



## **COMPARAÇÃO ENTRE A APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB COM MAPAS DE SUSCETIBILIDADE E RISCO DE DESLIZAMENTOS NA BACIA DO CÓRREGO PIRACUAMA EM CAMPOS DO JORDÃO - SP**

*Comparison between the Application of SHALSTAB Model with Slide Susceptibility  
and Risk Maps in Piracuama Stream Basin in Campos do Jordão - SP*

**Carla Corrêa Prieto<sup>1,2</sup>, Rodolfo Moreda Mendes<sup>3</sup>, Silvio Jorge Coelho Simões<sup>4</sup>  
& Carlos Afonso Nobre<sup>5</sup>**

**<sup>1</sup>Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN  
Divisão de Operação e Modelagem**

Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP, CEP: 12.247-060, Brasil  
carla.prieto@cemaden.gov.br

**<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**

**Aluna do Programa de Doutorado – Ciência do Sistema Terrestre**

Av. Dos Astronautas, 1.758 – Jardim da Granja, São José dos Campos/SP - CEP: 12.227-010  
carla.prieto@inpe.br

**<sup>3</sup>Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN  
Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento**

Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP - CEP: 12.247-060, Brasil  
rodolfo.mendes@cemaden.gov.br

**<sup>4</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP**

**Instituto de Ciência e Tecnologia ICT/UNESP - Campus São José dos Campos**

Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP, CEP: 12.247-060, Brasil  
silvio.simoese@fosjc.unesp.br

**<sup>5</sup>Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN  
Pesquisador Colaborador**

Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP - CEP: 12.247-060, Brasil  
cnobre.res@gmail.com

*Recebido em 16 de Outubro, 2015/ Aceito em 20 de Setembro, 2016  
Received on October 16, 2015/ Accepted on September 20, 2016*

### **RESUMO**

Eventos de deslizamentos em encostas ocorrem de forma recorrente no município de Campos do Jordão - SP, causando perdas humanas e danos materiais. O presente artigo tem o objetivo de identificar espacialmente as áreas com instabilidade das encostas na bacia do córrego Piracuama, onde se localiza a Vila Albertina, uma área frequentemente afetada por esses eventos. Para tanto, fez-se a aplicação do modelo de estabilidade de encostas (SHALSTAB) e comparou-se os resultados numéricos com dados de mapeamentos de suscetibilidade e risco desenvolvidos pela CPRM em parceria com o IPT e IG, respectivamente. Os resultados foram consistentes com os mapeamentos, uma vez que as áreas iden-

tificadas como mais instáveis haviam sido mapeadas como áreas de elevada suscetibilidade e risco a deslizamentos. Essa é uma pesquisa preliminar que pode indicar as áreas suscetíveis ao processo de deslizamento planar raso. Esse estudo pode embasar pesquisa sobre análise de estabilidade de maneira mais pontual, em escala de detalhe.

**Palavras chaves:** Deslizamento em Encostas, SHALSTAB, Suscetibilidade, Campos do Jordão, Desastres Naturais.

## ABSTRACT

Landslides events on slopes occur recurrently in Campos do Jordão - SP, causing human losses and material damage. This article aims to identify spatially the unstable slopes areas in Piracuama stream basin, where Villa Albertina is located, an area frequently affected by these events. Therefore, it was applied the slope stability model (SHALSTAB) and then, compared the numerical results with mappings of susceptibility and risk data developed by CPRM in partnership with IPT and IG, respectively. The results were consistent with the mappings, since the areas identified as most unstable had been mapped as landslide high risk and susceptibility areas. This is a preliminary research which may indicate susceptible areas to shallow landslide process. This study may be base to research about punctual stability analysis, in detailed spatial scales.

**Keywords:** Slope Landslide, SHALSTAB, Susceptibility, Campos do Jordão, Natural Disasters.

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos de movimentos de massa são modeladores naturais das encostas, principalmente em regiões com elevada declividade (CRUZ, 1990). Porém, quando esses fenômenos ocorrem em encostas ocupadas, causam impactos sociais e econômicos. No Brasil, a região Sudeste registrou mais de 80% das ocorrências de movimentos de massa entre os anos de 1990 e 2010 (UFSC & CEPED, 2012).

Dessa forma, entende-se que há necessidade de identificar as áreas suscetíveis a esses processos, viabilizando auxiliar políticas públicas de prevenção de desastres (CPRM & IPT, 2014). Foram desenvolvidos diferentes métodos de identificação de estabilidade de encosta, variando a escala de abordagem (VIEIRA & RAMOS, 2015). Para aplicação destes, deve-se considerar a base de dados disponível, bem como a viabilidade de realização de trabalhos de campo.

Para a realização desse trabalho, optou-se aplicar a metodologia em uma região do município de Campos do Jordão, uma vez que este é um município frequentemente afetado por processos de movimentos de massa, bem como dispõe de mapeamentos prévios que viabilizam a validação da metodologia proposta.

No estado de São Paulo, o município de Campos do Jordão encontra-se entre os municípios que registraram os maiores números de ocorrência de movimentos de massa em encostas entre os anos de 2000 a 2010, conforme dados do Instituto Geológico do estado de São

Paulo junto ao Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos Geológicos (BROLLO & TOMINAGA, 2012).

Em sua área urbana há regiões como a Vila Albertina, que já registrou graves deslizamentos na década de 1970 (AMARAL & FUCK, 1973) e sofre com deslizamentos pontuais frequentemente, resultando em óbitos e perdas materiais. Essa região é caracterizada pela ocupação irregular em taludes de corte e aterro, com elevada vulnerabilidade, devido ao baixo padrão construtivo das residências (IPT, 2002).

Esse cenário não é exclusivo do município de Campos do Jordão, portanto, entende-se que a aplicação da metodologia de previsão de movimentos de massa permite realizar estudos em outros municípios que frequentemente registram casos de movimentos de massa.

O objetivo do presente artigo é analisar a aplicabilidade de um modelo de estabilidade de encosta, o *SHALSTAB* (*Shallow slope stability model*) como método de identificação de áreas instáveis, aplicado na bacia do córrego Piracuama, onde se localiza a Vila Albertina. Como forma de validação do método, foi realizada a comparação entre resultados de modelagem numérica (*SHALSTAB*) para indicação de áreas suscetíveis a deslizamentos com um mapeamento de suscetibilidade realizado em parceria entre a CPRM – Serviço Geológico do Brasil e o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2014) e com o mapeamento de risco de deslizamento elaborado pelo IG – Instituto Geológico (2014).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os processos de movimentos de massa tem causas variadas, segundo USGS (2008), as causas primárias são de ordem natural e humana. As causas naturais são relacionadas à ação da água, atividade sísmica e atividade vulcânica. No Brasil, destacam-se os deslizamentos causados pela ação da água da chuva, conforme descreve CENAD (2012), podendo ser agravadas por atividades humanas.

Existem diferentes tipos de movimentos de massa que se distinguem pela velocidade e mecanismo do movimento, bem como pelo material, tipo de deformação resultante, pela geometria e pelo conteúdo de água no solo ou rocha (SELBY, 1993). Diante da variedade de elementos considerados pelas classificações, não há um consenso no meio acadêmico.

A classificação oficial no Brasil, que embasa o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil é dada pelo COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (CENAD, 2013). Em que, os desastres naturais geológicos e são subdivididos em quatro tipos: a) quedas, tombamentos e rolamentos de rocha; b) deslizamentos de solo e/ou rocha; c) corridas de massa; e d) subsidências e colapsos. Augusto Filho (1992), por sua vez, identifica os processos de encosta em quatro grandes classes: rastejos, escorregamentos, quedas e corridas.

Já Cruden e Varnes (1996) realizou sua classificação com base no tipo de processo, no material mobilizado, no conteúdo de água no solo e na velocidade do movimento, sendo esta a conceituação adotada para a presente pesquisa. Para estes autores, o deslizamento é o movimento de descida de massa de solo ou rocha pela encosta, em geral pela superfície de ruptura com atuação de força de cisalhamento.

Os principais tipos de deslizamentos são os rotacionais e os translacionais. Os deslizamentos rotacionais são caracterizados pelo movimento do material mobilizado sobre uma superfície de ruptura curva e côncava e, em geral, é composta por materiais mais homogêneos. Os deslizamentos translacionais são mais comuns em todos os ambientes e condições na Terra (USGS, 2008). Em geral, são deslizamentos pouco profundos, variando de um a quatro metros, podem abranger grandes extensões de

área e se caracterizam por resultar em um plano abrupto com ruptura bem definida. Este plano de ruptura ocorre em descontinuidades geológicas, como em falhas, estratificações ou no contato entre solo e rocha, uma vez que há diferença de densidade e permeabilidade entre os materiais (SELBY, 1993). Estes são movimentos de massa de grande velocidade.

