

Avaliação da suscetibilidade a escorregamentos rasos na bacia da Ultrafértil, na Serra do Mar (Cubatão) por meio da aplicação do modelo SINMAP

Nery, T.D. (CEMADEN) ; Vieira, B.C. (USP)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a suscetibilidade dos escorregamentos rasos na bacia da Ultrafértil (SP) por meio da aplicação do modelo SINMAP. Os parâmetros topográficos e geotécnicos foram retirados, respectivamente, do MDT (resolução de 2m) e dos trabalhos já realizados na área. O modelo previu que 90% dos escorregamentos estão em classes instáveis (instável, limiar superior e limiar inferior), tendo a classe LI com o maior percentual de área e concentração de escorregamentos.

PALAVRAS CHAVES

Serra do Mar; escorregamentos rasos; SINMAP

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the susceptibility of shallow landslides at Ultrafértil basin (SP) by the SINMAP model. The geotechnical and topographical parameters have been obtained, respectively, by the MDT (2 m resolution) and by the studies in the area. The model predicted that 90% of landslides are in unstable classes (unstable, upper threshold and lower threshold), having the class lower threshold with the highest percentage of area and landslides concentration.

KEYWORDS

Serra do Mar; Shallow landslides; SINMAP

INTRODUÇÃO

Os modelos matemáticos são ferramentas muito úteis na previsão de áreas instáveis a escorregamentos rasos em áreas com difícil acesso como, por exemplo, as regiões serranas. No Brasil, inúmeros trabalhos vêm empregando diferentes modelos para prever a suscetibilidade (Gomes et al, 2008; Guimarães et al, 2009; Vestena, 2009; Lopes et al, 2010 Michel et al, 2010). A Serra do Mar é uma região onde os escorregamentos rasos são os processos mais comuns e que por muitas vezes, causam danos irreparáveis. No contexto do município de Cubatão, a Serra do Mar é sustentada por rochas ígneas e metamórficas (Hassui et al, 1994), encostas com amplitudes entre 750 a 850 m e com formatos retilíneo e convexo (IPT, 1986). Os solos apresentam comportamentos distintos, caracterizando camadas menos espessas (1 a 2 m) nas partes mais elevadas (Wolle e Carvalho, 1989) e camadas mais espessas nas seções suaves do relevo (Rossi e Queiroz Neto, 2001). Por muitas vezes os locais de deflagração destes processos são inacessíveis e, conseqüentemente, muitos estudos são realizados aplicando métodos indiretos seja por meio da correlação entre escorregamento e precipitação (Tatizana et al, 1987, Tavares et al, 2005) ou utilizando os modelos matemáticos (Lopes, 2007, Vieira et al, 2010). Porém, mesmo com tais dificuldades, os poucos dados na literatura sobre as propriedades físicas dos materiais vêm permitindo a melhor calibração dos modelos utilizados. Portanto, é objetivo desta pesquisa avaliar a suscetibilidade dos escorregamentos rasos de na bacia da Ultrafértil por meio da aplicação do modelo SINMAP. O modelo SINMAP (Pack et al, 1998) fundamenta-se nos modelos de estabilidade de encosta e hidrológico que auxiliam na identificação de áreas instáveis. Os mecanismos de avaliação do modelo partem do emprego do MDT e da inserção de dados do meio físico. Desta combinação de parâmetros é derivado o Índice de estabilidade (IE) definido como a probabilidade de um local ser estável.

MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo desta pesquisa alguns procedimentos foram estabelecidos: escolha do modelo matemático SINMAP; mapeamento dos escorregamentos; elaboração do Modelo Digital de Terreno e obtenção de dados pluviométricos, geotécnicos e hidrológicos. As cicatrizes foram mapeadas utilizando-se de ortofotos, em escala 1:25000, com resolução de 0,5 metros (INPE) e foram representadas em formato ponto. Os parâmetros topográficos do modelo foram obtidos pelo MDT com resolução de 2 m elaborado a partir de cartas topográficas digitalizadas em escala 1:10000 com equidistância de 5 m por meio da ferramenta Topo to Raster. Os dados geotécnicos e hidrológicos foram compilados de trabalhos realizados na Serra do Mar em áreas onde houve ou apresentaram potencial de ocorrência de movimentos de massa. As propriedades físicas dos solos foram obtidas de Wolle e Carvalho (1994); que por meio de ensaios em laboratório buscaram compreender a dinâmica de ocorrências dos escorregamentos na Serra do Mar, em Cubatão; Amaral Junior (2007) propôs um mapeamento geotécnico na região serrana de Costa Verde, Rio de Janeiro e; Mendes (2008) que estudou áreas caracterizadas por atividades de mineração e que atualmente são afetadas por processos erosivos. As informações a respeito da coesão das raízes (Cr) foram extraídas de Guimarães (2000) que se baseou em estudos realizados por Vieira et al (1998) sobre o papel da vegetação nos movimentos de massa. A variável T, que corresponde a transmissividade na razão T/R, foi obtida pelo trabalho de Carvalho (1989) que se propôs estudar o papel da infiltração da água na deflagração dos escorregamentos na Serra do Mar (SP). Os dados pluviométricos foram obtidos no Banco de Dados do SIRGH - DAEE e serviram para compor a variável R da razão T/R. A partir daí, foi proposto o seguinte cenário de suscetibilidade: razão T/R (mín.: 68; máx.: 213), Coesão (mín.: 0,06; máx.: 0,83) e Densidade (1350 kg/m³).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia da Ultrafértil, com 2,5 km², concentrou 216 cicatrizes de escorregamentos ocorridos em 1985. O modelo apontou que a bacia da Ultrafértil (Figura 1) possui grande instabilidade identificando 90% dos escorregamentos abaixo da condição limitante (1), ou seja, valor que separa as classes estáveis (estável, moderadamente estável e quase estável) das classes instáveis (instável, limiar superior e limiar inferior). Tal resultado mostra-se condizente com aqueles observados por Wolle e Pedrosa (1981), que encontraram 78% dos escorregamentos em solos superficiais ou coluvionares na Serra do Mar ocorrendo nestas condições, ou seja, com FS < 1. Os escorregamentos na bacia da Ultrafértil ocorreram em encostas com ângulos superiores a 30°, concentrados, em maior parte, no intervalo de 40° a 50° (Figura 2A). Os resultados mostraram que as classes instáveis representam 90% da área da bacia, tendo a classe limiar inferior com o maior percentual (71%). As áreas estáveis representam apenas 10% da área da bacia, com os maiores valores de área para as classes estável e quase estável (apenas 4%) (Figura 2B). Os escorregamentos se concentraram, em sua maior parte, na classe limiar inferior (155 cicatrizes). Contudo, a maior densidade de escorregamento está associada à classe limiar superior (Figura 2C). Pack et al (2001) aplicaram o modelo SINMAP na região de Kilpala, no Canadá, e registraram 65 escorregamentos. Deste total, 64 foram associados às classes instáveis e, assim como na bacia da Ultrafértil, apenas 1 escorregamento foi associado às classes estáveis. A classe instável para Kilpala concentrou 45 escorregamentos e para a bacia da Ultrafértil nenhum processo foi identificado para esta mesma classe. Segundo Pack et al (2001), estes escorregamentos ocorreram em áreas de substrato rochoso intemperizados, assim como, toda a área classificada como instável, o que de fato não ocorreu na Ultrafértil, visto que, somente a classe instável está associada aos paredões rochosos. As demais classes estão associadas às zonas com materiais predisponentes ao movimento. Lopes et al (2007) em estudos realizados na bacia do Rio da Onça, Cubatão (SP) aplicaram o modelo SINMAP e verificaram que 286 estão associadas às classes instáveis. Assim como na bacia da Ultrafértil, a classe limiar inferior, que representa as margens de incertezas do modelo, concentrou 46% dos escorregamentos para o ano de 1985. As classes estáveis representaram 37% da bacia do Rio da Onça, 27% a mais daqueles encontrados para a bacia da Ultrafértil. Verificou-se que 55 escorregamentos foram associados para esta classe na bacia do Rio da Onça e apenas 1 para a Ultrafértil. Contudo, o modelo conseguiu prever a maior parte dos escorregamentos abaixo de 1 para ambas as bacias (Ultrafértil, 90% e Rio da Onça, 63%). Aplicando o modelo SINMAP na região de Santa Giuletta (Itália), Meisina e Scarabelli (2007), verificaram que o modelo conseguiu prever 78% dos 44 escorregamentos para as classes instáveis, sendo 47%

