

SOCIEDADE & NATUREZA

REVISTA DO INSTITUTO DE GEOGRAFIA E DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Sociedade & Natureza

ISSN: 0103-1570

sociedadenatureza@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia

Brasil

Lima e Silva, Eliane; Trancoso Gomes, Roberto Arnaldo; Fontes Guimarães, Renato; de Carvalho Júnior, Osmar Abílio

EMPREGO DE MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS RASOS PARA
GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA-ES

Sociedade & Natureza, vol. 25, núm. 1, enero-abril, 2013, pp. 119-131

Universidade Federal de Uberlândia

Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321327372010>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc



Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

EMPREGO DE MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS RASOS PARA GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA-ES

Employment of shallow landslides model for disaster hazard management in the city of Vitória-ES

Eliane Lima e Silva

Mestre em Geografia pela Universidade de Brasília - UnB
elianelim26@gmail.com

Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Depto. de Geografia - UnB
robertogomes@unb.br

Renato Fontes Guimarães

Depto. de Geografia - UnB
renatofg@unb.br

Osmar Abílio de Carvalho Júnior

Depto. de Geografia – UnB
osmarjr@unb.br

Artigo recebido em 15/05/2012 e aceito para publicação em 08/08/2012

RESUMO: O Brasil está entre os 10 países mais atingidos por desastres naturais no mundo e os deslizamentos constituem-se num dos principais riscos geomorfológicos do País, muitas vezes condicionado pela ocupação das encostas que provocam alterações ampliando a possibilidade dessas ocorrências. Nesse contexto, apresenta-se como essencial a busca por ferramentas e instrumentos que permitam conhecer os riscos potenciais de determinadas áreas e com isso adotar medidas preventivas. Uma dessas ferramentas são os modelos de predição de áreas susceptíveis à escorregamentos. Desta forma, o objetivo deste trabalho é aplicar um modelo matemático de predição de escorregamentos para a gestão de riscos como subsídios às políticas públicas locais no Município de Vitória/ES. Para isso, foi definida como área de estudo a parte do município denominada Ilha de Vitória. As cartas topográficas na escala 1:5.000 foram editadas e utilizadas para a geração do modelo digital de terreno (MDT) e dos atributos morfométricos (área de contribuição e declividade). Como parâmetros de solo foram testados oito conjuntos de dados provenientes de áreas semelhantes. Em seguida foi aplicado o modelo Shalstab, que combina o modelo hidrológico com o modelo de estabilidade da encosta e possibilita a definição de áreas susceptíveis a escorregamentos. Os oito modelos foram integrados em uma única imagem a partir do maior valor de instabilidade entre todas as simulações. A partir desse mapa de susceptibilidade de escorregamento foi possível definir as áreas de atenção, prioritárias para o desenvolvimento e a definição de ações de gestão do risco de desastres na região.

Palavras chaves: gestão de risco de desastres; escorregamento; Shalstab; modelo de previsão; política pública.

ABSTRACT: Brazil is among the ten countries that are mostly affected by natural disasters in the world, and landslides are one of the main geomorphologic risks in the country, often conditioned by the occupation of hillsides, which causes alterations improving the possibilities for such occurrences. In this context, it is

essential to search for tools and instruments that allow to know the potential risks of certain areas and hence to adopt preventive measures. The model of prediction of slide-susceptible areas is an example of these tools. Thus, this work aims to apply a slide prediction mathematical model for the risk management as a subsidy to local public policies in the municipality of Vitória, Espírito Santo State. Therefore, the study area was defined as the part of the municipality called Ilha de Vitória (Vitória Island). The topographic maps at 1:5,000 scale were edited and used to generate the digital terrain model (DTM) and morphometric attributes (slope and contribution area). As soil parameters were tested eight sets of data from similar areas. The Shalstab model was then applied. This model combines the hydrological and the hillside stability models, allowing for the definition of areas susceptible to landslides. The eight models were integrated into a single image from the major of instability value among all simulations. From this slide susceptibility map, it was possible to define attention areas, which are a priority for developing and prioritizing disaster risk management actions in the region.

Keywords: disaster risk management; landslide; Shalstab; prediction model; public policy.

INTRODUÇÃO

Os desastres naturais provocam uma grave interrupção do funcionamento da comunidade com perdas de vidas humanas e danos materiais. Sua ocorrência está diretamente ligada às condições de riscos existentes em uma localidade e têm efeitos diferentes, porque cada região afetada apresenta condições sociais, econômicas, políticas, geográficas e sanitárias particulares. Alguns autores defendem a hipótese que esse aumento esteja relacionado com o maior estabelecimento da sociedade em áreas vulneráveis (NICHOLLS, 2001). Segundo a Organização das Nações Unidas no Brasil, o ano de 2010 foi marcado pelos desastres naturais. Neste mesmo ano, o Rio de Janeiro foi vítima de ocorrências de movimentos de massa durante a época de chuvas que provocaram deslizamentos em diversos municípios do Estado culminando em mais de 200 óbitos. Em 2011, ainda no Rio de Janeiro, ocorreram diversos deslizamentos nos municípios de Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro e São José do Vale, computando mais de 800 óbitos e diversos impactos socioeconômicos. Conhecer esses riscos e as peculiaridades da região possibilita priorizar a adoção de políticas públicas voltadas para a prevenção, minimizando os impactos dos desastres sobre a população.

Neste propósito, diversos municípios brasileiros têm desenvolvido projetos para a identificação, mapeamento e elaboração de um plano de preparação e resposta a emergências e desastres associados aos

deslizamentos, dentre os quais se encontra Vitória, no Estado do Espírito Santo (BRASIL, 2007). A partir da estruturação do programa de gerenciamento das áreas de risco geológico-geotécnico de Vitória, as ações para prevenção e redução de riscos tem se apresentado como importantes no desenvolvimento de políticas governamentais locais.