Podem ainda ocorrer os deslizamentos compostos, que são resultados da combinação dos rotacionais com os translacionais. Em Campos do Jordão - SP, são mais comuns os deslizamentos translacionais (MENDES & VALÉRIO FILHO, 2015), devido às características geomorfológicas e de espessura do solo.

Quando ocorre precipitação de baixa intensidade, a circulação da água no solo em subsuperfície ocorre paralelamente ao contato entre os horizontes de solo com contraste de permeabilidade e em chuva de curta duração, a capacidade de drenagem do solo não chega a ser excedida. Mas quando a capacidade de drenagem é excedida por tempo suficiente e a poro-pressão aumenta substancialmente, tem-se a deflagração do processo de deslizamento (SELBY, 1993). Em caso de eventos extremos de precipitação, podem ocorrer diversos deslizamentos translacionais rasos, tanto induzidos - aqueles que ocorrem em encostas com taludes de corte e aterro - como deslizamentos em encostas naturais, sendo estes generalizados (AMARAL *et al.*, 2011).

Deslizamentos pontuais e induzidos são frequentes, tendem a gerar menor impacto à população exposta ao risco, ou seja, podem afetar pequeno número de pessoas, porém é possível que resulte em perdas humanas e materiais. Os deslizamentos generalizados ocorrem com menor frequência, porém a população afetada pode ser significativa e podem resultar em perdas materiais e humanas de grande escala. Segundo a ONU (UNISDR - AM, 2013), mais da metade das mortes e 90% das perdas materiais por desastres registrados nas Américas são resultantes de eventos pequenos e recorrentes.

Existem diferentes métodos para identificação de áreas suscetíveis a deslizamentos, Montgomery e Dietrich (1994), bem como Guimarães *et al.* (2008) as classificam da seguinte forma: análise de campo para identificação das áreas suscetíveis a deslizamentos; projeção de padrões de futuras instabilidades baseada em

mapeamentos geomorfológicos e geotécnicos; análise multivariada de instabilidade da encosta, através de modelos com bases estatísticas; e aplicação de modelos matemáticos de estabilidade de encosta e modelos hidrológicos.

O método utilizado para a presente pesquisa foi a aplicação de modelagem matemática, através do modelo *SHALSTAB*. Este é um modelo determinístico, embasado em relações físicas de causa e efeito, capaz de reproduzir os sistemas ambientais com base em equações físicas que simulam aproximadamente os mecanismos que deflagram movimentos de massa. A base de modelos desse tipo é método do talude infinito.

*SHALSTAB* foi desenvolvido por Montgomery e Dietrich (1994) e combina um modelo de estabilidade de encosta com um modelo hidrológico, sendo este embasado em modelos digitais de elevação, para definir níveis de estabilidade para cada pixel da base de dados.

Tem-se como resultado a identificação de áreas suscetíveis a deslizamento, de acordo com as classes de estabilidade de encosta. Dietrich *et al* (1998) propuseram a divisão em 7 classes de estabilidade. As classes mais extremas são: incondicionalmente instável e incondicionalmente estável, havendo 5 classes intermediárias.

Entende-se como instável quando a razão entre o nível de água e a profundidade do solo ( $h/z$ ) é igual a zero (0), assim a relação entre os parâmetros do solo não superam os efeitos de instabilidade da encosta. Já a classe incondicionalmente estável é caracterizada  $h/z$  é igual a um (1), ou seja, mesmo com o solo saturado, a relação entre os parâmetros do solo superam os efeitos de instabilidade da encosta (MICHEL *et al*, 2014). As classes intermediárias são estabelecidas pela razão  $q/T$  (chuva crítica necessária para ocorrer a ruptura dividida pela transmissividade do solo), conforme explicado por Michel *et al* (2014) e Ahrendt (2005). Como a razão  $q/T$  gera um número muito pequeno, é aplicada uma função logarítmica.

Este modelo é amplamente utilizado, em diferentes países, como no oeste dos Estados Unidos (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; DIETRICH *et al.*, 1998), análise de suscetibilidade na captação do Tibo (TEIXEIRA *et al.*, 2015) e comparação de modelos de suscetibilidade a deslizamentos na Coreia (PRADHAN & KIM,

2015). No Brasil há diferentes estudos, com aplicações no Rio de Janeiro (FERNANDES *et al.*, 2001, GUIMARÃES *et al.*, 2003), litoral paulista (VIEIRA, 2007; VIEIRA & RAMOS, 2015), no estado de Minas Gerais (FARIA *et al*, 2011), além de estudo com aplicação do *SHALSTAB* associado a outros modelos de previsão de risco de escorregamento e corridas de detritos (GOMES *et al.*, 2013).

O modelo *SHALSTAB* foi escolhido para a presente pesquisa por ser adequado para a base de dados disponível para Campos do Jordão, bem como, é adequado para a escala proposta. Ele tem a vantagem de fazer integração com base cartográfica, através de Sistema de Informação Geográfica, viabilizando a espacialização das classes de estabilidade de encosta.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

O município de Campos do Jordão - SP tem 290,5 km<sup>2</sup> de área e população de aproximadamente 47.800 habitantes, sendo que 99,37% da população reside na área urbana (IBGE, 2010). A expansão urbana do município se deu inicialmente nas áreas de menor declividade, respeitando as limitações do terreno, porém, desde a década de 1970, houve expansão urbana mais acelerada, resultando em ocupação das vertentes mais íngremes por população de médio e baixo poder aquisitivo (MODENESI-GAUTTIERI & HIRUMA, 2004). Quando a população de baixa renda vive nessas áreas, em moradias de baixo padrão construtivo, tornam-se mais vulneráveis aos processos de movimentos de massa.

A combinação de ocupação irregular em terrenos com alta declividade compreende fator predisponente para ocorrer movimentos de massa. A baixa infraestrutura urbana, como a deficiência dos sistemas de drenagem pluvial associado à ausência de pavimentação e sarjetas, resulta em formações de processos erosivos, devido à concentração de água, elevando a suscetibilidade de instabilização das encostas (IPT, 2002).

Campos do Jordão tem histórico frequente de ocorrência de deslizamentos pontuais e houve três eventos mais graves ao longo de sua história, nos anos de 1972, 1991 e 2000 (IPT, 2002).

Em 1972, ocorreu uma corrida de lama na Vila Albertina, vitimando dezessete pessoas

e soterrando sessenta casas. Em 1991, houve deslizamentos generalizados no município com registro de 200 mm de precipitação acumulada em três dias, resultando em 149 deslizamentos, ferindo quatro pessoas (IPT, 2002; IG, 2014).

Em 2000, ocorreu novamente deslizamentos generalizados. Houve um aumento da população ocupando áreas de encosta em relação ao desastre anterior. Há registro de precipitação de longa duração e forte intensidade, totalizando 453 mm de chuva em cinco dias. Esse evento atingiu desde áreas de risco ocupadas por moradias de médio e alto padrão construtivo até os terrenos com ocupação irregular de forma mais intensa, resultando na morte de dez pessoas (IPT, 2002).

Em janeiro de 2013, houve novamente eventos de deslizamentos em oito pontos diferentes. Os deslizamentos foram deflagrados por precipitação de 51,8 mm em 24 horas, totalizando 52,0 mm em 48 horas e 62,4 mm em 72 horas, com taxa máxima de 14 mm/h. Desse modo, entende-se que a precipitação acumulada em 24 horas foi a mais significativa para este evento, já que não havia elevados acumulados em 48 horas, bem como a taxa de precipitação instantânea máxima não foi elevada.

Para a elaboração da presente pesquisa, a região da Vila Albertina foi selecionada devido ao histórico de desastres. O recorte espacial definido é a bacia hidrográfica do córrego Piracuama (Figura 1).

Se tratando do município como um todo, elementos como geologia e geomorfologia também são fatores predisponentes para a ocorrência de movimentos de massa. A geologia da região é caracterizada pela presença de lineamentos estruturais, resultantes de ação tectônica atuante em diferentes períodos, inicialmente durante o Pré-Cambriano, resultando em foliações metamórficas das rochas e as zonas de cisalhamento de Jundiuvira, Paiol Grande e Buquira, cujo lineamento estrutural predominantemente é NE-SW e ENE-WSW. Até a atuação neotectônica com lineamentos morfoestruturais de direções N-S e NW-SE (HIRUMA *et al.*, 2001).

