

Avaliação da estabilidade de taludes em áreas de expansão urbana do município de Rio Piracicaba - MG, Brasil

Slope stability assessment in urban expansion areas in Rio Piracicaba city - MG, Brazil

Daniel Miranda Ramos de Araújo(1); Cleverson Alves de Lima(2); Lais Emily de Assis(3); Eduardo Antônio Gomes Marques(4); Sady Júnior Martins da Costa de Menezes(5); Thayse Gama de Carvalho(6)

1 Universidade Estadual De Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil.

E-mail: danielmirandaraujo@hotmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-1835>

2 Universidade Estadual De Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil.

E-mail: clalima@uesc.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7068-7253>

3 Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: laismily@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4823-9286>

4 Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: eamarques@ufv.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3476-8558>

5 Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

E-mail: sady_menezes@ufrj.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6723-7470>

6 Universidade Estadual De Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil.

E-mail: tcarvalho@uesc.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8824-4434>

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 8, n. 2, p. 50-68, julho-dezembro, 2021 - ISSN 2358-6508

[Recebido: novembro 2, 2020; Aceito: março 31, 2021]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2021.v8i2.4357>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Aline Zanchet

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

Esse estudo teve como objetivo avaliar as condições de estabilidade de três áreas situadas em uma zona de expansão urbana no município de Rio Piracicaba – MG, quando ao movimento de massa. A região apresenta um histórico de instabilizações desta natureza, em especial de escorregamentos translacionais rasos, com superfície de ruptura planar. Para a realização desta pesquisa recorreu-se à utilização de imagens obtidas por um veículo aéreo não tripulado, que permitiram a modelagem do terreno em ambiente SIG, e de amostras de campo indeformadas extraídas para análise geotécnica em laboratório do solo local. Os taludes selecionados para avaliação apresentaram como critérios preponderantes alta declividade, início de assentamentos habitacionais informais e terrenos antropizados. Após o levantamento dos dados de campo e de laboratório, os dados foram implementados em uma ferramenta de simulação computacional para obtenção dos seus respectivos fatores de segurança (FS) à luz da norma NBR 11682/2009, na condição saturada, verificando qual o grau de suscetibilidade as encostas e os moradores daquela localidade estavam expostas e que demandam medidas mitigatórias ou corretivas, por parte das autoridades gestoras, a fim de se garantir a segurança dos seus habitantes.

Palavras-chave: Movimento de Massa. Deslizamento em Encostas. Planejamento Urbano. Sensoriamento Remoto.

Abstract

This study aims to evaluate the three slopes stability located in an urban expansion area in Rio Piracicaba city – Brazil, for the safety factor when it comes to mass movement. The region has a landslides history, especially, shallow translational types with a planar rupture surface. For research development resorted, images obtained by an unmanned aerial vehicle were used to terrain model in a GIS environment and undisturbed field samples extracted for laboratory geotechnical analysis in young and mature residual soil. For this, the slopes selected for evaluation presented as predominant criteria high slope, beginning of informal housing settlements and anthropized land. After surveying the field and laboratory data, the data were implemented in computer simulation tool to obtain their respective safety factors (FS) under the NBR 11682/2009 standard, in the saturated condition, checking the slopes susceptibility degree and the residents were exposed and that demand mitigating or corrective measures, by the managing authorities, in order to guarantee the inhabitants safety.

Keywords: Landslides. UAV. Urban Planning. Remote Sensing. Stability Analysis.

1 Introdução

As cidades contemporâneas enfrentam o desafio do crescimento desordenado e o aparecimento de assentamentos informais, consequências de um planejamento urbano deficitário ou inexistente. Desta maneira, a ação antrópica imprime, ao espaço natural, novas características que geram ou acentuam sua instabilidade frente aos fenômenos naturais, como as chuvas, a erosão, eventos sísmicos etc., aumentando assim as vulnerabilidades dos terrenos frente a estas intempéries, como os movimentos de massa nas encostas, associados, frequentemente, aos períodos de alta pluviosidade e à falta de infraestrutura urbana.

Perante à realidade supracitada, torna-se evidente a necessidade de adoção por parte da administração pública de procedimentos de gestão do uso e ocupação da terra, a fim de melhorar a qualidade de vida da população, garantindo sua integridade física e a percepção de segurança nestes espaços. Neste processo, o uso de ferramentas de suporte à decisão como o sensoriamento remoto por satélite ou por Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT, apresenta-se como um recurso acessório de satisfatória eficácia, na aquisição de dados auxiliares e geração de bases cartográficas para avaliação das feições de relevo, gestão do uso e ocupação do solo e planejamento das cidades.