Com o advento do Sistema de Informações Geográficas (SIG) foram desenvolvidos vários métodos que buscam identificar áreas suscetíveis a movimentos de massa na paisagem. Esta ferramenta possibilita correlacionar e sistematizar dados em diferentes escalas de trabalho, resultando em mapas de susceptibilidade a partir de diferentes abordagens (ALEXANDER, 2008).

Metodologias que utilizam modelos matemáticos baseados em dados físicos vêm sendo também bastante utilizadas. Estes modelos buscam reproduzir os sistemas ambientais em SIG, com base em equações matemáticas que descrevem o comportamento dos processos que influenciam os deslizamentos (CHRISTOFOLLETTI, 1999). Normalmente, modelos de estabilidade de encostas são utilizados para calcular o fator de segurança dos taludes (GUIMARÃES *et al.*, 2008; SELBY, 1993), que representa a relação entre as forças de resistência e as que favorecem a ocorrência do deslocamento do material em uma encosta. As análises de talude infinito têm sido amplamente aplicadas em investigações de estabilidade de encostas naturais, particularmente nas quais a espessura do manto do solo é muito menor que a do comprimento da encosta,

e o plano de ruptura é aproximadamente paralelo à superfície da encosta (GUIMARÃES *et al.*, 2008).

Dentro deste contexto, o modelo SHALSTAB (ShallowStability) desenvolvido para a predição de escorregamentos rasos combina um modelo hidrológico com um modelo de estabilidade de encosta em ambiente de SIG (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994). O modelo de estabilidade é baseado na teoria de talude infinito elaborada por Mohr-Coulomb que define as tensões responsáveis pela desestabilização de uma porção do solo na encosta (CARSON & KIRKBY, 1972). O modelo hidrológico define as zonas de saturação do solo na paisagem, a partir do fluxo de água transmitido na encosta. Os dois modelos consideram que a porção do solo que vai escorregar na encosta está sob um plano de ruptura paralelo ao declive da encosta. Nas análises desses dois modelos são incorporados parâmetros topográficos (declividade, área de contribuição), estes obtidos a partir de um modelo digital de terreno; climáticos (precipitação); além de parâmetros de propriedades do solo (espessura, condutividade hidráulica saturada, densidade, coesão e ângulo de atrito).

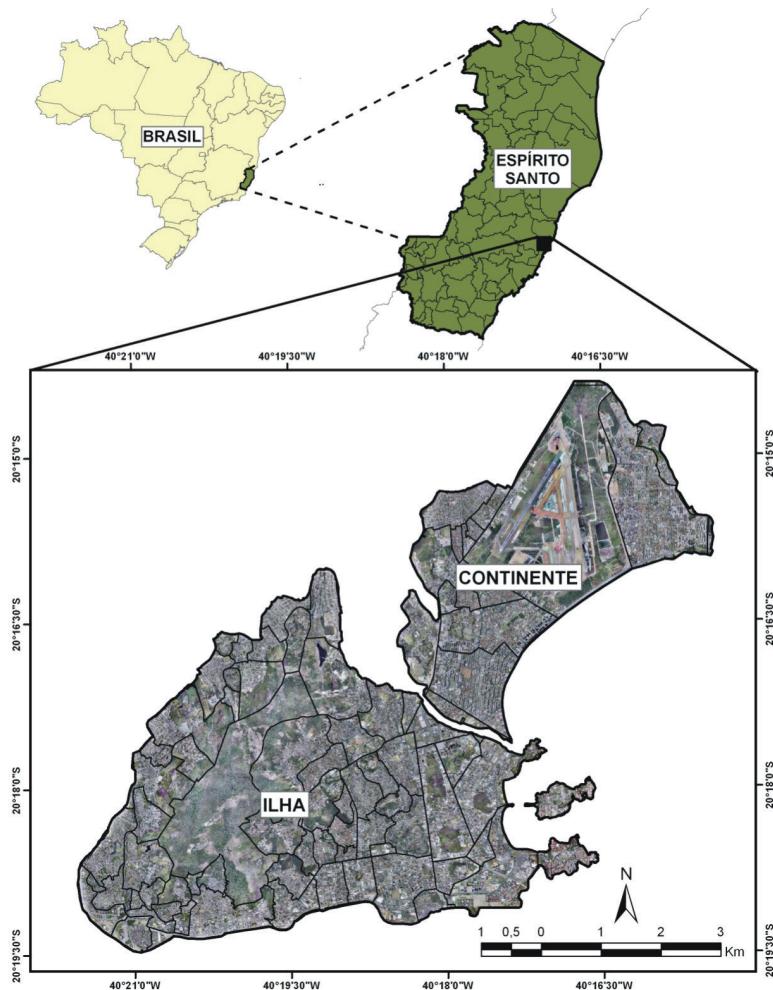
Exemplos de aplicação desse modelo no Brasil estão disponíveis em trabalhos como os realizados nas bacias dos rios Quitite e Papagaio, na cidade do Rio de Janeiro; Parque Nacional da Serra dos Órgãos; bairro do subúrbio ferroviário de Salvador, na Bahia; Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais; e Estrada Rio-Teresópolis, em Magé, Rio de Janeiro (CARVALHO JÚNIOR, *et al.*, 2005; GOMES *et al.*, 2008; GUIMARÃES *et al.*, 2003, 2009; RAMOS *et al.*, 2002; RAMOS *et al.*, 2003). Com o propósito de auxiliar na gestão de riscos fornecendo subsídios às políticas públicas locais o presente trabalho possui como objetivo aplicar o modelo matemático de predição de escorregamentos SHALSTAB no município de Vitória/ES.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na Ilha de Vitória, localizada no Município de Vitória do Estado do Espírito Santo com uma área de 99 km² e 325.453 habitantes. Originalmente, a região era formada por 50 ilhas que passaram por processos de aterrramento ao longo

do tempo e foram agregadas à ilha maior resultando em 34 ilhas e uma parte continental (IJSN, 2008). A organização político-administrativa do município de Vitória foi regulamentada pela Lei 6.077/2003 - Lei de Bairros. A lei define o bairro como uma das partes principais em que é dividida a cidade, tendo como unidade espacial de referência os setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. A partir dessa lei o município de Vitória é organizado em 83 bairros e sete regionais administrativas (PMV, 2010) (Figura 1). O presente estudo está focado na região insular, que tem maior amplitude topográfica, desconsiderando a parte continental.