Em áreas com altitude superior a 1800 metros, na região do ribeirão Capivari, afloram rochas metamórficas (migmatitos, gnaisses bandados, gnaisses graníticos e moscovitas quartzitos) e ígneas (rochas granitoides)

(MODENESI-GAUTTIERI & HIRUMA, 2004). O mapa geológico disponível para a região foi produzido pelo DAEE e UNESP (1980) para o estado de São Paulo na escala 1:250.000. Nele, as diversas rochas metamórficas mencionadas acima foram reclassificadas como migmatitos e representam a única unidade geológica cartografada para toda a área.

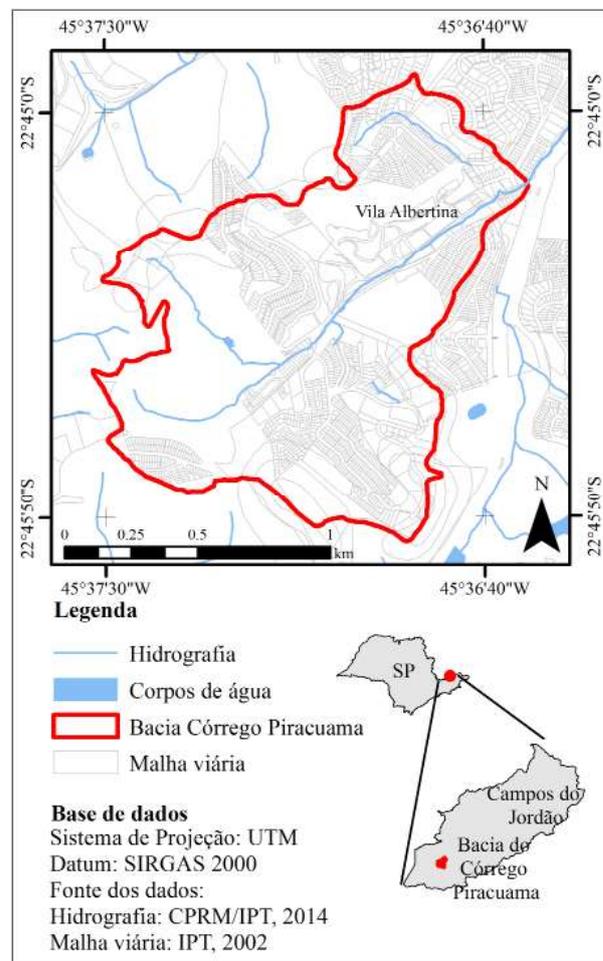


Fig. 1 - Localização da bacia do córrego Piracuama e da Vila Albertina em Campos do Jordão – SP.

A área de estudo está situada no Planalto de Campos do Jordão, localizado na porção sudoeste do bloco principal da Serra da Mantiqueira, pertencendo à província Geomorfológica do Planalto Atlântico (HIRUMA *et al.*, 2001). Com altitude superior a 2000 metros, o Planalto de Campos do Jordão é limitado por escarpas com cerca de 1.500 metros acima das colinas do médio Vale do Paraíba (MODENESI-GAUTTIERI & HIRUMA, 2004).

A compartimentação geomorfológica identificada por Modenesi-Gauttieri & Hiruma

(2004) em escala de detalhe que abrange parte da área de estudo (Figura 2) considera diversos elementos do meio físico. A região da Vila Albertina caracteriza-se pela presença de anfiteatros de erosão, depressões turfosas, foliações metamórficas, planícies aluviais, terracettes, campos com erosão laminar (fraca a intensa) e há presença de mata.

Dentre os fatores geomorfológicos que influenciam na estabilidade de encosta, a variação da declividade se destaca. Este é inclusive um fator de tomada de decisão para aprovação de ocupação de áreas urbanas (BITAR *et al*, 2012). A declividade de 30%, equivalente a 17° de inclinação é um valor de referência, uma vez que a ocupação acima desse valor necessita de avaliação geotécnica. As áreas com declividade superior a 47%, ou seja, com inclinação superior a 25° não devem ser ocupadas tanto no meio urbano quanto no rural.



Fig. 2 - Esboço geomorfológico da região da Vila Albertina. Fonte: Modenesi-Gauttieri e Hiruma (2004).

Segundo Bittar *et al* (2012), estudos realizados na região Sudeste apontam inclinação de 30° (58% de declividade) como parâmetros em que ocorrem frequentes deslizamentos. A

Figura 3 representa espacialmente a variação da declividade encontrada, em que se observa trechos significativos com declividade superior a 47%, concentrada na sua porção norte, onde também são observadas algumas vias, onde há residências.

A ocupação urbana na bacia do córrego Piracuama ocorre de forma significativas em terrenos com declividades superiores a 30% e mesmo em áreas com declividades superiores a 47% e que não deveriam ser ocupadas.

Devido ao seu histórico de desastres, Campos do Jordão foi um dos municípios contemplados para realização de mapeamento de suscetibilidade de movimentos de massa e inundação realizado em uma parceria entre a CPRM e o IPT. Essa parceria segue as diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012), para realizar mapeamento de suscetibilidade para centenas de municípios incluídos no cadastro nacional.

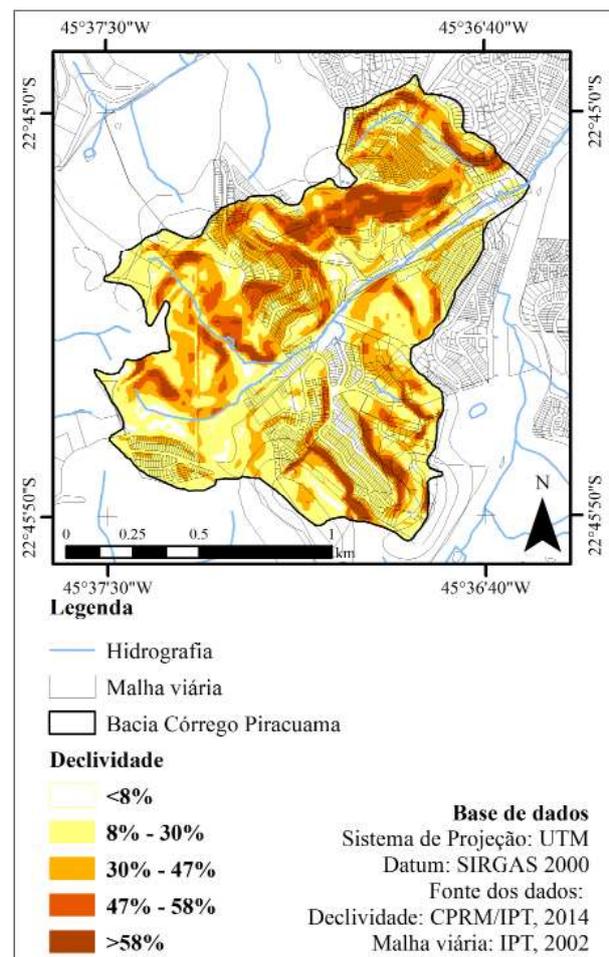


Fig. 3 - Mapa de declividade da bacia do córrego Piracuama. Fonte: CPRM & IPT (2014) - modificado.

O mapeamento que gerou a *Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações* segue o objetivo de evitar ou reduzir a ocorrência de desastres naturais, sendo compreendida como uma das ferramentas de prevenção a desastres naturais. A identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de processos de movimentos de massa possibilita embasar o ordenamento territorial e o desenvolvimento urbano (CPRM & IPT, 2014).

O mapeamento de suscetibilidade foi realizado para toda a área do município de Campos do Jordão e destaca as áreas urbanizadas, ou seja, indica as áreas que combinam elevada suscetibilidade e ocupação urbana. A suscetibilidade é analisada através dos fatores predisponentes intrínsecos à natureza dos terrenos. Os fatores considerados para tal trabalho são relacionados à geologia, geomorfologia, solos e hidrologia. Com isso, foram identificadas as áreas com características favoráveis à ocorrência dos processos de movimentos de massa. Cabe destacar que o mapeamento de suscetibilidade realizado pela CPRM e IPT (2014) contemplou os seguintes tipos de processos de movimentos de massa: deslizamentos; rastejos; quedas, tombamento, deslocamentos e rolamentos de rochas; bem como corridas de massa.

Além do mapeamento de suscetibilidade realizado pela CPRM e IPT, o IG fez um mapeamento de risco, no ano de 2014, na área urbana do município. O objetivo deste mapeamento é de subsidiar as Defesas Civis Municipal e Estadual na identificação e gerenciamento de perigos e risco de desastres naturais como: deslizamento, inundação, erosão e solapamento de margens.

