessas áreas, há maior probabilidade de ocorrência de escorregamentos. Por corresponderem a pequenas porções ao longo da bacia, as classes Alta e Altíssima Instabilidade foram realçadas através de pontos na cor vermelha, uma vez que na escala de visualização que abrangeria a bacia na sua totalidade, não seria possível determinar a sua localização.

A partir da calculadora raster no *ArcGis*, foram calculados os valores de cada área de instabilidade. Para isso foi utilizado o campo contagem, que determina o número de células de cada classe e o valor de cada célula em metros (8105 m^2). Em seguida, foi feito um gráfico do percentual de alta e altíssima susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, nos municípios da Bacia do Rio Paraíba, a partir da relação entre suas áreas (m^2), dentro da bacia e classes de instabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Bacia do Paraíba é composta por 37 municípios e, desse total, 18 apresentaram as classes Incondicionalmente Instável e Saturado - Altíssima Instabilidade e Incondicionalmente Instável e Não-Saturado – Alta Instabilidade. São eles: Belmiro Braga, Bocaina de Minas, Bom Jardim de Minas, Chiador, Itatiaia, Juiz de Fora, Lima Duarte, Olaria, Paraíba do Sul, Quatis, Rio Preto, Santana do Deserto, Santa Bárbara do Monte Verde, Santa Rita de Jacutinga, Bias Fortes, Comendador Levy Gasparian, Valença, Passa Vinte. Os 19 municípios restantes apresentaram apenas as classes Média Instabilidade a Baixíssima Instabilidade (Fig.1).

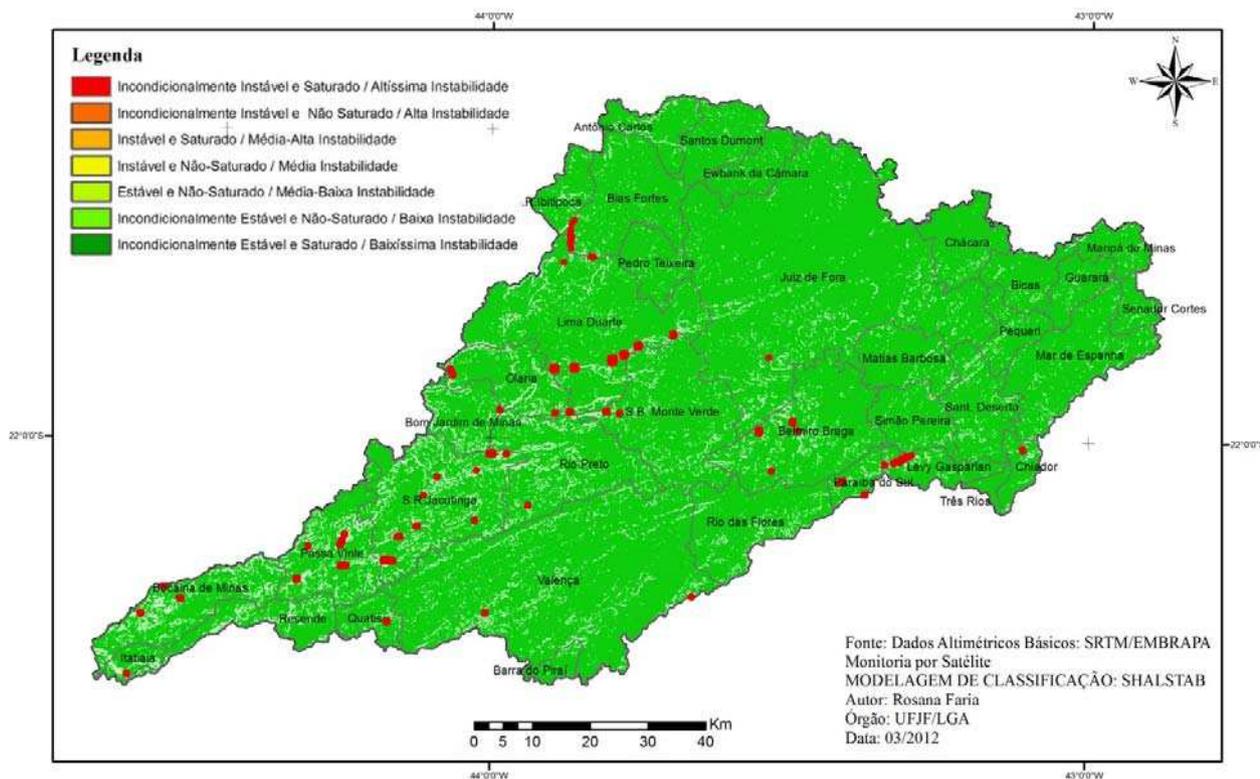


Figura 1 - Representação do Mapa de Susceptibilidade a Escorregamentos nos Municípios da Bacia do Rio Paraibuna com destaque para as áreas de Altíssima Instabilidade