Figura 1. Município de Vitória. A área de estudo considera somente a ilha maior e, desconsidera outras ilhas menores e a parte continental



A Ilha de Vitória é a porção insular de maior extensão e onde se concentra a maior parte da população do município com densidade demográfica de mais de três mil pessoas por km². O aumento populacional de Vitória ocorreu entre as décadas de 60 e 70, devido à transferência da base econômica, essencialmente cafeeira, para a atividade industrial e esse aumento culminou, em muitos casos, na ocupação desordenada do solo, inclusive em encostas, ampliando o risco de deslizamentos (IJSN, 2008). O uso e a ocupação do solo são bem variados na região. A área urbanizada prevalece em praticamente toda a Ilha, com ocorrência de áreas com vegetação e floresta natural, pastagens, afloramento rochoso e solo exposto.

O clima da área é classificado como tropical úmido, com maior quantidade de chuvas entre os meses de outubro a março (primavera e verão) e um período seco entre abril e setembro (outono e inverno). A temperatura média anual é de 22°C, com máximas entre 28°C e 30°C, e mínimas em torno de 15°C (NIMER, 1989). A pluviometria é um fator importante para a definição dos períodos de risco de escorregamentos. Os dados médios de dias chuvosos e precipitação da série histórica da estação meteorológica de Vitória apresentam os meses de novembro e dezembro com uma média de mais de 15 dias chuvosos (Figura 2) (INCAPER, 2011).

As ocorrências de deslizamentos, do período de 2008 a 2010, fornecida pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) de Vitória (instituição responsável pela coordenação executiva das ações de gestão de risco de desastres bem como o atendimento às emergências provocadas por desastres) apresentam

as regionais como maior número de ocorrências de deslizamentos: Bairro Forte São João, Romão e Bonfim com 13 registros seguidos do Bairro da Penha com 11 e Bairro da Consolação com 10 (Figura 3).

Figura 2. Dados médios de dias chuvosos e precipitação da série histórica da estação meteorológica localizada no município de Vitória-ES, por mês de 1976 a 2009.

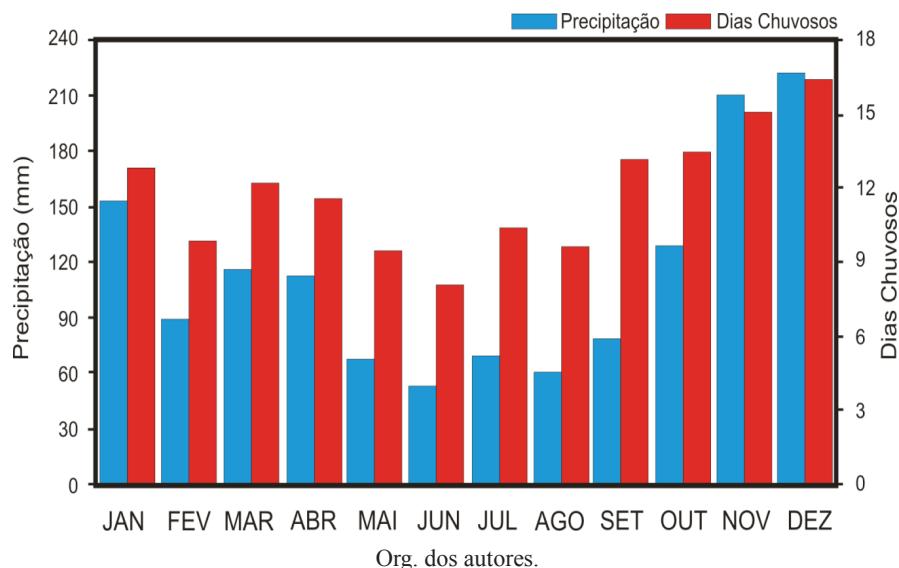
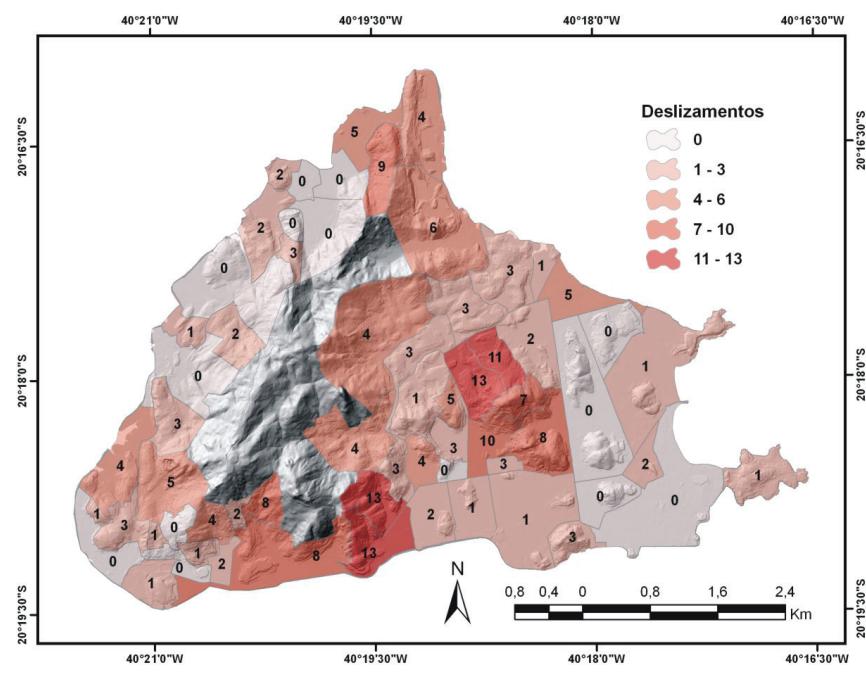