#### 4. METODOLOGIA

A definição da área de estudo se deu, primeiramente, devido ao histórico de ocorrências. O município de Campos do Jordão está entre os oito municípios com maior frequência de eventos de deslizamentos. Foram, segundo Brollo e Tominaga (2012) mais de dez ocorrências entre os anos de 2000 a 2011.

Para a elaboração da presente pesquisa, verificou a base de dados necessária e disponível, conforme Quadro 1. Com isso foram utilizados dados espaciais e georreferenciados disponibilizados pela CPRM e IPT (2014), incluindo topográficos, hidrográficos, bem como o próprio mapeamento

de suscetibilidade. Esse material é resultante do Programa de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais, que resultou na elaboração de Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações na escala de 1: 25.000 para grande parte dos 300 municípios mapeados até janeiro de 2016. Os dados estão disponíveis gratuitamente no portal do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2016).

Quadro 1: Base de dados para elaboração de estudo de estabilidade de encosta na bacia do córrego Piracuama – Campos do Jordão – SP

Tema	Base de dados	Fonte	Escala
Base cartográfica	Dados topográficos	CPRM & IPT (2014)	1:10.000
	Hidrografia	CPRM & IPT (2014)	1:25.000
Parâmetros geotécnicos	Ângulo de atrito	Ahrendt (2005)	-
	Peso específico	Ahrendt (2005)	
	Coesão do solo	Ahrendt (2005)	
Mapeamentos	Suscetibilidade	CPRM & IPT (2014)	1:25.000
	Risco	IG (2014)	1:3.000
Dados de ocorrência	Localização de pontos de deslizamentos	Mendes & Valério filho (2015)	-

Além desse material, foram utilizados dados vetoriais do mapeamento de risco realizado pelo IG (2014), bem como informações geotécnicas, disponíveis na tese de doutorado de Ahrendt (2005), que realizou ensaios de cisalhamento direto em amostras coletadas em bairros vizinhos à bacia estudada em Campos do Jordão. Ainda foram utilizadas informações de localização dos registros de deslizamentos ocorridos em janeiro de 2013 (MENDES & VALÉRIO FILHO, 2015).

Com a base de dados e informações levantadas foi possível aplicar o modelo *SHALSTAB*. Esse método é aplicado em ambiente computacional através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), possibilitando realizar análise espacial, com base em dados topográficos e geológico-geotécnicos (AHRENDT, 2005). O modelo funciona por meio de uma extensão de domínio

público compatível com o *ArcView*<sup>®</sup> 3.2 da *ESRI* - *Environmental Systems Research Institute*.

Para tanto, foram utilizados dados topográficos na escala 1:10.000, com curvas de nível equidistantes em 5 metros (CPRM & IPT, 2014). Com a base topográfica foi possível realizar a delimitação da bacia do córrego Piracuama, e posterior recorte das curvas de nível através do programa *ArcGIS*<sup>®</sup> 10.1, da *ESRI*. A base hidrográfica utilizada está em escala 1:25.000, proveniente da base de dados da CPRM e IPT (2014).

Desse modo, foi gerado o TIN (uma rede de triângulos irregulares) a partir das curvas de nível. Posteriormente, o resultado foi convertido em uma grade regular com resolução espacial de 4 metros, gerando o MDT (Modelo Digital de Terreno) para a área de estudo. Na sequência, fez-se a verificação e remoção de depressões espúrias (*sink*), para então identificar as áreas de contribuição, forma da encosta e produzir o mapa de declividade. Com esses produtos gerados, foi possível aplicar o modelo *SHALSTAB* e gerar cenários de estabilidade de encosta. A ferramenta utilizada para gerar os cenários foi o *SHALSTABco*, que determina a razão entre a chuva e a transmissividade com base na relação entre a profundidade do solo e sua coesão.

Os três cenários gerados se embasaram nos parâmetros geotécnicos conforme Tabela 1, em que foram feitas simulações com variação de profundidade, coesão e ângulo de atrito interno do solo. Os dados de profundidade foram extraídos de Mendes e Valério Filho (2015) e os dados de coesão e ângulo de atrito foram obtidos de Ahrendt (2005).

Tabela 1: Parâmetros geotécnicos utilizados nos cenários de suscetibilidade a deslizamento translacional

Cenário	Profundidade (m)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
1	0,5	1,0	30
2	1,0	1,0	30
3	1,5	2,0	33

Fonte: Mendes & Valério Filho (2015) e Ahrendt (2005).

Posteriormente, foi realizada a comparação dos cenários de estabilidade resultantes com o mapeamento de suscetibilidade (CPRM &

IPT, 2014) e com o mapeamento de risco (IG, 2014). Em seguida, a localização dos registros de deslizamentos ocorridos em janeiro de 2013 (MENDES & VALÉRIO FILHO, 2015) foram analisados espacialmente comparando com setores que apresentaram maior instabilidade.

A comparação entre os resultados obtidos do mapeamento de estabilidade de encosta para os cenários 1, 2 e 3 com o mapeamento de suscetibilidade (CPRM & IPT, 2014) foi realizada com base na área total da bacia do córrego Piracuama (156 ha). Observou-se a área de cada classe de estabilidade que tem correspondência com as classes de suscetibilidade e posteriormente, analisou-se a porcentagem de correspondência entre as classes.

Já a comparação do mapeamento de estabilidade em seus três cenários com o mapeamento de risco (IG, 2014) foi realizada com base apenas nos polígonos das áreas de risco. Isso foi realizado para que não fosse mascarado o resultado, dando maior ênfase às áreas previamente mapeadas. Posteriormente, fez-se a comparação da correspondência entre as áreas das classes de estabilidade e das classes de risco. Ao final, foram analisadas as porcentagens de área correspondentes às classes de estabilidade e risco.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos frequentes eventos de movimentos de massa, entende-se a importância de realizar pesquisas para aplicação de metodologias de análise de estabilidade de encosta. Na presente pesquisa, foram gerados três cenários de estabilidade de encosta com base na variação da profundidade do solo, de sua coesão e do ângulo de atrito interno, através do modelo *SHALSTAB*. Como forma de validação dos resultados, estes cenários foram comparados com o mapa de suscetibilidade previamente produzido pela CPRM e IPT (2014) e o mapa de risco elaborado pelo IG (2014), para o município de Campos do Jordão - SP.

A comparação entre os cenários indicou que a estabilidade de encosta se altera de acordo com a variação da profundidade do solo. Os cenários 1 e 2 foram gerados com mesmos valores de coesão (1,0 kPa) e ângulo de atrito (30°), variando apenas a profundidade do solo (cenário 1: 0,5 m; cenário 2: 1,0 m).

Historicamente, a superfície de ruptura das encostas em Campos do Jordão ocorre a uma

profundidade de aproximadamente 1,5 metro (MENDES & VALÉRIO FILHO, 2015). Deste modo, foi gerado o cenário 3, composto por parâmetros ligeiramente mais elevados de coesão (2,0 kPa) e atrito (33°), coerentes com o que se observa no ambiente natural (AHRENDT, 2005).

Ao analisar a área de cada classe se estabilidade de encosta para os três cenários, observou-se que os resultados dos cenários 2 e 3 foram semelhantes, porém o cenário 1 diferiu dos demais (Tabela 2). É possível observar no mapa (Figura 4A), que em comparação com os demais cenários (Figuras 4B e 4C) que o cenário 1 apresentou menos áreas de grande instabilidade. Ao se comparar os cenários 2 e 3, observou-se que há maior semelhança entre eles (Figuras 4B e 4 C).