Desta forma, este trabalho objetiva avaliar as áreas de expansão urbana no município de Rio Piracicaba (MG), a fim de identificar regiões suscetíveis a deslizamentos, por intermédio do levantamento de dados por ferramentas de sensoriamento remoto, investigações geológico-geotécnicas e simulações computacionais através de análises de estabilidade. Apresentam-se, como principal motivador deste estudo, o processo de rápida expansão urbana, decorrente de assentamentos irregulares para as áreas de encostas com acentuada declividade, marcadas por um histórico de movimentos de massa, que, segundo Assis (2017), apresentam escorregamentos translacionais rasos, com superfície de ruptura planar, numa região com alto índice precipitação pluviométrica, principalmente entre os meses de novembro a janeiro.

A modelagem das informações visa à elaboração de subsídios balizadores ao Setor Público, designando-se atender às diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela lei nº 12608 de 2012, a qual, entre seus principais objetivos, visa “promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres [...], [bem como] combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas” (BRASIL, 2012).

2 Referencial teórico

2.1 Sensoriamento Remoto e modelagem computacional do relevo

Fonseca Neto et al. (2017), enfatizam que as frequentes modificações ocorridas no espaço geográfico, ocorridas de forma natural ou pela ação do homem, acontecem em ritmos crescentes, e necessitam de um monitoramento constante, a fim de evitar a desatualização cartográfica de determinada área. Nesta perspectiva, as técnicas de sensoriamento remoto, vêm sendo empregadas com bastante eficácia para atualização de produtos cartográficos, como por exemplo, a adoção de veículos aéreos não tripulados equipados (ROBERTO, 2013; FONSECA NETO et al., 2017). A utilização de tais equipamentos é muito interessante para a realização de levantamentos das características do relevo, e permite a aquisição de dados espaciais e temporais, com verificação simultânea de informações relativas à morfologia e padrões do terreno, bem como suas respectivas transformações ao longo do tempo (LIU, 1984; BARRETO JÚNIOR et al., 2018).

O tratamento eletrônico de imagens obtidas em levantamentos aéreos possibilita a elaboração de diversos produtos cartográficos, inclusive para mapeamento de encostas e avaliação da ocorrência dos movimentos de massa, com alterações geomorfológicas importantes, pela identificação comparativa temporal de elementos (feições) do espaço físico (ZANETTI, 2017). O Modelo Digital de Elevação (MDE) é a representação digital de um trecho da superfície terrestre com foco na sua descrição morfológica, identificando e registrando continuamente suas características altimétricas, e desconsiderando os objetos irrelevantes presentes sobre o terreno (GRIPP Jr, 2009; VIANA, 2017; ZANETTI, 2017).

O MDE obtido pode ser empregado como dado de entrada para avaliação da inclinação dos terrenos, por meio da confecção de um mapa de declividade, que exhibe os valores típicos de uma localidade. EMBRAPA (1979) subdivide as zonas inclinadas em seis classes: Plana (0 a 3%), Suave Ondulada (3 a 8%), Ondulada (8 a 20%), Forte Ondulada (20 a 45%), Montanhosa (45 a 75%) e Escarpada (> 75%). Que em uma caracterização urbana, ganha outros regramentos como as restrições impostas para parcelamento e ocupação do solo dada pela lei federal 6766/1979 e suas modificações, destacando as zonas com inclinações iguais ou superiores a 30%. Estas zonas tem uso restrito pois tendem a possuir baixos níveis de segurança geológico-geotécnicos que são agravados por sua alta declividade.

2.2 Análise geológico-geotécnica na avaliação de suscetibilidade

O solo é um material de ampla utilização nos mais diversos campos da Engenharia Civil, seja na execução de aterros, fundações de edifícios, barragens de

terra, estabilização de encostas, sendo de extrema importância o conhecimento de sua gênese, bem como de suas principais características mecânicas, físico-químicas e propriedades de engenharia para o desenvolvimento de projetos adequados e execução de obras econômicas com o devido grau de segurança (MASSAD, 2016). Massad (2016) discute ainda sobre a baixa resistência apresentada pelos solos residuais quanto à erosão, e que, por isso mesmo, precisam ser investigados e protegidos quando expostas a situações limites, principalmente nos planos estruturais com maior fraqueza.

Já Assis (2017) afirma que a importância da investigação geológico-geotécnica para obtenção de parâmetros que visam avaliar a susceptibilidade para ocorrência de movimentos de massa em encostas, é uma forma de diminuir os riscos e propor a execução de projetos específicos para obtenção da estabilidade dentro das normas estabelecidas.

Com isso, chama a atenção para os movimentos de massa nas encostas existentes nas zonas urbanas. Este tema é frequente na mídia em virtude do grande número de casos que ocorrem a cada ano nas cidades brasileiras, sobretudo nos períodos com alta pluviosidade, afetando principalmente os assentamentos irregulares ou precarizados de infraestrutura, com ocupação indevida das encostas (TOMINAGA, 2007; ASSIS, 2017).

Com isso, a ausência de planejamento e, em muitos casos, a prevalência de interesses econômicos condicionaram as cidades brasileiras a um processo de expansão inadequado frente as condicionantes geotécnicas, resultando em agravantes para a numerosa ocorrência de desastres ambientais, destacando-se os movimentos de massa com seu potencial devastador sobre vidas humanas e a economia local (TABALIPA; FIORI, 2008).