Figura 3. Registros de deslizamentos por bairro na Ilha de Vitória/ES, de 2008 a 2010



Org. dos autores.

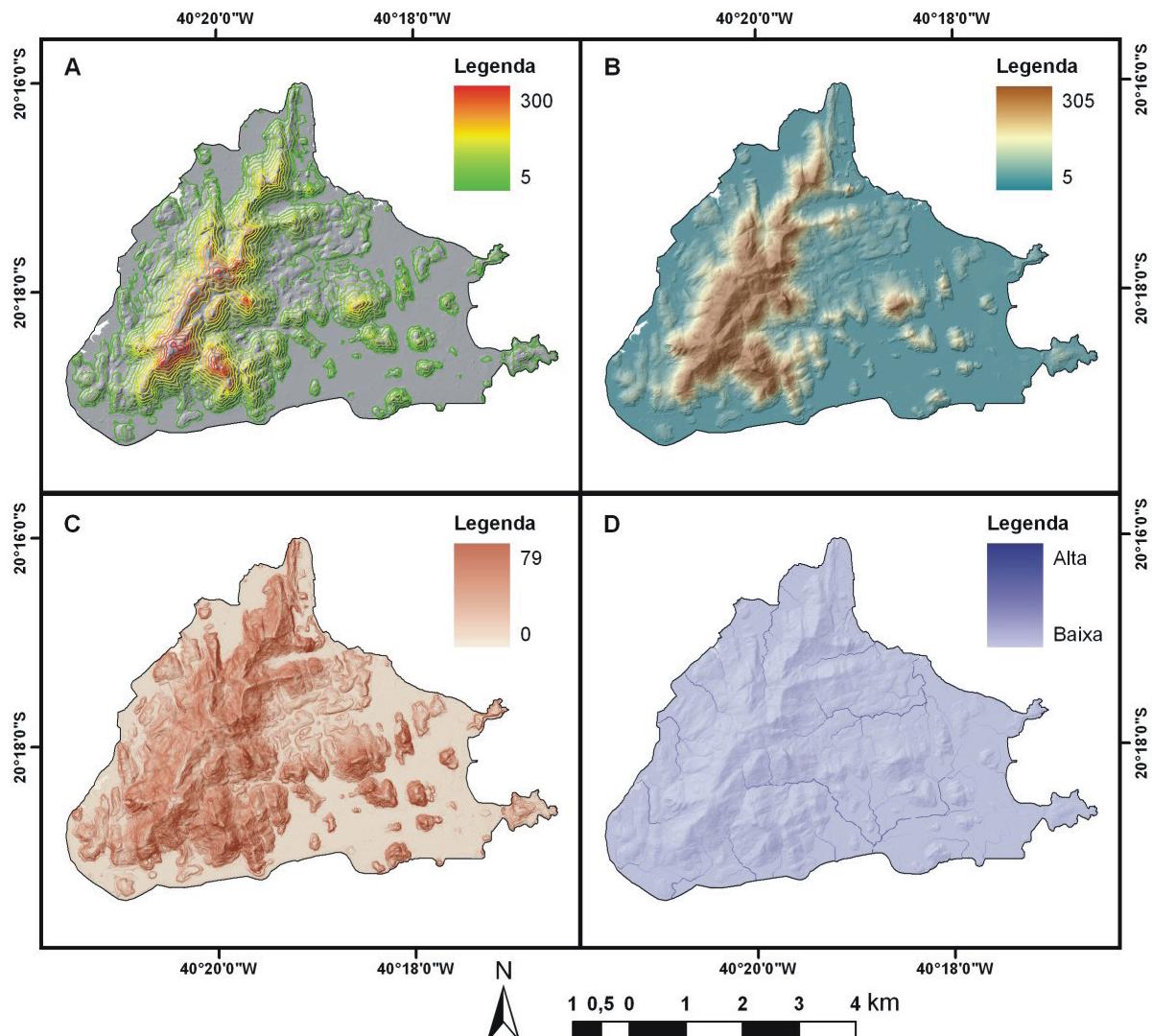
METODOLOGIA

Elaboração do MDT

Conforme Gomes *et al.* (2005), o modelo SHALSTAB é influenciado pela escala topográfica, apresentando maior detalhamento das zonas suscetíveis a ocorrência de escorregamentos de acordo com o aumento da escala. Neste trabalho foram utilizados dados topográficos (planítmétricos) detalhados, em

formato digital, na escala 1:5.000, fornecidos pelo Projeto GeoWeb da Prefeitura Municipal de Vitória (Figura 4a). O MDT foi gerado utilizando o módulo Topogrid do programa ArcInfo com resolução espacial de 2 metros (Figura 4b). A partir do MDT foram geradas a declividade e área de contribuição (Figura 4c, d). Neste trabalho a área de contribuição foi gerada pelo método D- Infinito (TARBOTON, 1997), modelo que efetua o cálculo distribuindo o fluxo de forma proporcional.