associado à classe limiar superior. A classe limiar superior representou 25% da área, aproximadamente 20% a mais do que esta classe representou para a bacia da Ultrafértil. Observa-se que a ocorrência desta classe para a bacia da Ultrafértil está associada a ângulos de 40° a 50° e para Santa Giuletta, aos ângulos de 34°. Ttal análise mostra um importante fator topográfico na ocorrência destes processos em ambas as áreas. Em relação à densidade de escorregamento (Figura 2C), observou-se que a classe limiar superior apresentou o maior valor. Deb e El-Kadi (2009), em estudos realizados em 4 regiões de Oahu (Hawaii), observaram que as classes instáveis (limiar inferior e limiar superior) apresentaram os maiores valores de densidade para estas regiões. Assim como observado em Meisina e Scarabelli (2007), os escorregamentos em Oahu ocorreram em encostas acima de 30° e as áreas instáveis, limiar inferior e superior, concentraram em intervalos médios de 39°. Os altos valores de densidade

Mapa de Índice de Estabilidade

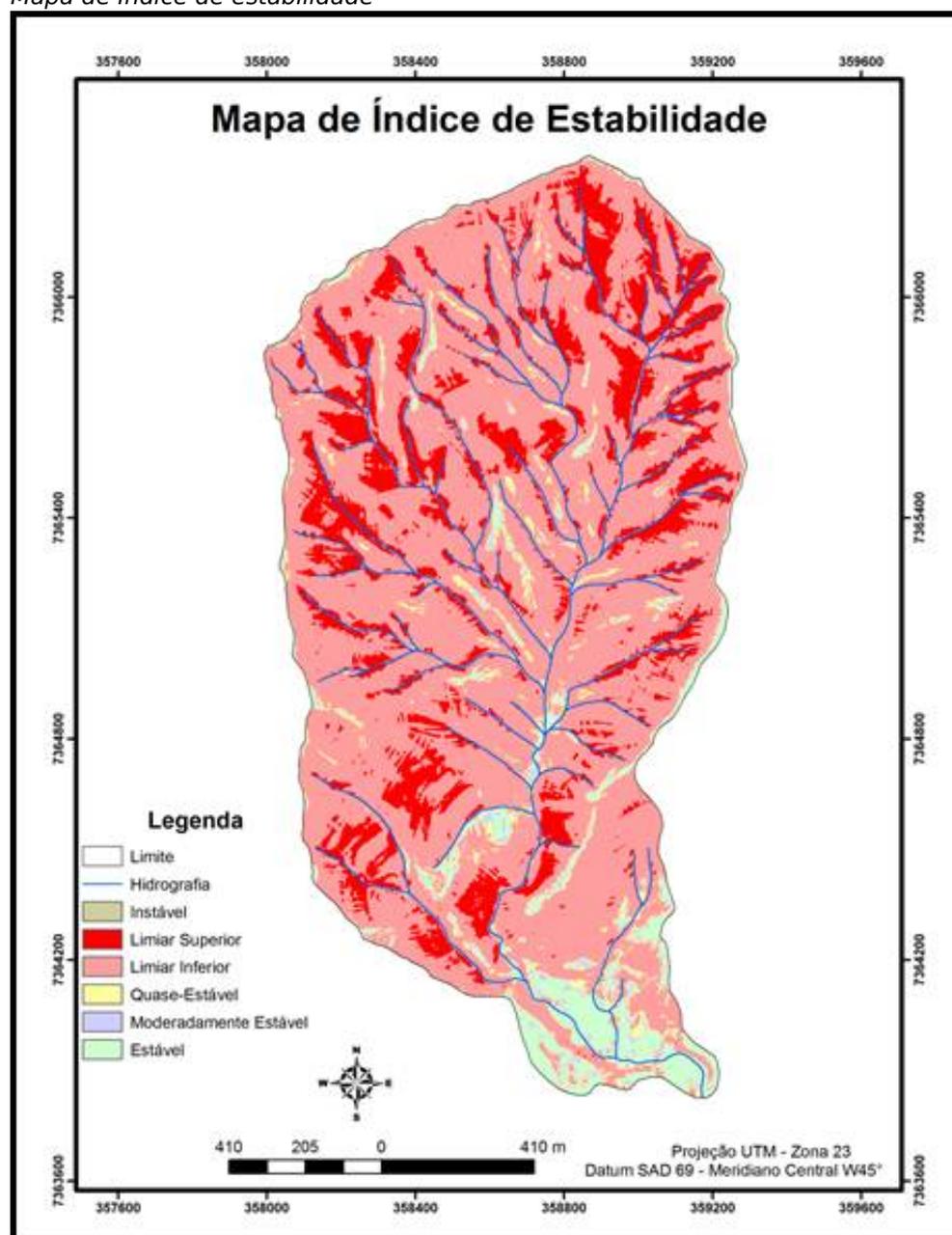


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo - Bacia da Ultrafértil.