Assim, os suecos contribuíram com os estudos no campo dos movimentos de massa, ao desenvolver uma metodologia para análise de movimentos de massa a partir dos métodos de equilíbrio-limite, que consideram o solo como um corpo rígido-plástico em equilíbrio, diante de um iminente processo de escorregamento (MASSAD, 2010). Esta metodologia para análise da estabilidade de taludes foi a base para outros pesquisadores aperfeiçoarem os métodos de análise, a exemplo de Bishop, Jambu, Morgenstern-Price entre outros. Desta forma, as teorias baseadas no conceito de equilíbrio-limite consolidaram-se como ferramentas usuais no âmbito da investigação da estabilidade geotécnica através de simulações numéricas e alcançado resultados satisfatórios em ambientes computacionais, possibilitando o incremento de técnicas de modelagem baseadas em tensões-deformações, como o Método dos Elementos Finitos (FREITAS, 2011).

A norma ABNT NBR 11682/2009 conceitua o fator de segurança (FS) como a razão entre as tensões resistentes do maciço (resistência ao cisalhamento) e as tensões atuantes mobilizadoras de escorregamento, indicado na Equação 1. Desta maneira, diante das tensões solicitantes, quanto maiores os valores de resistência do maciço,

maior será seu fator de segurança, o que indica maior grau de estabilidade aos efeitos morfodinâmicos (ASSIS, 2017).

$$FS = \frac{\text{Tensões Resistentes } (S)}{\text{Tensões Atuantes } (\sigma)} \text{ (Equação 1)}$$

A NBR 11682/2009 preconiza valores mínimos recomendados para o FS de taludes de acordo com o grau de segurança recomendado para o local, com base nas metodologias de equilíbrio limite, sendo recomendado FS acima de 1,50 para circunstâncias que demandem alto grau de segurança.

Os principais fatores envolvidos no equilíbrio e consequente estabilidade das encostas naturais são suas características geométricas, seus parâmetros geológico-geotécnica e o comportamento do material terroso e rochoso frente ao ambiente em que estão inseridos, visto que as influências provocadas por fatores fisiográficos como a cobertura vegetal, o regime climático e as drenagens naturais podem instabilizar estes maciços (TABALIPA; FIORI, 2008). Portanto, a fim de se evitar perdas socioeconômicas, ambientais e garantir a segurança, possui fundamental importância a compreensão dos parâmetros de resistência de taludes para entendimento das correlações entre estes fatores e sua dinâmica conjunta nos processos de estabilidade (ASSIS, 2017).

3 Materiais e métodos

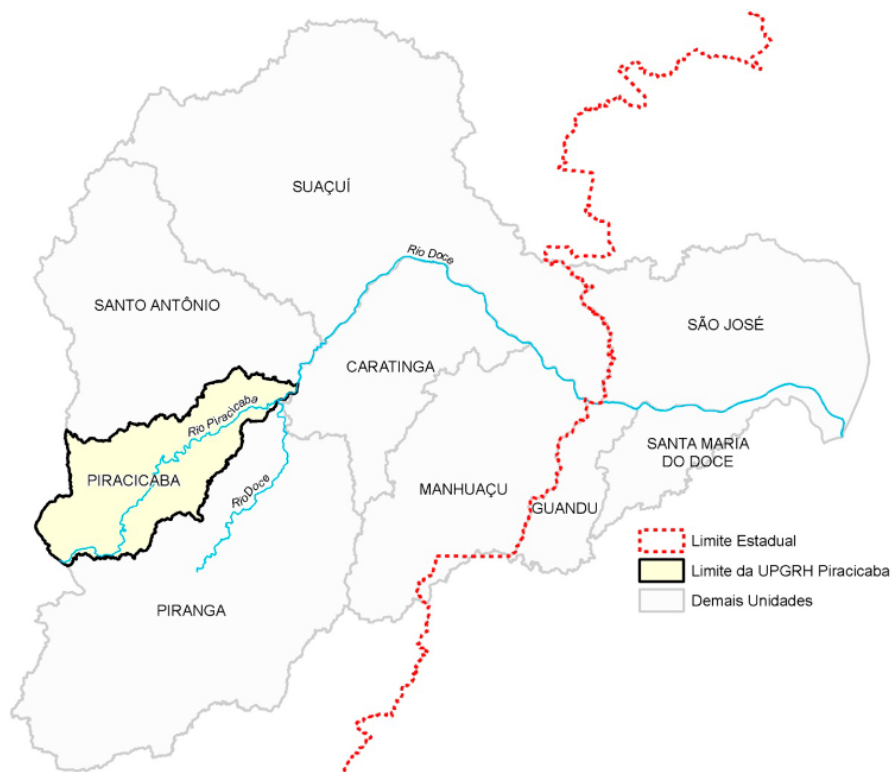
3.1 Definição da área de estudo

A área de estudo selecionada está localizada em zona de expansão urbana do município de Rio Piracicaba (MG). O município está localizado a cerca de 141 km a leste de Belo Horizonte, situando-se na região de João Monlevade, e apresenta população de 14.339 habitantes (IBGE, 2019). Possui uma área territorial de cerca de 373 km² (Figura 1) e densidade demográfica em torno de 37,93 hab/km².