Os resultados apresentados a seguir são referentes ao Zoneamento Municipal do Percentual de Alta e Altíssima Susceptibilidade à Ocorrência de Escorregamentos, nos Municípios da Bacia do Paraibuna – MG/RJ (Fig.2). Esse zoneamento foi gerado a partir dos dados obtidos no mapeamento de susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos, nos Municípios da Bacia do Paraibuna, onde priorizaram-se as classes de Alta e Altíssima Instabilidade por serem áreas onde os movimentos de massa têm maior probabilidade de ocorrência.

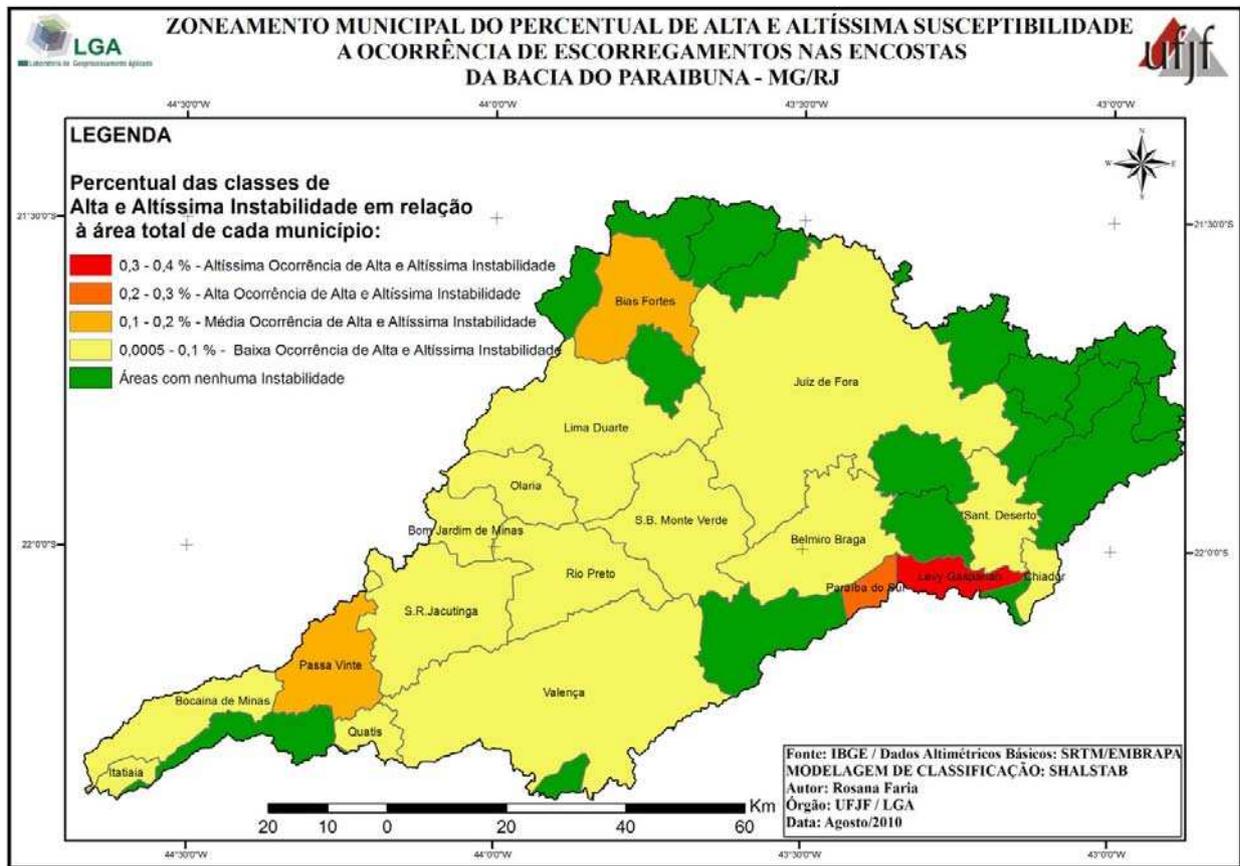


Figura 2 - Representação do Mapa do Percentual das Classes de Alta e Altíssima Susceptibilidade à Ocorrência de Escorregamentos na Bacia do Paraibuna