Histogramas

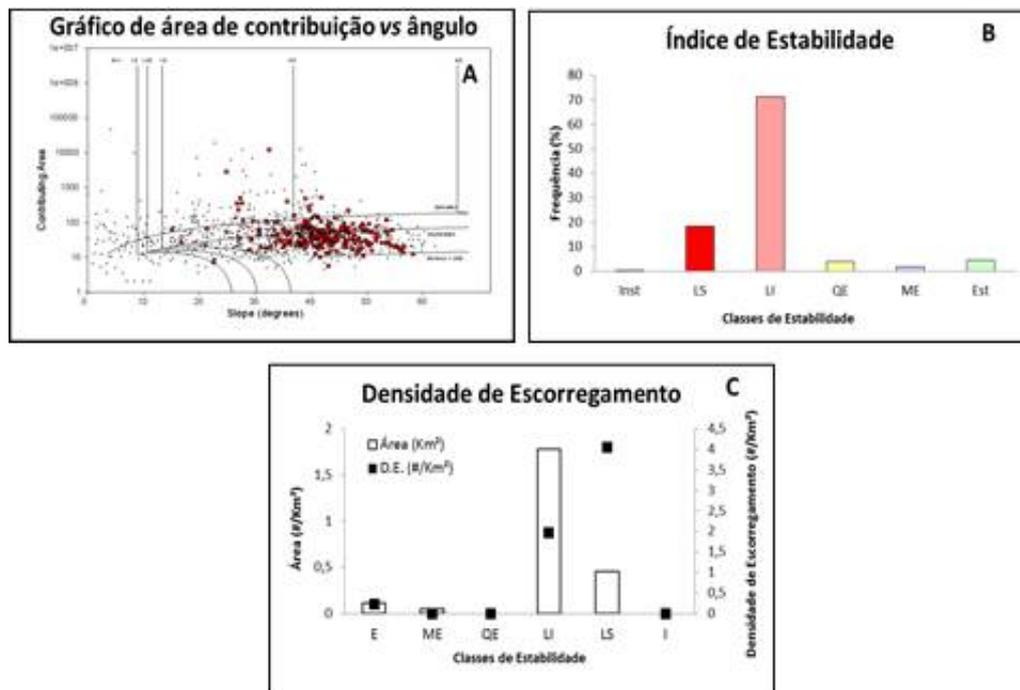


Figura 2: Gráfico de área de contribuição vs ângulo (2A), histograma de índice de estabilidade (2B), histograma de densidade de escorregamento (2C).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os escorregamentos rasos são processos recorrentes nas regiões serranas do Brasil e devido às dificuldades de estudos in situ e os resultados bastante satisfatórios dos modelos matemáticos apresentam-se como métodos viáveis e confiáveis. Os resultados encontrados nesta pesquisa, bem como em outros trabalhos, mostram que a aplicação dos modelos matemáticos apresenta-se como uma ferramenta útil na avaliação destes processos. A aplicação do modelo SINMAP na bacia da Ultrafértil mostrou-se satisfatória e os resultados obtidos podem servir de base para o planejamento da região do pólo- industrial de Cubatão. O modelo tem como principal vantagem o baixo custo de instrumentação e a eficiência dos resultados. Mas, acredita-se que para um melhor desempenho do SINMAP e de outros modelos matemáticos, aplicados em regiões serranas, necessita-se de mais estudos in situ que possam fornecer dados geotécnicos e hidroclimatológicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP no desenvolvimento desta pesquisa por meio da bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Amaral Junior, AF. Mapeamento geotécnico aplicado a análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde-RJ - Escala 1:10.000. p. 191. Vol.1. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- Carvalho, CS. Estudo da Infiltração em Encostas de Solos Insaturados na Serra do Mar. p. 140. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1989.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - SIRGH. <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu?lig=podfp>. Acesso em Fevereiro de 2010.
- Gomes, RAT, Guimarães, RF; Carvalho, OA; Fernandes, NF; Vargas, EA; Martins, ES. Identification of the affected areas by mass movement through a physically based model of landslide hazard combined with an empirical model of debris flow. *Natural Hazards*, 45, p. 197-209, 2008.
- Guimarães, RF. Utilização de um modelo de previsão de áreas suscetíveis a escorregamentos rasos