Tabela 2: Comparação da área de cada classe de estabilidade para os cenários 1, 2 e 3

Classes		Cenário 1 Área (ha)	Cenário 2 Área (ha)	Cenário 3 Área (ha)
Classe 1	Incondicionalmente instável	4.16	6.56	6.85
Classe 2	$\log q/T < -3.1$	1.94	3.59	3.45
Classe 3	$-3.09 < \log q/T < -2.79$	3.69	6.38	6.06
Classe 4	$-2.78 < \log q/T < -2.5$	8.60	12.48	11.78
Classe 5	$-2.49 < \log q/T < -2.2$	13.96	18.22	17.21
Classe 6	$\log q/T > -2.2$	13.79	15.78	15.04
Classe 7	Incondicionalmente estável	109.86	92.96	95.57

Tabela 3: Comparação entre os cenários de estabilidade de encosta gerados pelo SHALSTAB e os dados do mapeamento de suscetibilidade

ESTABILIDADE X SUSCETIBILIDADE									
Parâmetros:	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	P = 0,5m; C = 1,0 kPa; $\phi = 30^\circ$			P = 1,0m; C = 1,0kPa; $\phi = 30^\circ$			P = 1,5; C = 2,0kPa; $\phi = 33^\circ$		
Suscetibilidade:	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
Classes	%			%			%		
Classe 1	26.68	23.56	49.52	28.20	25.61	46.04	28.18	26.28	45.55
Classe 2	26.29	35.57	38.14	28.41	41.23	30.36	28.70	40.29	31.01
Classe 3	33.33	38.75	27.91	39.18	39.66	21.16	39.11	39.27	21.78
Classe 4	37.21	42.21	20.47	43.19	42.55	14.26	42.28	43.12	14.52
Classe 5	36.82	44.27	18.84	44.84	42.43	12.62	43.99	42.88	13.02
Classe 6	42.42	43.44	14.07	50.38	40.87	8.56	49.47	41.56	8.78
Classe 7	78.35	19.64	1.86	81.96	16.47	1.41	81.41	16.95	1.48

P = Profundidade; C = Coesão;  $\phi$  = Ângulo de Atrito. Fonte: Dados do mapeamento de suscetibilidade (CPRM & IPT, 2014), parâmetros geotécnicos (MENDES & VALÉRIO FILHO, 2015; AHRENDT, 2005).

Posteriormente, foi realizada a comparação entre os resultados do mapeamento de estabilidade de encosta gerados pelo modelo SHALSTAB (cenários 1, 2 e 3) com o mapa de suscetibilidade através de dados numéricos, conforme Tabela 3. Novamente o cenário 1 apresentou-se discrepante dos demais, concentrando maior concordância entre as classes de estabilidade de encosta com a classe de média suscetibilidade a deslizamentos. A classe de suscetibilidade baixa, teve similaridade apenas com a classe incondicionalmente estável.

Finalmente, a classe de suscetibilidade alta englobou duas classes de maior instabilidade resultante do modelo.

Ao se comparar os cenários 2 e 3, observou-se que há maior semelhança entre eles (Tabela 3). Há uma sutil variação da classe 4 do modelo de estabilidade em comparação com as áreas de suscetibilidade média, em que o cenário 3 respondeu de maneira mais adequada. Desse modo, esse cenário foi escolhido para as comparações com os mapeamentos de suscetibilidade, risco e com as áreas urbanas.

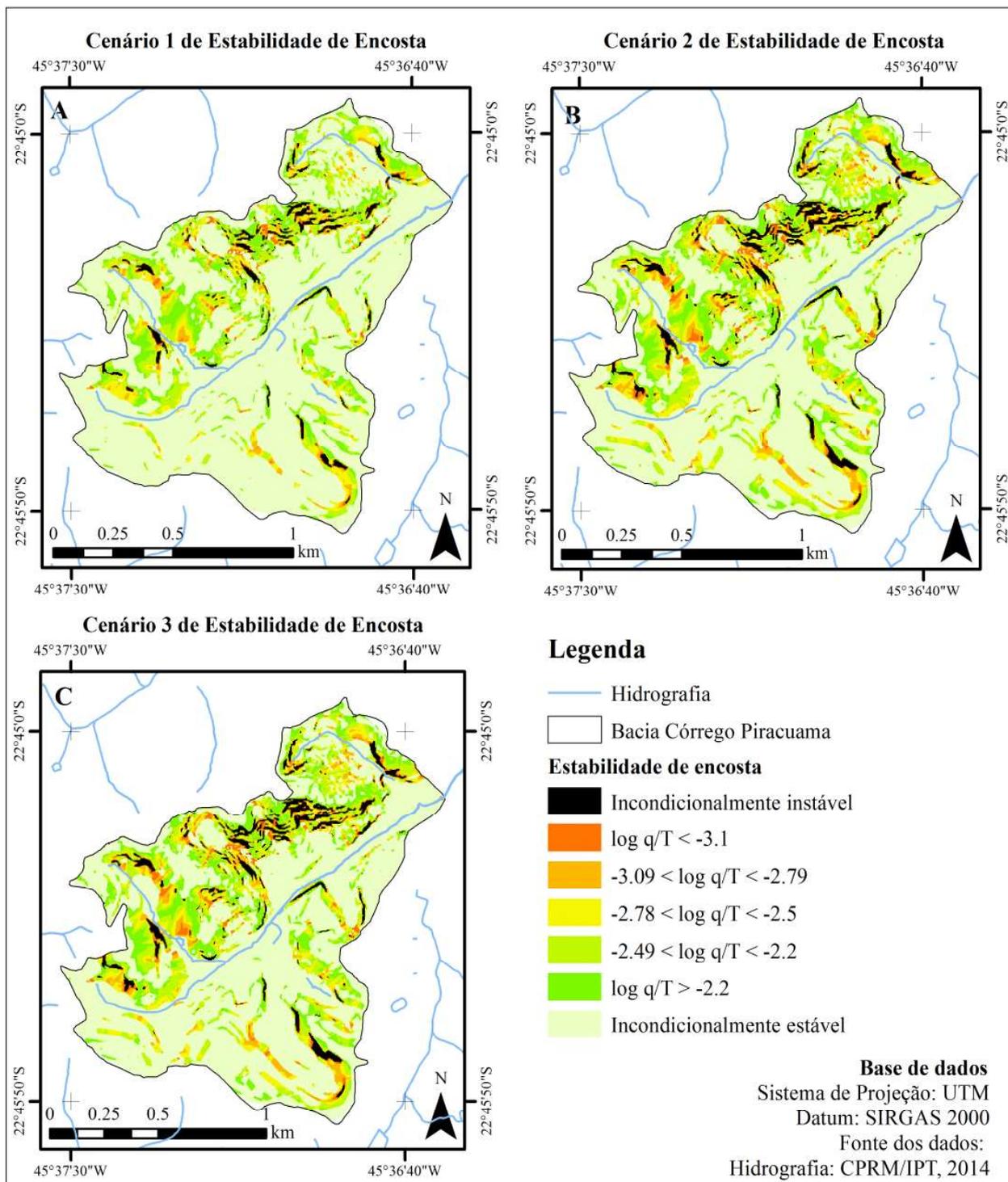


Fig. 4 - (A, B e C): Cenários 1, 2 e 3 de estabilidade de encosta para a bacia do córrego Piracuama.

Ainda, o cenário 3 mostra o melhor resultado, uma vez que as classes de estabilidade de encosta ficaram melhor distribuídas em relação às classes de suscetibilidade previamente mapeadas. Observa-se que 45.5% da classe 1 de estabilidade, aquela que o modelo indica como classes incondicionalmente instável, é correspondente à classe de *alta* suscetibilidade. No que se refere às classes 2, 3 e 4 de estabilidade, estas foram representadas de forma

mais significativa pela classe de suscetibilidade *média*. As classes 5, 6 e 7 de estabilidade, por sua vez, foram mais semelhantes com a classe de *baixa* suscetibilidade (Tabela 3).

As Figuras 5A, 5B e 5C representam cada classe de suscetibilidade, conforme o mapeamento da CPRM e IPT (2014) em comparação com os dados espacializados das sete classes de estabilidade de encosta gerados pelo modelo.

A Figura 5A destaca a classe de suscetibilidade alta, indicando coerência com o mapeamento de estabilidade, pois, em especial na porção norte, onde concentram-se as áreas de maior instabilidade e onde se localiza a Vila Albertina. A classe de suscetibilidade *média* apresenta distribuição de variadas classes de estabilidade (Figura 5B). Já a classe de suscetibilidade *baixa* tem maior concentração de classes 5, 6 e 7 de estabilidade de encosta (Figura 5C).

Em seguida, fez-se a comparação entre os cenários gerados pelo modelo de estabilidade com o mapeamento de risco (IG, 2014). Nesse caso, observou-se divergência entre as classes dos diferentes mapeamentos.

O cenário 1 concentrou seis das sete classes de estabilidade na classe de risco *muito alto* (Tabela 4). Os cenários 2 e 3, por sua vez, geraram resultados muito semelhantes entre si. Porém, as classes 1, 2 e 3 de estabilidade tiveram correspondência com a classe de risco *muito alto* e as classes de 4 a 7 foram equivalentes à classe de risco *médio*. Não houve correlação entre as classes de estabilidade de nenhum dos cenários com as classes de risco *baixo* e *alto*.