Figura 4. Cartogramas da Ilha de Vitória/ES: (a) Curvas de nível; (b) Modelo digital do terreno; (c) Declividade, (d) Área de contribuição obtida a partir da metodologia de transferência de fluxo distribuída



Org. dos autores.

Aplicação do Modelo SHALSTAB

O modelo Shalstab prevê áreas susceptíveis a escorregamentos, a partir da combinação entre um modelo hidrológico e um modelo de estabilidade de encosta desenvolvido por Montgomery & Dietrich (1994). Este modelo determina as porções no relevo que estão propícias a se instabilizar em função da quantidade de chuva. O modelo Shalstab é expresso pela equação (1) que determina para cada pixel da grade a susceptibilidade a escorregamentos.

$$Q = \frac{T \sin \theta}{(a/b)} \left[\frac{C}{\tilde{n}_w g z \cos^2 \theta \tan \phi} + \frac{\tilde{n}_s}{\tilde{n}_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \right] \quad (1)$$

Onde “Q” é a chuva crítica necessária para a ruptura, “T” é a transmissividade do solo (produto entre a condutividade hidráulica saturada e a espessura do solo), “a” é a área de contribuição, “θ” é a declividade do local, “pw” é a densidade da água, “g” é a aceleração da gravidade, “z” é a espessura do solo, “ps” é a densidade aparente do solo saturado, “φ” é o ângulo de atrito do solo, e C’ é a coesão efetiva do solo.

Os valores relativos aos parâmetros de propriedade dos solos foram obtidos a partir do trabalho de Guimarães *et al.* (2003) para as bacias hidrográficas Quitite e Papagaio no Rio de Janeiro, devido as similaridades da região de Vitória/ES com as demais que compõem a Serra do Mar. Guimarães *et al.* (2003) simularam 125 modelos de escorregamento considerando as combinações de valores da razão C'/z, ps e φ, obedecendo um intervalo de valores para cada parâmetro compatíveis com os valores presentes na natureza conforme testes em laboratório encontrados na literatura. Os diversos resultados obtidos pelas diversas simulações foram comparados com as cicatrizes de escorregimentos pretéritos e um ranking foi elaborado considerando o grau de acerto de predição dos diversos modelos elaborados. A tabela 1 a seguir mostra os valores dos parâmetros do solo utilizados:

Tabela 1. Valores de parâmetros do solo utilizados por Guimarães *et al.* (2003).

Parâmetro	Valores utilizados
C'/z (Coesão/espessura do solo)	0, 2, 4, 6 e 8 kPa m ⁻¹
Ps (Densidade do solo)	1,5, 1,75, 2, 2,25 e 2,5 g/cm ³
Φ (Ângulo de atrito)	25°, 30°, 35°, 40° e 45°

Org. dos autores.

A área de estudo não possui o mapeamento dos escorregamentos passados, apenas o número de eventos por bairro, conforme figura 3. Desta forma, não foi possível a obtenção de um teste de validação eficaz, já que apenas a indicação da ocorrência dos escorregamentos não propicia verificar o desempenho do modelo. Sendo assim, para a elaboração de um mapa que privilegie as zonas mais instáveis, foram considerados os 8 melhores conjunto de parâmetros de solo descritos no trabalho de Guimarães *et al.* (2003) (Tabela 1) que forneceram os melhores graus de acerto quando comparados com as cicatrizes. São definidos, além da classe estável, 6 classes de instabilidade associados aos índices pluviométricos: estável, incondicional, 1 - 50 mm, 50 – 100mm, 100 – 200mm, 200 – 400mm, acima de 400mm. No presente trabalho os oito modelos foram agregados em um único mapa final considerando as classes mais instáveis entre os oito modelos para cada célula. Desta forma, o mapa final possuirá, evidentemente, uma menor área estável do que cada modelo individualmente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos oito conjuntos de parâmetros de solo obtidos por Guimarães *et al.* (2003) foram realizadas as simulações, gerando diferentes cenários para a área de estudo (Figura 5 e Tabela 2). Os valores de condutividade hidráulica e espessura do solo foram considerados constantes nas oito simulações como sendo de 65m²/dia e 1 metro, respectivamente.

As Tabelas 3 e 4 demonstram as classes de risco de escorregamento de cada simulação. Com o propósito de enfatizar as áreas de risco pode-se considerar duas áreas de interesse: a classe Estável e a das áreas de atenção que correspondem ao agrupamento das classes de instabilidade. Analisando as situações individualmente, a simulação 1 apresentou 82,83% de área estável e 17,17% de área de atenção; a simulação 2 teve 82,60% e 17,40%; a simulação 3 teve 86,01 e 13,99; a simulação 4 teve 89,72% e 10,28%; a simulação 5 teve 83,01 e 16,99; a simulação 6 teve 93,98% e 6,02%; a simulação 7 teve 77,27% e 22,73%; e a simulação 8 teve 81,88% e 18,12% (Figura 6). A simulação 7 foi a que apresentou o maior percentual de área de atenção em relação à área total de estudo. O comportamento médio apresenta 84,66% de área estável e 15,34% em situação de atenção.

Tabela 2. Parâmetros de propriedade dos solos utilizados obtidos por Guimarães *et al.* (2003).

	Coesão (C)	Densidade aparente do solo	Profundidade do solo	Condutividade hidráulica	Ângulo de atrito
Simulação 1	2	1.5	1	65	45
Simulação 2	1	1.75	1	65	45
Simulação 3	4	1.5	1	65	30
Simulação 4	4	1.5	1	65	35
Simulação 5	2	1.75	1	65	40
Simulação 6	4	1.75	1	65	40
Simulação 7	2	1.5	1	65	40
Simulação 8	4	1.5	1	65	25

Org. dos autores.

Tabela 3. Classes do modelo SHALTAB considerando as simulações de 1 até 4.