A partir da figura 2, é possível afirmar que o município que possui o maior percentual de áreas correspondentes às classes de alta e altíssima instabilidade (0,3 – 0,4% - Altíssima Instabilidade) em relação à sua área dentro da Bacia do Paraibuna é o Município de Comendador Levy Gasparian, localizado na porção leste da bacia. A segunda maior área das classes citadas (0,2 – 0,3% Alta Instabilidade) corresponde ao Município de Paraíba do Sul, localizado também na porção leste da Bacia do Paraibuna; no entanto, ressalta-se que a área do município que foi analisada corresponde apenas à área pertencente à Bacia do Paraibuna. A terceira maior área das classes de alta e altíssima instabilidade, que corresponde a 0,1 – 0,2% - Média Instabilidade, envolve o Município de Bias Fortes, na porção norte da Bacia do Paraibuna (incluindo toda a área municipal) e o município de Passa Vinte, na porção sudoeste (apenas a parte do município que pertence à Bacia do Paraibuna). A última classe abordada no mapa refere-se às áreas que variam entre 0,0005 – 0,1% (Baixa Instabilidade) das áreas totais dos municípios, o que engloba os municípios de Itatiaia, Bocaina de Minas, Quatis, Valença, Santa Rita de Jacutinga, Rio Preto, Bom Jardim de Minas, Santa Bárbara do Monte Verde, Olaria, Lima Duarte, Belmiro Braga, Juiz de Fora, Santana do Deserto e Chiador.

Para os demais municípios da Bacia do Paraibuna não foram encontradas as classes de alta e altíssima instabilidade por isso, foram agrupados nas classes de baixa a média instabilidade.

Na figura 3, são mostrados os valores percentuais para todos os 18 municípios que apresentaram as classes alta e altíssima instabilidade. Desse modo, é possível afirmar que o Município de Com. Levy Gasparian possui a maior área classificada como alta e altíssima instabilidade (0,4 % da área

pertencente à Bacia do Paraibuna) e que o Município de Juiz de Fora possui a menor área encontrada, cerca de 0,001% da sua área total.

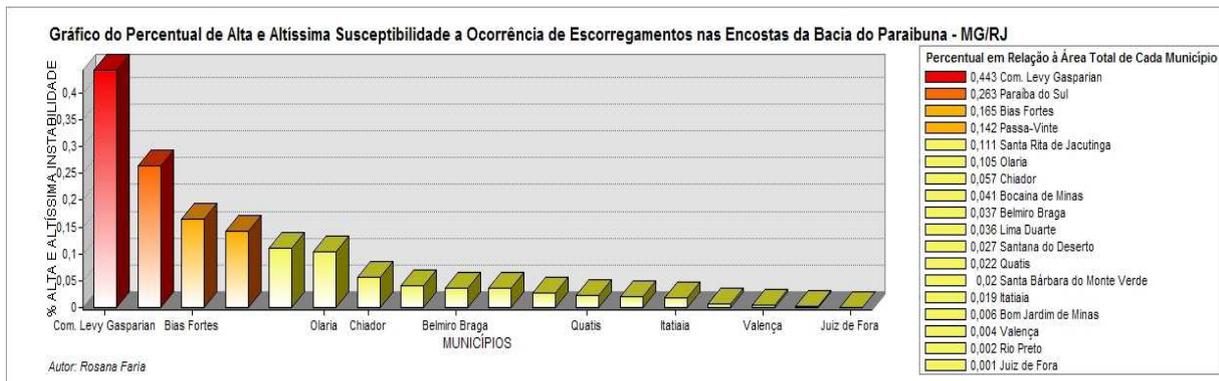


Figura 3 - Percentual das Classes Alta e Altíssima para os 18 municípios da Bacia do Paraibuna

Deve-se ressaltar que os percentuais de áreas de alta e altíssima instabilidade apresentados foram calculados, considerando-se a área do município pertencente à Bacia do Paraibuna. Por isso, deve ser levada em consideração a proporção entre o percentual de áreas de alta e altíssima instabilidade e a área do município, uma vez que, existem municípios com áreas bem maiores que outros, como o caso dos Municípios de Juiz de Fora e Com. Levy Gasparian.

CONCLUSÃO

A utilização do modelo matemático SHALSTAB associado aos sistemas de informações geográficas demonstrou ser uma ferramenta de simples manipulação para o zoneamento de áreas susceptíveis a escorregamentos, possibilitando determinar áreas no relevo com graus de susceptibilidade a escorregamentos variados.