Entende-se que a falta de correspondência entre as classes de estabilidade e as classes de risco *alto* e *baixo* se deve pela diferença da metodologia aplicada. O mapeamento de risco realizado em campo, considerou as áreas fonte de material com potencial para deslizar e suas áreas de atingimento; no caso do mapeamento de estabilidade de encosta, gerado nesta pesquisa, identificou-se apenas as áreas fonte, de acordo

com as características topográficas e geotécnicas.

Porém, ao observar a distribuição espacial do mapeamento de estabilidade gerado pelo modelo *SHALSTAB* nas áreas de risco mapeadas (IG, 2014), nota-se que a classe mapeada com grau de risco *muito alto* foi condizente com as áreas identificadas como aquelas de maior instabilidade, conforme pode ser observado na Figura 6A.

A área de risco *muito alto* tem a maior concentração de áreas instáveis em comparação com as áreas de risco, *alto*, *médio* e *baixo* (Figuras 6B, 6C e 6D). Dessa forma, destaca-se novamente a região da Vila Albertina, como área de maior instabilidade, sendo esta também mapeada com grau de risco *muito alto* (IG, 2014).

Observa-se na Figura 7 que as demais áreas com elevada instabilidade, localizadas na região oeste e sul da bacia do córrego Piracuama não tem ocupação urbana. Com isso, essas áreas não constam no mapeamento de risco (IG, 2014), uma vez que não há população exposta. Essa informação é relevante para o planejamento urbano, indicando que estas não são áreas favoráveis à expansão urbana.

Foram espacializados os pontos de deslizamentos que ocorreram em janeiro de 2013 em Campos do Jordão e dos oito deslizamentos registrados nesse período, quatro ocorreram na bacia em questão (MENDES & VALÉRIO FILHO, 2015). Essa espacialização indica que os deslizamentos ocorreram em áreas de maior instabilidade (Figura 7). Tal constatação corrobora com a metodologia aplicada no presente estudo é adequada para identificação das encostas com maior instabilidade.

Tabela 4: Comparação entre os cenários de estabilidade de encosta gerados pelo *SHALSTAB* e os dados do mapeamento de risco

ESTABILIDADE X RISCO												
	Cenário 1				Cenário 2				Cenário 3			
Parâmetros	P = 0.5m; C = 1,0 kPa; $\phi = 30^\circ$				P = 1,0m; C = 1,0kPa; $\phi = 30^\circ$				P = 1,5; C = 2,0kPa; $\phi = 33^\circ$			
Risco	Baixo	Médio	Alto	M. Alto	Baixo	Médio	Alto	M. Alto	Baixo	Médio	Alto	M. Alto
Classes	%				%				%			
Classe 1	5.43	10.41	3.62	81.00	5.36	12.50	3.57	79.27	5.46	12.93	3.45	78.45
Classe 2	7.62	26.67	1.90	63.81	6.00	36.67	2.00	54.67	6.25	36.81	2.08	54.17
Classe 3	7.63	36.44	1.69	55.08	9.58	43.71	1.20	44.91	11.95	44.03	0.63	45.91
Classe 4	6.85	41.13	2.02	48.79	8.83	50.16	1.58	39.43	8.97	49.83	1.66	39.87
Classe 5	10.00	40.26	3.33	46.41	13.93	43.84	4.11	37.90	13.60	44.15	4.30	38.19
Classe 6	12.53	40.73	5.48	41.25	16.13	45.97	5.91	31.99	16.30	45.03	5.80	32.60
Classe 7	21.37	58.89	2.71	0.54	22.57	59.14	2.31	16.14	22.27	59.29	2.30	16.28

P = Profundidade; C = Coesão;  $\phi$  = Ângulo de Atrito. Fonte: Dados do mapeamento de risco (IG, 2014), parâmetros geotécnicos (MENDES & VALÉRIO FILHO, 2015; AHRENDT, 2005).

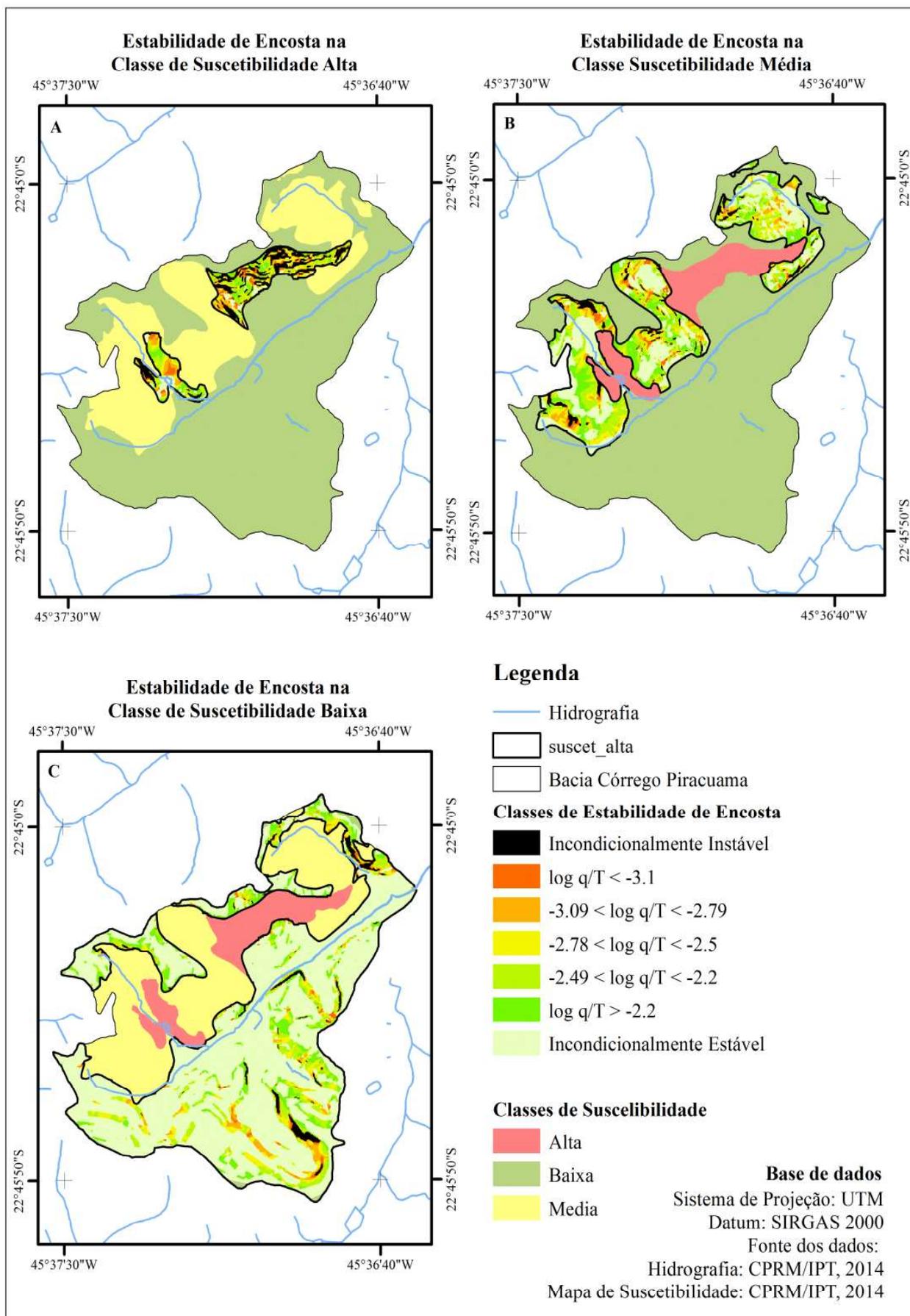


Fig. 5 - Comparação entre o cenário 3 gerado pelo modelo *SHALSTAB* com as classes de suscetibilidade (CPRM & IPT, 2014).