Precipitação pluviométrica (mm)	Simulação 1		Simulação 2		Simulação 3		Simulação 4	
	Área m ²	%						
Estável	23.609.176	82,83	23.545.200	82,6	24.517.200	86,01	25.572.952	89,72
0 - Incondicional	123.280	0,43	300.020	1,05	142.028	0,5	152	0
1 a 50	95.408	0,33	119.088	0,42	88.004	0,31	37.532	0,13
51 a 100	123.532	0,43	148.216	0,52	110.744	0,39	50.920	0,18
101 a 200	310.056	1,09	358.672	1,26	268.940	0,94	144.088	0,51
201 a 400	755.156	2,65	814.276	2,86	628.344	2,2	387.660	1,36
Acima de 400mm	3.487.684	12,24	3.218.820	11,29	2.749.032	9,64	2.310.988	8,11

Org. dos autores.

Os resultados médios obtidos com a aplicação do Shalstab nas simulações de 1 a 8 apresentaram uma média de 84,66% de área estável; 0,71% de área incondicional; 0,37% com susceptibilidade a escorregamentos com índice pluviométrico de 1 a 50mm 0,45% com índice de 51 a 100mm; 1,10% com índice de 101 a 200mm; 2,49% com índice de 201 a 400mm e 10,22% com índice de chuva maior que 400mm.

Finalmente foi elaborado o mapa final considerando o pixel de maior instabilidade entre os mapas

resultantes das 8 simulações efetuadas (Figura 7). Este mapa apresentou 77,25% de área estável; 1,57% de área incondicional; 0,73% com susceptibilidade a escorregamentos com índice pluviométrico de 1 a 50mm 0,86% com índice de 51 a 100mm; 2,00% com índice de 101 a 200mm; 4,13% com índice de 201 a 400mm e 13,45% com índice de chuva maior que 400mm.

Tabela 4. Classes do modelo SHALTAB considerando as simulações de 4 até 8

Precipitação pluviométrica (mm)	Simulação 5		Simulação 6		Simulação 7		Simulação 8	
	Área m ²	%						
Estável	23.662.032	83,01	26.788.544	93,98	22.024.072	77,27	23.339.396	81,88
0 - Incondicional	342.136	1,2	5.984	0,02	273.236	0,96	435.748	1,53
1 a 50	123.636	0,43	28.756	0,1	179.508	0,63	166.784	0,59
51 a 100	152.276	0,53	28.524	0,1	221.480	0,78	196.716	0,69
101 a 200	362.712	1,27	72.260	0,25	541.448	1,9	446.396	1,57
201 a 400	805.832	2,83	182.896	0,64	1.177.352	4,13	924.448	3,24
Acima de 400mm	3.055.668	10,72	1.397.328	4,9	4.087.196	14,34	2.994.804	10,51

Org. dos autores.

CONCLUSÕES

Um desafio na gestão pública (especialmente municipal) é a capacitação necessária para atuar em áreas de risco de desastres, especialmente os associados aos movimentos de massa. A previsão de locais mais susceptíveis a ocorrência desses eventos torna-se um fator primordial para a comunidade científica e governamental. Neste propósito, os mapas de susceptibilidade procuram refletir o complexo conhecimento sobre os movimentos de massa bem como seus fatores condicionantes. Quanto maior o conhecimento sobre os mecanismos que levam a ocorrência dos deslizamentos, maior a chance de se definir de modo correto as áreas susceptíveis. Nesse contexto, o uso de geotecnologias, a exemplo do Shalstab, como ferramentas para subsidiar a gestão pública é de extrema importância, pois maximiza a capacidade de atuação e a definição de prioridades, especialmente, em municípios carentes de recursos financeiros e humanos. O emprego de modelos minimiza os custos uma vez que apontam, preliminarmente, as possíveis áreas susceptíveis aos escorregamentos rasos, permitindo o melhor planejamento dos recursos humanos, tecnológicos e financeiros. Conhecer os resultados dos modelos e validá-los com a realidade do município permite orientar ações de prevenção, preparação e resposta às emergências e com isso aprimorar as políticas públicas locais de gestão de risco de desastres. Reconhecer o cenário de risco significa supor como pode ser o impacto de um fenômeno ou perigo, como os deslizamentos, levando em consideração as possíveis consequências que pode ocasionar e a forma de evitar, ou ao menos, minimizar os seus impactos.

Os resultados das simulações apresentadas neste trabalho servem como uma ferramenta para auxiliar na definição e fiscalização da ocupação territorial das regiões, sobretudo no que se diz respeito à ordenação dos espaços geográficos. A Ilha de Vitória concentra a maior parte dos registros de deslizamentos do município e também registra a maior densidade demográfica o que amplia a possibilidade de maior impacto à população. Desta forma, o cuidado na elaboração do mapa de susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos, considerando todas as áreas de maior instabilidade, fornece um produto cartográfico

que maximiza as áreas críticas. Este procedimento é necessário quando não se possui um mapeamento de cicatrizes que é fundamental para analisar o grau de acerto do modelo e inferir sobre os valores dos parâmetros do solo.

Figura 5. Mapa de susceptibilidade de escorregamentos rasos na Ilha de Vitória/ES conforme: (a) simulação 1, (b) simulação 2, (c) simulação 3, (d) simulação 4, (e) simulação 5, (f) simulação 6, (g) simulação 7 e (h) simulação 8.