Segundo Assis (2017), o município apresenta um histórico de movimentos de massa, principalmente nos períodos chuvosos entre os meses de novembro a janeiro. Associado a esse fator, estão as características geodinâmicas presentes na área, com abundância em substratos geológicos e intensa variabilidade de materiais geotécnicos (solos residuais, contato solo-rocha etc.) e terrenos declivosos que, aliados ao modelo de ocupações desordenadas em encostas se tornam passíveis a instabilizações.

Além das características, como topografia acidentada e unidades litológicas distintas, que aumentam a predisposição a movimento de massa a zona urbana apresenta uma situação social de ocupações precárias, localizados tanto em topo quanto na base das encostas, além de cortes e aterros sem critérios técnicos, ausência de rede de drenagem e disposição irregular das águas servidas.

Figura 1. Localização do município de Rio Piracicaba na Bacia Hidrográfica do Rio Doce



Fonte: IGAM, 2010.

3.2 Sensoriamento suborbital com VANT e modelagem do relevo

O voo foi realizado com um VANT SenseFly® Swinglelet CAM, com câmera embarcada Canon IXUS220HS RGB, com resolução de 12 megapixels, calibrada para obtenção de imagens com resolução espacial média de 15 cm/pixel. O controle de voo foi realizado pelo software SenseFly E-motion, com o pós processamento das 49 fotografias aéreas no Pix4UAV e montagem do ortomosaico no Pix4MAP®. Associado a este levantamento, por meio do Banco de Dados do relevo brasileiro do Brasil (TOPODATA), obteve-se a carta topográfica SRTM 19s435, de onde se extraiu o relevo do município de Rio Piracicaba, para validação e uso complementar.

O ortomosaico e a carta SRTM 19s435 basearam a elaboração dos produtos cartográficos de interesse, como o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Mapa de Declividade, através da *software* ArcGIS ArcMap 10.3.1. Como parâmetros de entrada, efetuou-se a sobreposição do ortomosaico (reprojetado do *datum* de origem WGS 84 para o SIRGAS 2000 UTM 23S) com as curvas de nível do terreno.

Em seguida, os dados foram analisados com a ferramenta *Slope (3D Analyst)*, do ArcMap 10.3.1, como dado de entrada para avaliação dos percentuais de inclinação do terreno, sendo possível a identificação das regiões mais íngremes e os trechos de inclinação mais suave ou planos. Este produto foi reclassificado segundo os critérios

de classificação de relevo proposto por EMBRAPA (1979). Neste trabalho, para estabelecimento de um intervalo de confiança, enquadraram-se como áreas não aptas a assentamentos as zonas de declividade classificadas a partir da tipologia Forte Ondulada, com terrenos de inclinação igual ou superior a 20%.

Após reclassificação, o mapa resultante foi sobreposto às imagens aéreas do município, para a identificação visual da interseção entre as zonas mais declivosas e os trechos de ocupação urbana, para caracterização das áreas de suscetibilidade a serem analisadas. Por fim, após a identificação das zonas suscetíveis, foram selecionadas três áreas de interesse, que atendiam aos critérios paramétricos enumerados (ocupação e declividade). Em cada uma dessas áreas, foram extraídas as feições de relevo (perfil topográfico) de maior declividade para a análise de estabilidade de taludes.

3.3 Ensaios de laboratório e Análise de estabilidade

Foram coletadas amostras indeformadas de solo para caracterização geotécnica do terreno em pontos distintos da área de estudo, com solo residual maduro e saprolítico (residual jovem), segundo os critérios da NBR 9604/2016. Estes foram encaminhados para o laboratório para caracterização física e cisalhamento direto, para obtenção dos parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito).