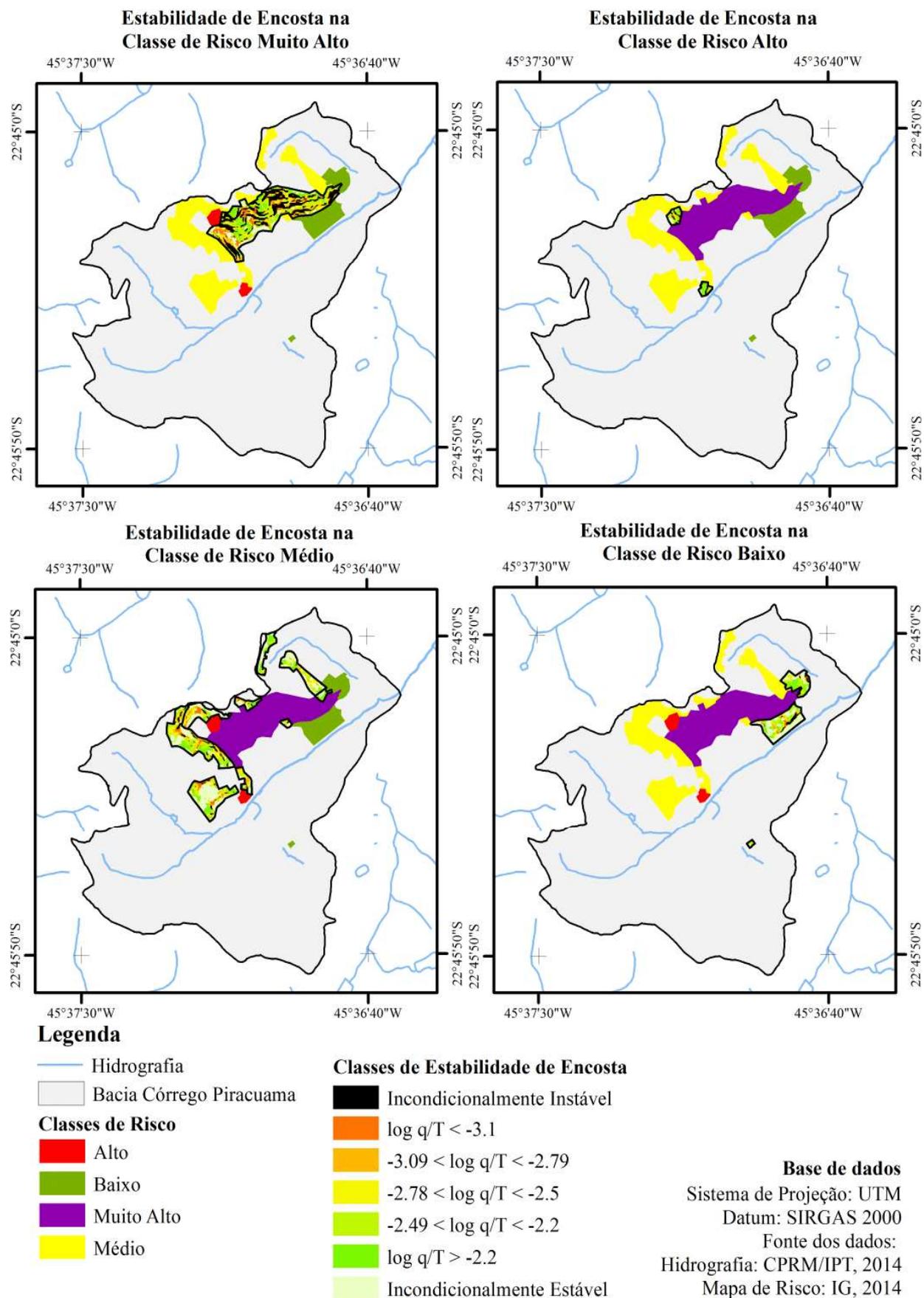


Fig. 6 - Comparação entre o cenário 3 gerado pelo modelo SHALSTAB com as classes de risco (IG, 2014).

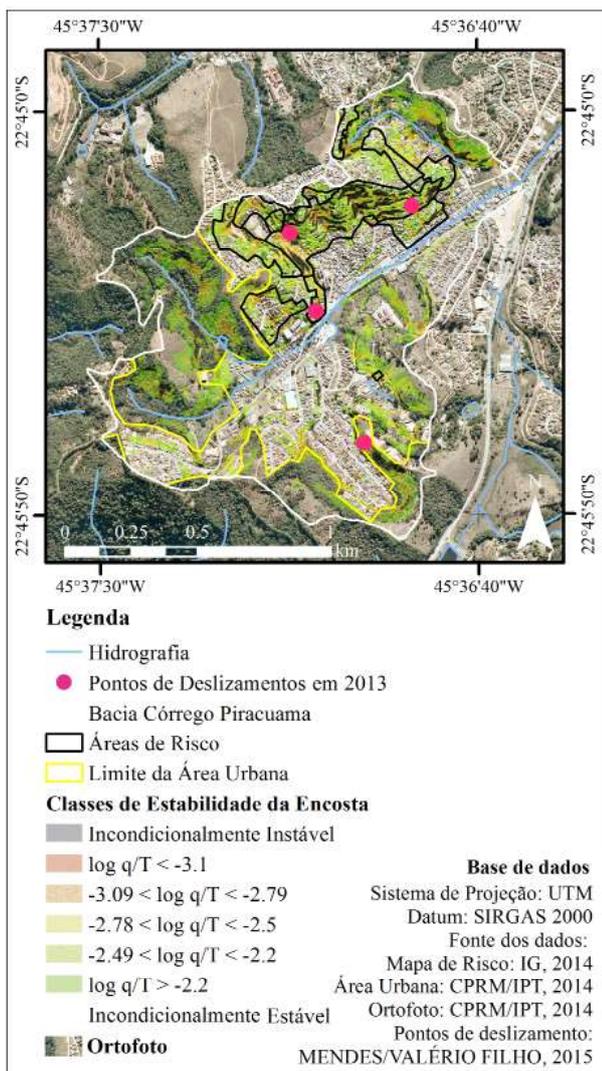


Fig. 7 - Cenário 3 com delimitação da área urbana (CPRM & IPT, 2014), espacialização das áreas de risco (IG, 2014), localização dos pontos de deslizamento ocorridos em janeiro de 2013 (MENDES & VALÉRIO FILHO, 2015) sobre ortofoto (CPRM & IPT, 2014).

## 6. CONCLUSÃO

A aplicação do modelo de estabilidade de encosta *SHALSTAB* na bacia do córrego Piracuama mostrou-se adequada como método de identificação de áreas instáveis. As áreas de maior instabilidade indicadas pelo modelo são condizentes com as áreas cartografadas com *alto* grau de suscetibilidade a deslizamento cartografadas pela CPRM e IPT (2014), bem como, com as áreas de risco *muito alto* mapeadas pelo IG (2014), nas áreas urbanas da bacia.

A ocorrência de quatro deslizamentos em 2013 nas áreas consideradas mais instáveis, também corrobora com a adequada aplicabilidade

do modelo para fins de mapeamento de instabilidade de encostas.

Com isso, entende-se que o modelo *SHALSTAB* é adequado para aplicação em estudos semelhantes para outras localidades, auxiliando no planejamento urbano e ações da defesa civil como forma de prevenção à ocorrência de deslizamentos.

Observou-se que a região da Vila Albertina é a área de maior instabilidade na bacia do córrego Piracuama. Esta é também a região com ocupação mais densa da bacia e uma das áreas com maior vulnerabilidade, devido ao baixo padrão construtivo das edificações, elevando o risco a processos de movimentos de massa.

Considera-se que a adequada aplicabilidade da metodologia usada no presente estudo se deve também ao fato do modelo *SHALSTAB* basear-se num tipo de mecanismo de ruptura semelhante àquele observado nos deslizamentos ocorridos na área estudada, ou seja, translacional raso. Bem como, pelo fato deste modelo ser aplicado a um SIG, viabilizando a espacialização das classes de estabilidade.

Este é um estudo preliminar de identificação das encostas mais suscetíveis a deslizamento e no momento, está sendo dada a continuidade ao estudo. Pois, foram identificadas seções transversais nas áreas de maior instabilidade indicadas no presente trabalho para a realização de análises de estabilidade acopladas a fluxo transiente com o software da *GeoSlope®* (*SEEP/W* e *SLOPE/W*) incluindo parâmetros geotécnicos e uso do solo para identificar a chuva crítica que pode causar novos processos de deslizamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENDT, A. **Movimentos de Massa Gravitacionais – proposta de um sistema de previsão**: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP. 2005, 364p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2005. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-06102006-090547/pt-br.php>>. Acesso em: 05 set. 2015.