A escolha da escala cartográfica de análise (1:250000) foi essencial para o estudo de toda a área da Bacia do Paraibuna o que subsidiará futuros estudos de detalhe de cada uma dessas áreas de Alta e Altíssima Instabilidade.

Em relação aos 37 municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna, 18 apresentaram áreas de Alta e Altíssima Instabilidade, são eles: Bias Fortes, Lima Duarte, Santa Bárbara do Monte Verde, Juiz de Fora, Belmiro Braga, Rio Preto, Olaria, Bom Jardim de Minas, Santa Rita de Jacutinga, Passa Vinte, Quatis, Bocaina de Minas, Itatiaia, Valença, Paraíba do Sul, Comendador Levy Gasparian, Chiador e Santana do Deserto. Em relação ao Zoneamento do Percentual das classes Alta e Altíssima Instabilidade foi concluído que o município de Com. Levy Gasparian possui a maior área das classes alta e altíssima instabilidade na porção pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna.

Por fim, conclui-se que este estudo poderá subsidiar estudos de maior detalhe para a Bacia do Paraibuna uma vez que define as áreas de Alta e Altíssima Instabilidade e suas características principais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora, ao CNPq e à Universidade Federal de Juiz de Fora por acreditar na importância deste projeto.

ZONING OF THE PERCENTAGE OF HIGH AND VERY HIGH SUSCEPTIBILITY TO THE OCCURRENCE OF LANDSLIDINGS IN TOWNS OF HYDROGRAPHIC BASIN OF PARAIBUNA RIVER

ABSTRACT

Landslides are natural or induced environmental events that participate in the external dynamics of the Earth's surface. The study of the behavior and prediction of these events can minimize risk to the population and its belongings. Thus, this work seeks to create a town zoning of the percentage of high and very high susceptibility to the occurrence of landslides in towns of hydrographic basin of Paraibuna river, aided by a deterministic mathematical model called SHALSTAB, as part of a broader research project, the Environmental Assessment of Paraibuna River Basin. .

Keywords: Mass Movements. GIS. Rio Paraibuna.

REFERÊNCIAS

AMARAL, C. P. D. *Escorregamentos no Rio de Janeiro: inventário, condicionantes e redução do risco*. 262 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

AMARAL, C.; FEIJÓ, R.L. Aspectos ambientais dos escorregamentos em áreas urbanas. In: VITTE, A.C. e GUERRA, A.J.T. (Ed.). *Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 193-224.

CARRARA, A. Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Mathematical Geology*, v.15, n.3, p. 403-426, 1983.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENCAH, P. Gis Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.16, n. 5, p. 427-445, 1991.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, F. A. T.; VIEIRA, B. C. MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação do modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, n.1, p. 51-71, 2001.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 123-194.

GAO, J. Identification of Topographic Settings Conductive to Landsliding from DEM. *Earth Surface Processes and Landforms*. Nelson Country, Virgínia, U.S.A. v. 18, p. 579 – 591, 1993.

GOMES, R.A.T. *Condicionantes geomorfológicos e o efeito da escala cartográfica na previsão de áreas críticas a deslizamentos*. 2002. 109 f. Dissertação (Mestrado) -Departamento de Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis - Rio de Janeiro. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. D. (Ed.). *Impactos ambientais urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001. p. 189-252.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

GUIMARÃES, R. F. Movimentos de massa. In: *Geomorfologia : conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.159-184.

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE, 2004. p.131-152.

MONTGOMERY, D. R. e DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, v. 30, n. 4, p. 1153-1171, 1994.

MOREIRA, I.C. *Avaliação das áreas de risco ambientais urbanos do vale do Quitite – Jacarepaguá – RJ*. 1999. 49 f. (Monografia) - Departamento de Geociências, UFRRJ, Rio de Janeiro, 1999.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Working party on world landslide inventory. *Bulleting of the IAEG*, v. 41, p. 5-12, 1993.

SELBY, M. J. *Hillslope materials and processes*. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1993. p. 451.

XAVIER-DA-SILVA, J. ; CARVALHO-FILHO, L. M. *Sistema de informação geográfica: uma proposta metodológica*. In: IV CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. São Paulo: EDUSP, 1993. p. 609-628.

XAVIER-DA-SILVA, J. *Geoprocessamento para análise ambiental*. Rio de Janeiro: sn, 2001. 228p.

ZAIDAN, R.T. Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego do Independência – Juiz de Fora/MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 10, n. 2, p. 57-76, 2009.