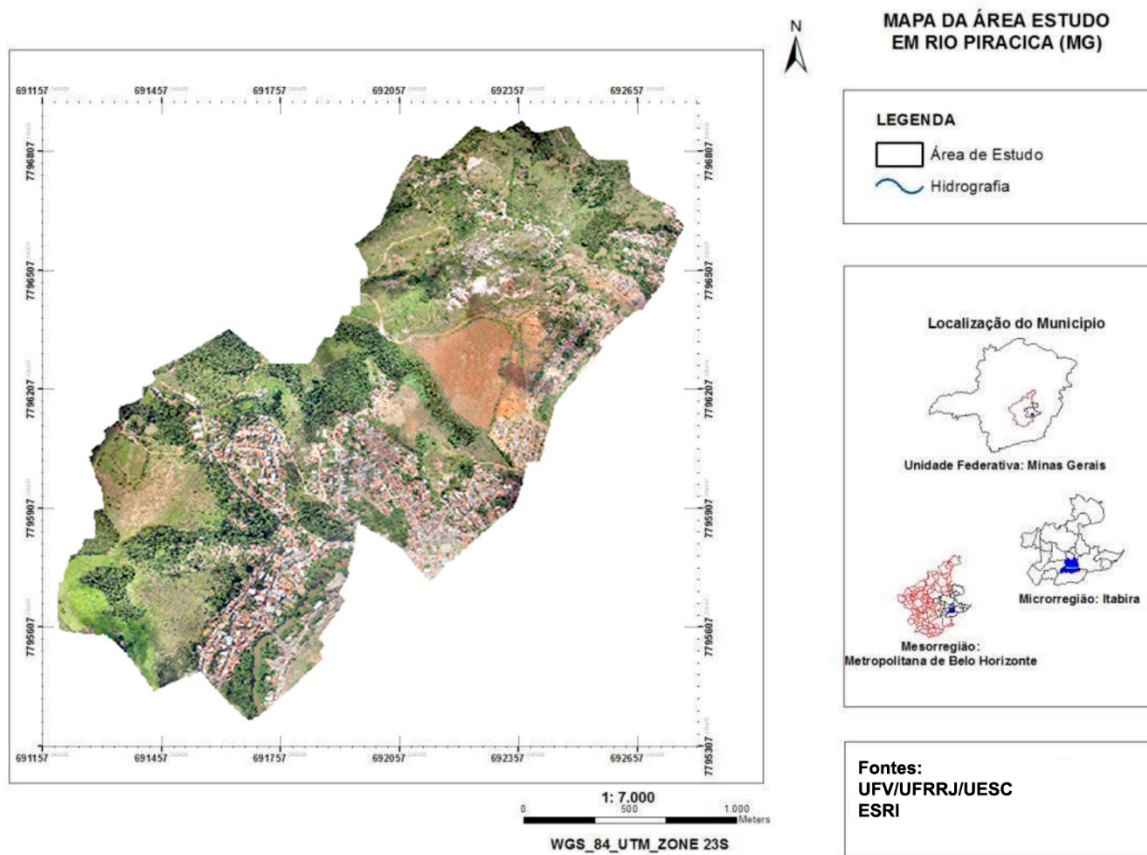
Após a extração dos perfis do terreno a partir do MDE e definidas as camadas de solo com suas características, os taludes foram analisados através do software GeoStudio Slope/W, através das simulações das condições de campo pelos métodos de Bishop, Janbu e Morgenstern-Price, onde foram obtidos os seus fatores de segurança (FS), na condição de solo saturado, para simulação da situação limite de campo (mais desfavorável à estabilidade).

4 Resultados e discussão

4.1 Modelagem do relevo do terreno e obtenção dos perfis popográficos

As ortoimagens foram processadas no Pix4MAP onde foram sobrepostas e alinhadas, possibilitando a geração do ortomosaico retificado do terreno, ou seja, uma representação integral de toda a área sobrevoada, conforme evidenciado na Figura 2.