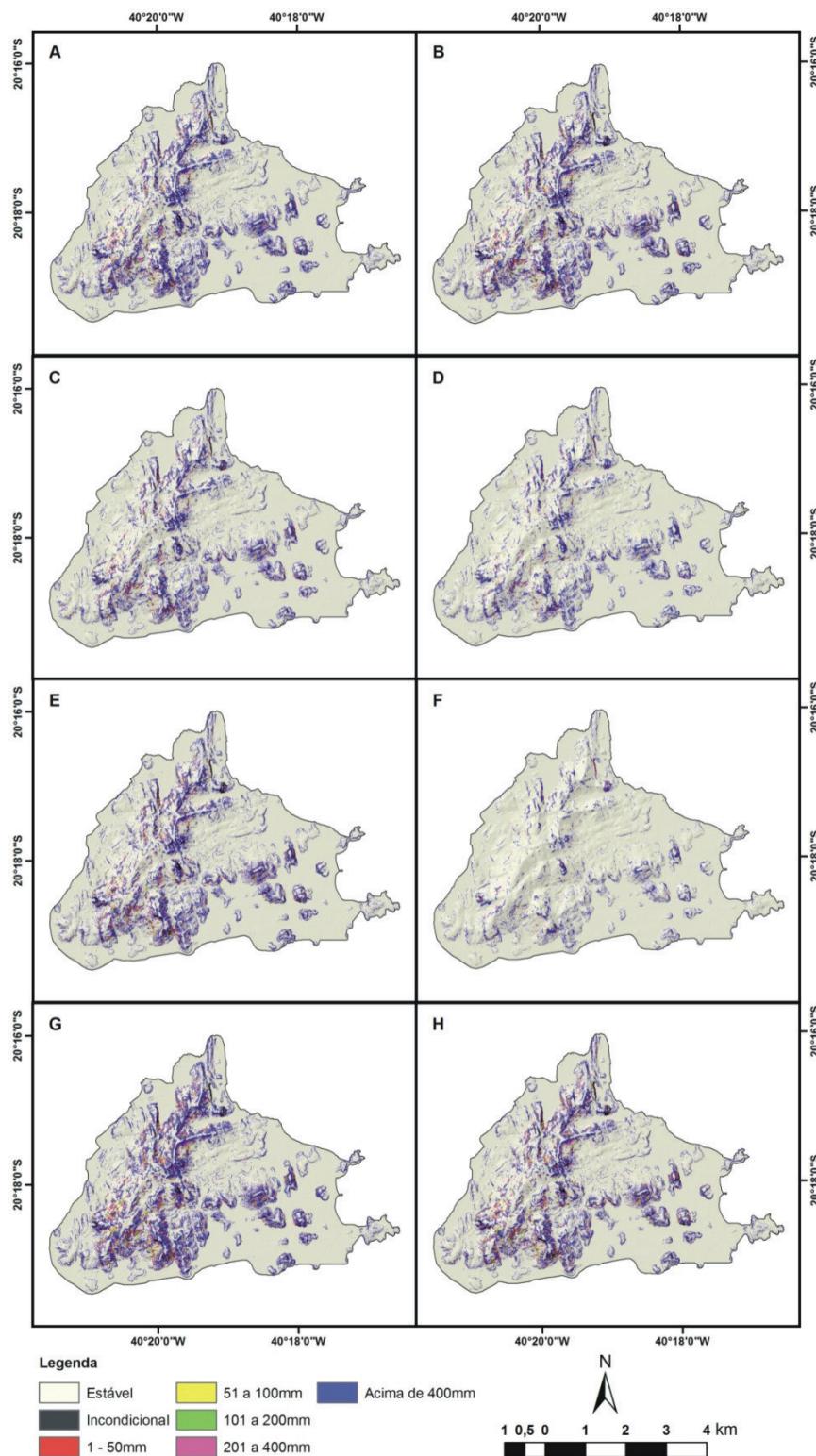
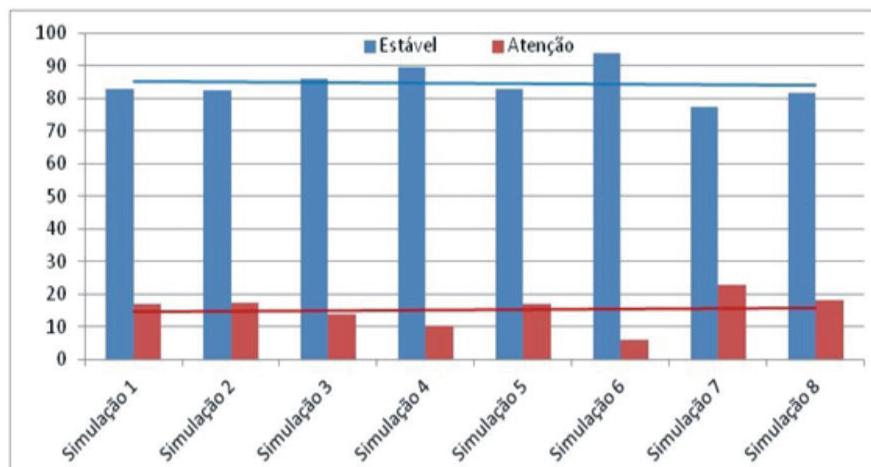
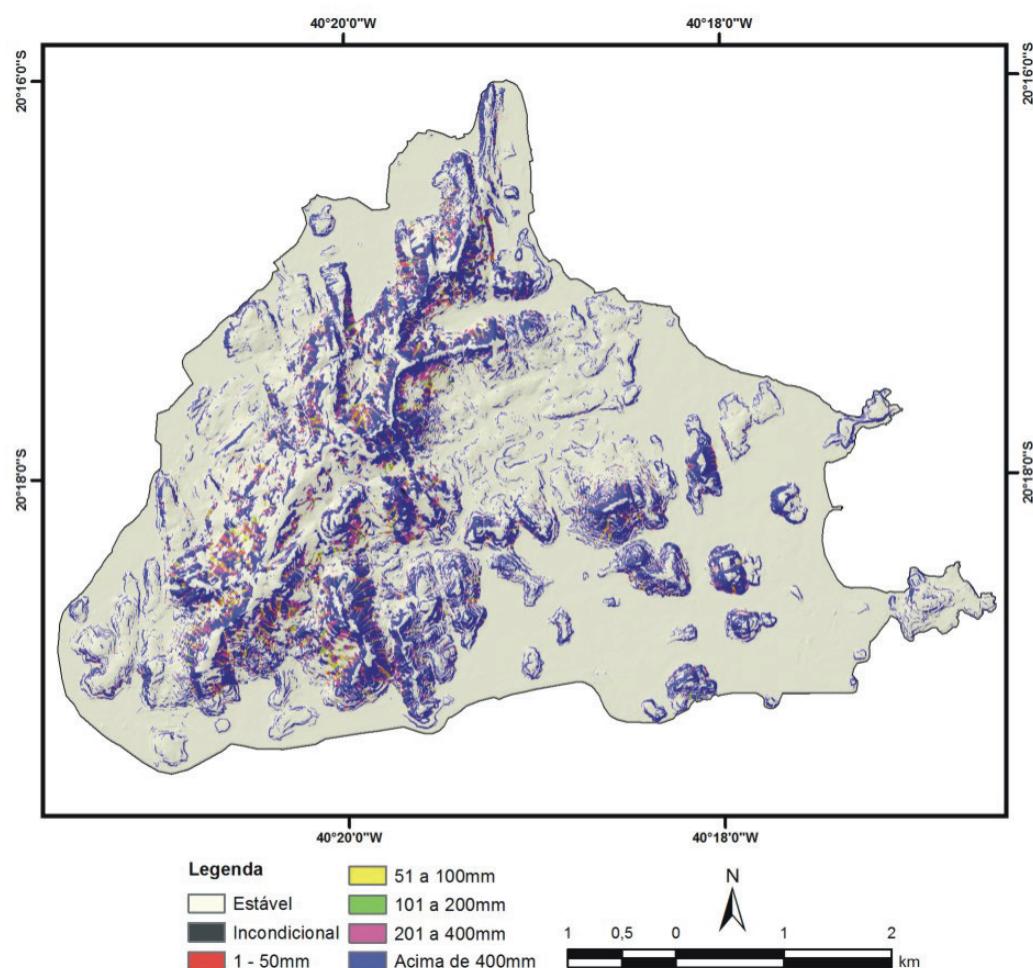