- com controle topográfico: Adequação e calibração em duas bacias de drenagem. 2000. p. 150. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- Hassui, Y; Mioto, JA.; Morales, N. Geologia do Pré-Cambriano. In: Solos do Litoral de São Paulo. Falconi, F. F.; Junior, A. N. (Org.). São Paulo: ABMS, p. 41-67, 1994.
- INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instabilidade das encostas da Serra do Mar voltadas ao parque industrial de Cubatão (SP): diagnose, soluções e ações de emergência. São Paulo, 1986
- Lopes, ESS; Riedel, PS; Bentz, CM; Ferreira, MV. Calibração e validação do índice de estabilidade de encostas com inventário de escorregamentos naturais na bacia do rio da Onça na região da Serra de Cubatão, SP. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 26, n° 1, p. 83-95, 2007.
- Lopes, FCA; Bueno, KEM, Santos, I. Validação de simulação de estabilidade de encostas na Serra do Mar Paranaense com o apoio de mapeamento de movimentos de massa. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO. Recife, p. 1-14, 2010.
- Meisina, C; Scarabelli, S. A comparative analysis of terrain stability models for predicting shallow landslides in coluvial soils. *Geomorphology*, 87: p. 207-223, 2007.
- Mendes, R. M. Estudos das propriedades geotécnicas de solos residuais não saturados de Ubatuba (SP). p. 230. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- Michel, GP; Goerl, RF; Kobayama, M. Aplicação do SINMAP (Stability Index Mapping) na bacia do Rio Cunha, Rio dos Cedros – SC, para previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO. Recife, p. 1-17, 2010.
- Pack, RT; Tarboton, DG; Goodwin, CN. SINMAP – a stability index approach to terrain stability hazard mapping. User’s manual. Terratech Consulting Ltd., Salmon Arm, B.C., Canada. p. 68, 1998.
- Pack, RT; Tarboton, DG; Goodwin, CN. Assessing Terrain Stability in a GIS using SINMAP. 15th Annual GIS Conference. Vancouver, British Columbia. February, p. 1-19, 2001.
- Pellegatti, CHG. A análise de eventos sazonais de precipitação no eixo Anchieta-Imigrantes da Serra do Mar-SP. In: 1º Simpósio de Pós-Graduação em Geografia do Estado de São Paulo – SIMPGEO. Rio Claro-SP, p. 262-272, 2008.
- Rossi, M; Queiroz Neto, JP. Relações solo/paisagem em regiões tropicais úmidas: O exemplo da Serra do Mar em São Paulo, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, 14, p. 11-23, 2001.
- Tatizana, C; Ogura, AT; Cerri, LES; Rocha, MCM. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos – Serra do Mar, município de Cubatão. In: Anais do 5º Congresso de Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo. P. 225-236, 1987.
- Tavares, R; Armani, G; Pressinotti, MMN; Santoro, J; Galina, MH. Análise da variabilidade temporal e espacial das chuvas associada aos movimentos gravitacionais de massa na Baixada Santista – SP. In: 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. ABGE, Florianópolis, Santa Catarina, p. 1067-1083, 2005.
- Vestena, LD. Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos na bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner – SC. *Mercator*, 9, p. 175-190, 2010.
- Vieira, BC; Júnior, EC; Fernandes, NF. Controles fito-morfológicos dos escorregamentos da bacia do rio Quitite (RJ). Florianópolis, UFSC, *Geosul*, 14, n.27, p. 324-328, 1998.
- Vieira, BC; Fernandes, NF, Filho, OA. Shallow landslide prediction in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, p. 1829-1837, 2010.
- Wolle, CM; Pedrosa, JA. Horizontes de transição condicionam mecanismos de instabilização de encostas na Serra do Mar. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, Santa Catarina, v.2, p. 121-135, 1981.
- Wolle, CM. e Carvalho, CS. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar – Brasil. *Solos e Rochas*, v. 12, p. 27-36, 1989.
- Wolle, CM; Carvalho, CS. Taludes Naturais. In: FALCONI, F. F.; JUNIOR, A. N. (Org.), Solos do Litoral de São Paulo. São Paulo: ABMS, p. 180-203, 1994.