Figura 2. Ortomosaico da Área Sobrevoada Gerado no Pix4MAP

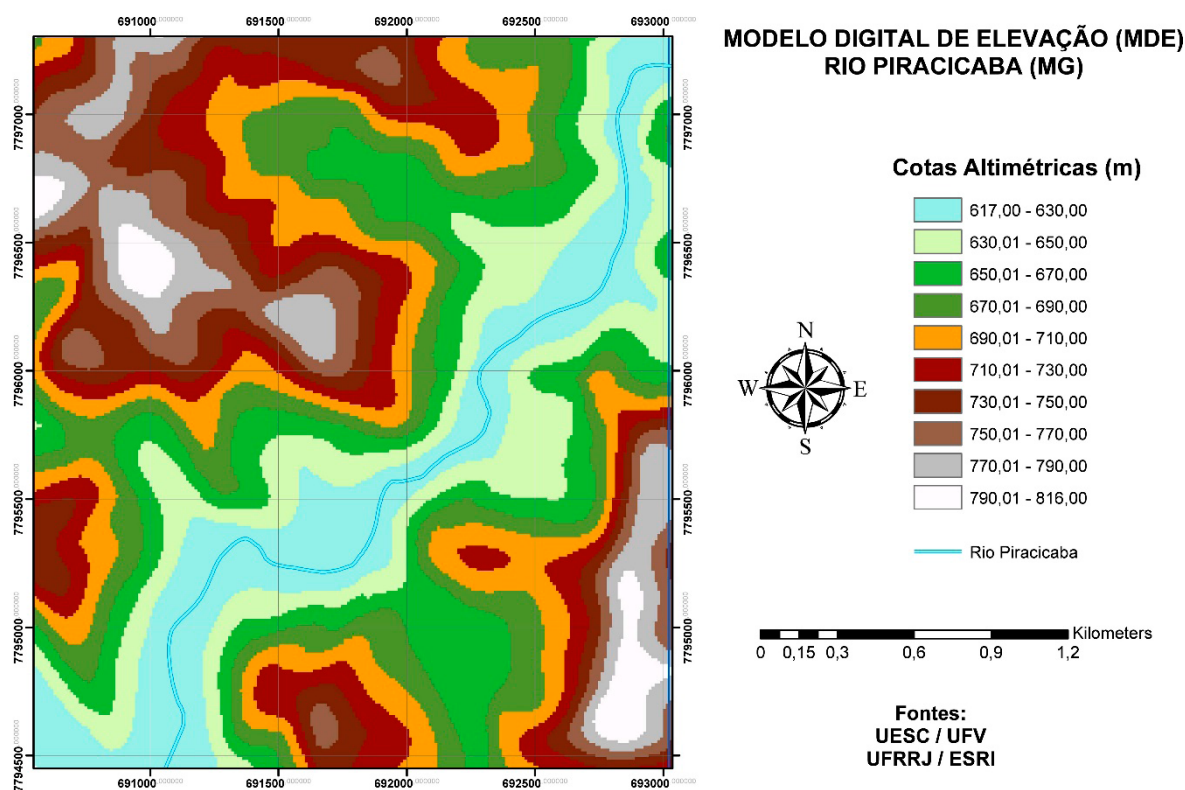


Fonte: Autor (2020).

O ortomosaico obtido apresenta resolução GSD (*Ground Sampling Distance*) média de 14,18 cm/pixel, conforme o relatório gerado pelo *software* de pós voo, permitindo uma identificação visual satisfatória dos componentes em solo.

A modelagem computacional do terreno foi feita no ArcGIS ArcMap 10.3.1, permitiu a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE), da região sede do município de Rio Piracicaba, com cotas altimétricas variando em intervalos máximos de 2 m, em relação à cota vizinha, conforme registrado na Figura 3.

Figura 3. Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de expansão em Rio Piracicaba (MG)

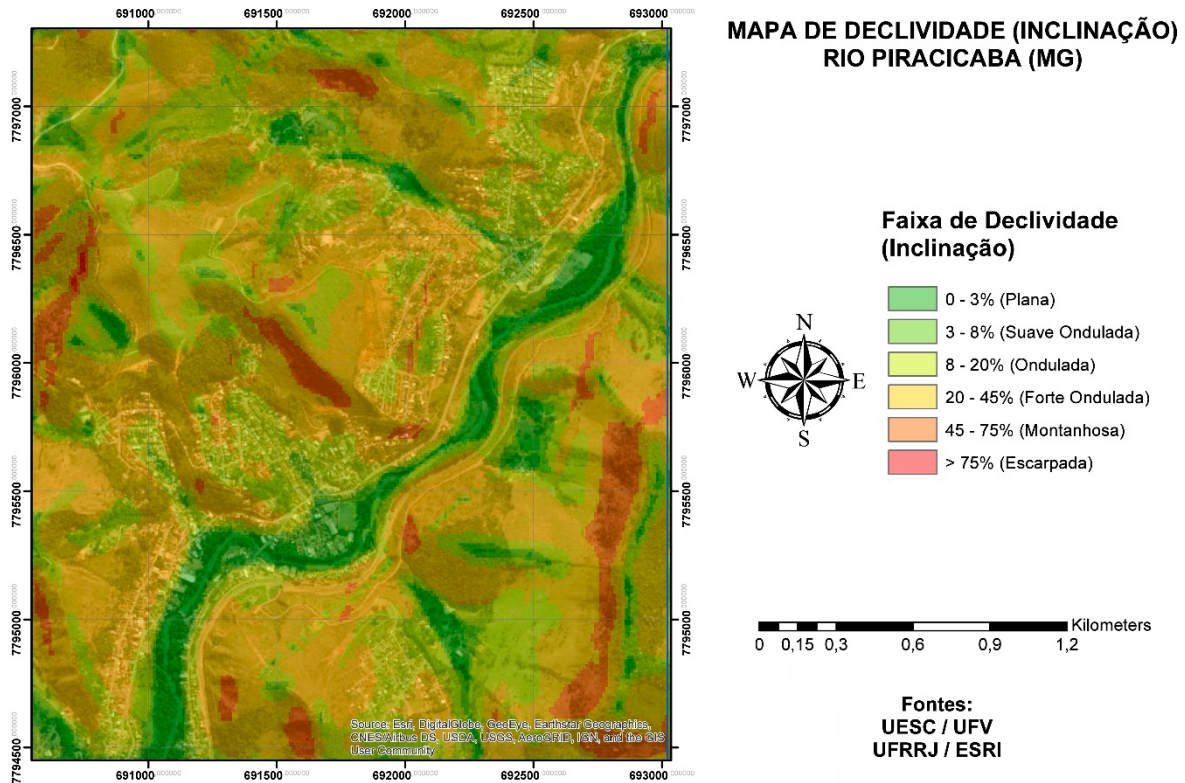


Fonte: Autor (2020).