Figura 6. Gráfico com o percentual total da classe Estável e das classes consideradas de atenção



Org. dos autores.

Figura 7. Mapa de susceptibilidade de escorregamentos rasos na Ilha de Vitória/ES considerando o pixel de maior instabilidade entre os mapas resultantes das 8 simulações efetuadas.



Org. dos autores.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, D.E. A brief survey of GIS in mass-movement studies, with reflections on theory and methods. *Geomorphology*, v. 94, p. 261-267, 2008.
- BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Bulletin of Hydrological Sciences*, v. 24, p. 43-69, 1979.
- Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Defesa Civil. *Política Nacional de Defesa Civil*. Brasília: MIN, 2007. 81 p.
- CARSON, M.A.; KIRKBY, M.J. *Hillslope form and process*. Cambridge: Cambridge University Press, 1972. 475 p.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; BLOISE, G.L.F.; GOMES, R.A.T.; RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F. Previsão de Escorregamentos em Rodovias a partir do Uso do Modelo SHALSTAB. In: *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 11., 2005, São Paulo. Anais do XI SBGFA, São Paulo: FFLCH-USP, 2005. p. 3011-3024.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999. 256 p.
- GOMES, R.A.T.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; FERNANDES, N.F.; VARGAS JÚNIOR, E.A.; MARTINS, E.S. 2008. 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* (Dordrecht), v. 45, p. 197-209, 1979.
- GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F. Movimentos de Massa. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). *Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 159-184.
- GUIMARÃES, R.F.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H.M.; FERNANDES, N.F.; GOMES, R.A.T.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. *Engineering Geology*, 69 (1-2): 99-108, 2003.
- GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, S.N.; FERNANDES, N.F. Análise temporal das áreas suscetíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, p. 192-200, 2009.
- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. Vitória. 2011. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/>>.
- INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES – IJSN. *Perfil Regional – Região Metropolitana da Grande Vitória*. Vitória: IJSN, 2008. 64 p.
- MONTGOMERY, D.R.; DIETRICH, W.E. A Physically-Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding. *Water Resources Research*, v. 30, p. 1153-1171, 1994.
- NICHOLLS, N. Atmospheric and climatic hazards: improved monitoring and prediction for disaster mitigation. *Natural Hazards*, v. 23, p. 137–155, 2001.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA - PMV. *Vitória em Dados*. 2010. Disponível em <<http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/home.asp>>.
- RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F.; REDIVO, A.L.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. Mapeamento das áreas suscetíveis a escorregamentos rasos no subúrbio ferroviário de Salvador (BA), utilizando os parâmetros físicos diferenciados para cada classe de solo. *GeoUERJ*, v. especial, p. 1966-1976, 2003.

RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F.; REDIVO, A.L.;
GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F.; CARVALHO
JÚNIOR, O.A. 2002. Aplicação do modelo SHALS-
TAB, em ambiente ARCVIEW, para o mapeamento
de áreas susceptíveis a escorregamento raso na região
do Quadrilátero Ferrífero (MG). *Espaço e Geografia*,
v. 5, n. 1, p. 49-67.

SELBY, M.J. *Hillslope materials & processes*. Oxford
University Press, New York, 1993. 450 pp.

TARBOTON, D.G. 1997. A New Method for the De-
termination of Flow Directions and Contributing Areas
in Grid Digital Elevation Models. *Water Resources
Research*, v. 33, n. 2, p. 309-319.