AMARAL, C.; LIMA I. F.; VAREJÃO L. C., SANTANA, M. **Carta de risco remanescente a escorregamentos no município de Teresópolis,**

- após o Megadesastre'11 da Região Serrana.** Pôster apresentado no Simpósio de Geologia do Sudeste n. 12, 2011, Nova Friburgo, RJ. Disponível em: <<http://www.drm.rj.gov.br>>. Acesso em: 05 set. 2015.
- AMARAL, S. E.; FUCK, G. F. Sobre o deslizamento de lama turfosa ocorrido em Campos do Jordão, SP, em agosto de 1972. **Boletim IG**, v. 4, São Paulo, 1973, p. 21-37. Disponível em: <<http://igc.usp.br/igcJournal/index.php/bigusp/article/view/2060>>. Acesso em: 10 jun. 2016.
- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas:** uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, n. 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais.. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, 1992, p. 721-733.
- BITAR, O. Y; FREITAS, C. G. L; FERREIRA, A. L. **Classificação de declividade para fins de normalização geotécnica em planejamento urbano:** estudos em áreas de domínio pré-cambriano na região sudeste. In: Congresso Brasileiro de Geologia, n. 46; Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa, n.1, 2012, 1 p. Santos. (Comunicação Técnica n. 171029) Santos: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT , 2012
- BRASIL – Presidência da República. Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC.** Brasília, 10 abr. 2012, s/p. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm)>. Acesso em: 25 ago. 2015.
- BROLLO, M. J.; TOMINAGA, L. K. (Org.) **Desastres Naturais e Riscos Geológicos no Estado de São Paulo:** cenário de referência - 2012. Boletim n. 1 – Grupo de Articulação de Ações Executivas (GAAE).1ª ed. São Paulo: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil, 2012, 100 p. Disponível em: <[http://www.defesacivil.sp.gov.br/v2010/portal\\_defesacivil/conteudo/documentos/pdn/boletimgaae27dez2012.pdf](http://www.defesacivil.sp.gov.br/v2010/portal_defesacivil/conteudo/documentos/pdn/boletimgaae27dez2012.pdf)>. Acesso em: out. 2015.
- CENAD - Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais:** 2011. Brasília: CENAD, 2012. 80 p.
- CENAD - Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais:** 2012. Brasília: CENAD, 2013. 84 p.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos de Gravitacionais de Massa e Inundações:** 1:25.000 - nota técnica explicativa. BITTAR, O. Y (coord.). São Paulo: Publicação IPT n. 3016, 2014, 42 p. (CD-ROM).
- \_\_\_\_\_. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos de Gravitacionais de Massa e Inundações.** 2016, s/p. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-3507.html>>. Acesso em: jun. 2016.
- CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslide Types and Processes. CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. In: **Landslides:** investigation and mitigation. Washington: Transportation Research Board Business Office, 1996, p. 36-75.
- CRUZ, O. Contribuição Geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar. **Revista IG**, v. 8-10,11 n. 1, 1990, p. 9-20. Disponível em: <[http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista\\_ig/v8-11n1a02.pdf](http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista_ig/v8-11n1a02.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2016.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE; Universidade Estadual Paulista - UNESP. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** Escala 1:250.000. São Paulo: Convênio DAEE/UNESP, Secretaria de Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1980, s/p. (Compilação eletrônica Lebac/ IGCE/ Unesp, 2009).
- DIETRICH, W.E., REAL DE ASUA, R., COYLE, J., ORR, B., TRSO, M. **A validation study of the shallow slope stability model, SHALSTAB, in forested lands of Northern California.** Berkeley: UC Berkeley, 1998, 59 p. Disponível em: <[http://www.krisweb.com/biblio/gen\\_ucb\\_dietrichetal\\_1998\\_SHALSTAB.pdf](http://www.krisweb.com/biblio/gen_ucb_dietrichetal_1998_SHALSTAB.pdf)>. Acesso em: 01 dez. 2013.
- FARIA, R. L., OLIVEIRA. D. C. G., ZAIDAN,

- R. T. **Zoneamento de áreas suscetíveis à Ocorrência de Escorregamentos na Bacia do Rio Paraibuna** – MG/RJ. Principia, v. 15, 2011, p. 57-64. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/5581.htm>>. Acesso em: 05 dez. 2013.
- FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., VIEIRA, B. C., MONTMOMERY, D. R., GREENBERG, H. **Condicionantes Geomorfológicas dos Escorregamentos nas Encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelos de previsão de áreas susceptíveis**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, n. 1, 2001, p. 51-71.
- GOMES, A. T. G., GUIMARÃES, R. F., CARVALHO JUNIOR, O. A., FERNANDES, N. F., AMARAL JUNIOR, E. V. Combining Spatial Models for Shallow Landslides and Debris-Flows Prediction. **Remote Sensing**, v. 5, 2013, p. 2219-2237. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing)>. Acesso em: 20 nov. 2013.
- GUIMARÃES, R. F., CARVALHO JUNIOR, 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.
- \_\_\_\_\_; FERNANDES, N. F., GOMES, R. A. T., CARVALHO JUNIOR, O. A. Fundamentação Teórica do Modelo Matemático para Previsão de Escorregamentos Rasos – Shallow Stability. **Espaço & Geografia**, v. 6, n. 2, 2003, p. 133-150. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/10671>>. Acesso em: 25 nov. 2013.
- HIRUMA, S. T.; RICCOMINI, C.; MODENESI-GAUTTIERI, M. C. Neotectônica no planalto de Campos do Jordão, SP. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 31, v. 3, 2001, p. 375-384. Disponível em: <<http://www.researchgate.net/publication/34283968>>. Acesso em: 07 set. 2015.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**, 2010, s/p. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=10&uf=00>>. Acesso em: 13 jan. 2014.
- IG – Instituto Geológico. **Mapeamento de Riscos Associados a Escorregamentos, Inundações, Erosões e Solapamentos de Margens**: Relatório Técnico - Município de Campos do Jordão. Volume I Relatório Executivo - Síntese, 2014, 16 p.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Assessoria técnica para a estabilização das encostas, recuperação da infra-estrutura urbana e reurbanização das áreas de risco atingidas por escorregamentos na área urbana do município de Campos do Jordão, SP**. (Relatório Técnico n. 64.399). São Paulo: IPT – Divisão de Geologia, 2002, 49 p. (CD-ROM)
- MENDES, R. M.; VALÉRIO FILHO, M. Real-Time Monitoring of Climatic and Geotechnical Variables during Landslides on the Slopes of Serra do Mar and Serra da Mantiqueira (São Paulo State, Brazil). **Engineering**, n. 7, 2015, p. 140-159. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/eng.2015.73012>>. Acesso em 01 set.2015.
- MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M.; GOERL, R. F. Comparative Analysis of SHALSTAB and SINMAP for Landslide Susceptibility Mapping in the Cunha River Basin, Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, ed. 7, 2014, p. 1266-1277.
- MODENESI-GAUTTIERI, M. C.; HIRUMA, S. T. A Expansão Urbana no Planalto de Campos do Jordão -diagnóstico geomorfológico para fins de planejamento. **Revista do Instituto Geológico**, n. 25, v.1/2, 2004, p. 1-28. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/269650067>>. Acesso em: 07 set. 2015.
- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, 1994, p. 1153-1171.
- PRADHAN, A. M. S.; KIM, Y. Application and comparison of shallow landslide susceptibility models in weathered granite soil under extreme rainfall events. **Environment Science**, n. 73, 2015, p. 5761-5771. Disponível em: <[link.periodicos.capes.gov.br/ez106.periodicos.capes.gov.br](http://link.periodicos.capes.gov.br/ez106.periodicos.capes.gov.br)> Acesso em: 28 abr. 2016.
- SELBY, M. J. **Hillslope Material and Process**. 2ª ed. New York: Oxford University Press, 1993, 480 p.

TEIXEIRA, M.; BATEIRA, C.; MARQUES, F.; VIEIRA, B. Physically based shallow translational landslide susceptibility analysis in Tibo catchment, NW do Portugal. *Landslide*, n. 12, 2015, p. 455-468. Disponível em: <link.periodicos.capes.gov.br/ez106.periodicos.capes.gov.br> Acesso em: 28 abr. 2016.

UFSC/CEPED – Universidade Federal de Santa Catarina/Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres Naturais. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010**: volume Brasil. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012, 94 p.

UNISDR - AM – United Nations Office for Disaster Risk Reduction - Regional Office for the Americas. **The ‘silent disaster of local losses’**. Panamá, 2013, s/p. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/archive/35664>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

USGS – U. S. Geological Survey. **The landslide handbook** - a guide to understanding landslides. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008, 129 p.

VIEIRA, B. C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. 2007, 194 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_; RAMOS, H. Aplicação do Modelo SHALSTAB para Mapeamento da Suscetibilidade a Escorregamentos Rasos em Caraguatatuba, Serra do Mar (SP). **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 29, 2015, p. 161-174. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/102087>>. Acesso em: 07 jul. 2016.