A interpretação do MDE permitiu identificar que a sede urbana situa-se em torno do vale do Rio Piracicaba, com cotas altimétricas entre 617 e 816 m, numa região serrana e repleta de morros de média altitude, numa amplitude máxima de cerca de 200 m. Estas condições, em uma região de intensa atividade antrópica e sem cobertura vegetal, tornam as áreas suscetíveis aos movimentos de massa, o que demandou a elaboração dos produtos cartográficos para avaliação da segurança destes taludes.

Na sequência foi elaborado um Mapa de Declividade, indicando os percentuais de inclinação do terreno, que quando sobreposto as ortofotos do município permitiu a identificação das zonas declivosas ocupadas (Figura 4), estas passíveis a maior suscetibilidade aos escorregamentos.

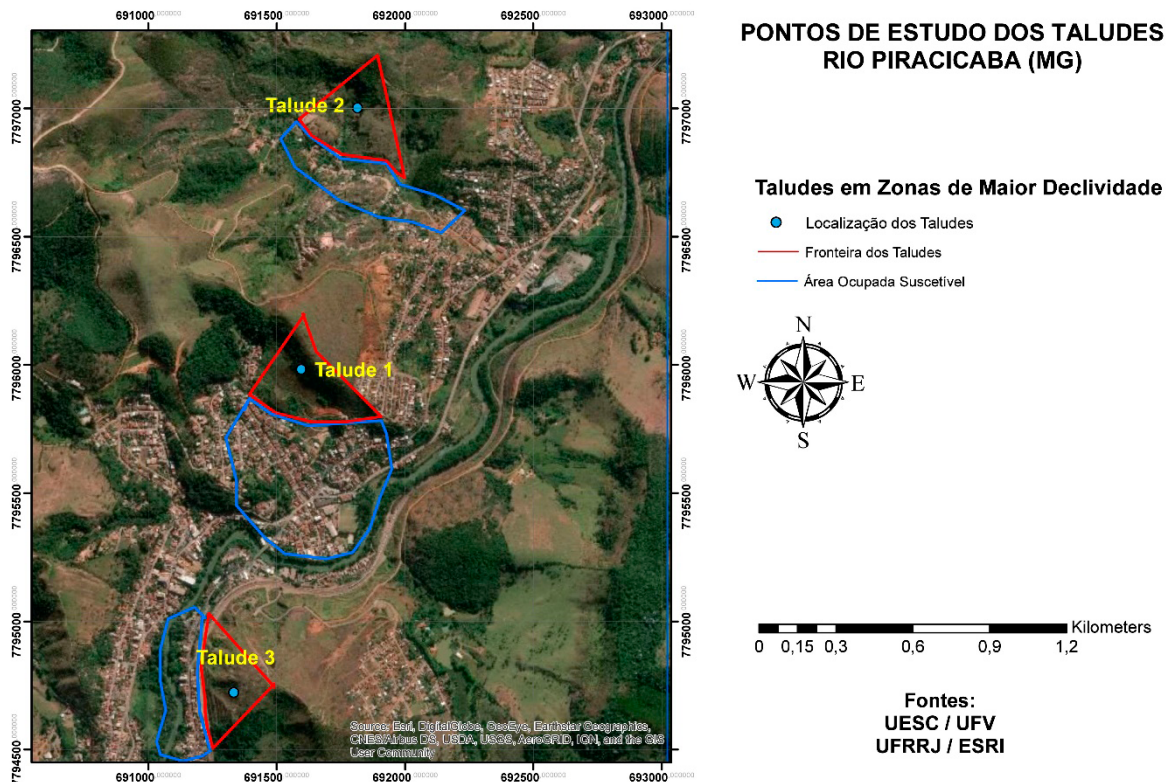
Figura 4. Mapa de Declividade sobreposto à imagem aérea da sede urbana



Fonte: Autor (2020).

A zona urbana apresenta consideráveis trechos compostos de encostas com acentuada inclinação, estando mais de 60% da região entre os limites inferior (20%) e superior (> 75%), respectivamente, das faixas Forte Ondulada e Escarpada. Deste modo, com amparo das curvas de nível, do mapa urbano e as declividades (Figura 4), foram demarcadas as áreas com inclinação superior a 20% em torno de zonas de ocupação. As poligonais em vermelho indicam os limites aproximados dos taludes escolhidos, enquanto as poligonais em azul delimitam as zonas de ocupação potencialmente afetadas por eventuais movimentos de massa dessas encostas (Figura 5).

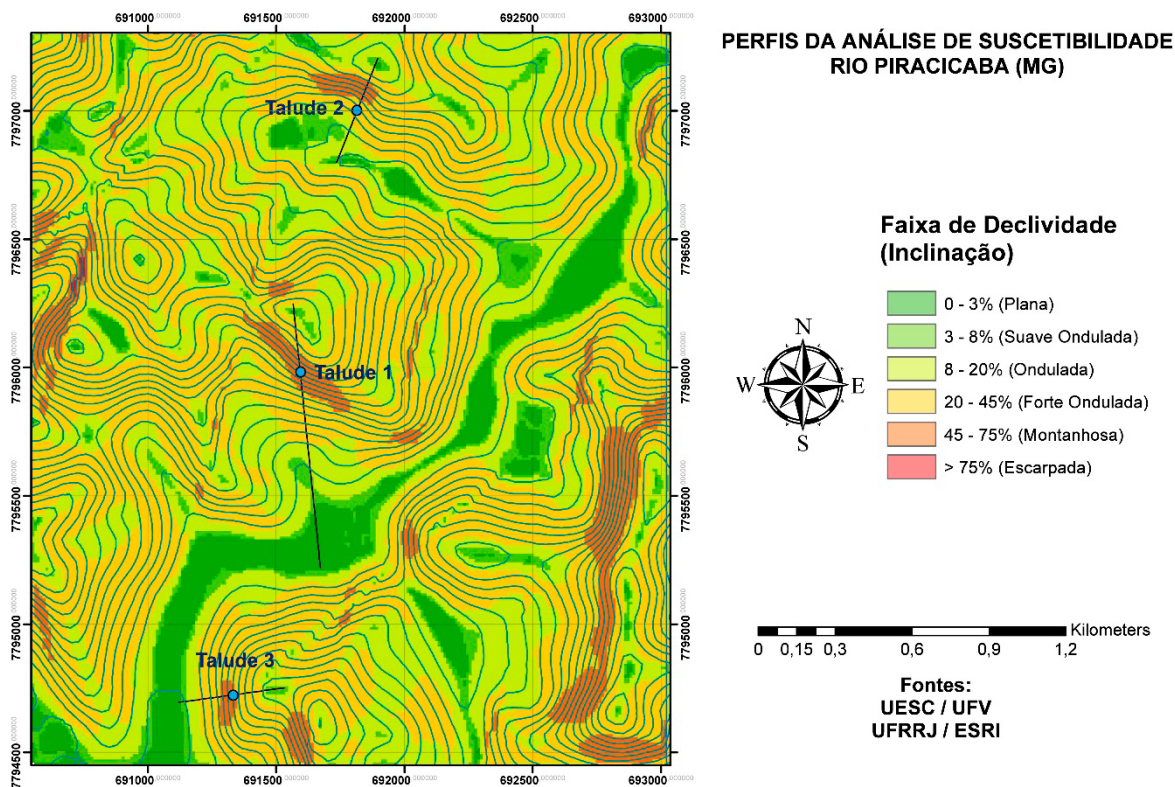
Figura 5. Pontos de Estudo dos Taludes Escolhidos



Fonte: Autor (2020).

Os Taludes 1, 2 e 3 foram os escolhidos para simulação no GeoStudio Slope/W, por apresentarem as configurações mais desfavoráveis de assentamentos humanos em áreas de declividade acentuada, acima da faixa de 20%. Com isso, foram extraídos perfis nestes taludes para análise de estabilidade, cuja linhas de corte estão representadas no perfil topográfico da Figura 6. Por meio das demarcações lineares nos perfis das três áreas discriminadas, obtiveram-se os valores relativos ao comprimento horizontal desses perfis e suas respectivas cotas altimétricas, apresentando respectivamente para os taludes 1, 2 e 3 alturas de 170, 100 e 107 m e extensões horizontais de 800, 410 e 420 m.

Figura 6. Perfis para Análise de Suscetibilidade a Deslizamentos



Fonte: Autor (2020).

4.2 Parâmetros geológico-geotécnicos

A coleta de amostras para análise laboratorial foi feita a partir da retirada de blocos indeformados extraídos das camadas de solo residual maduro e jovem dos taludes. Os ensaios de caracterização e cisalhamento direto foram realizados por Assis (2017) para ambos os solos, permitindo a obtenção dos parâmetros físicos e de resistência, especificados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Parâmetros Físicos dos Solos Ensaados em Laboratório

Solo	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Peso Específico Natural (kN/m ³)	Peso Específico dos Sólidos (kN/m ³)
Residual Maduro	21	49	30	0	55	31	24	15,57	28,70
Residual Jovem	16	34	50	0	-	-	NP	15,67	27,96

Fonte: Assis (2017)

A Tabela 1, oriunda dos ensaios de caracterização, permite classificar o solo residual maduro da região como silte arenoso sem pedregulhos; enquanto o solo residual jovem (saprolítico) é, predominantemente, areia siltosa com finos não plásticos.

Tabela 2. Parâmetros de Resistência dos Solos Ensaçados em Laboratório

Solo	Ângulo de Atrito Máximo ϕ' (°)		Coesão c' (kPa)	
	Seco (Umidade Natural)	Inundado	Seco (Umidade Natural)	Inundado
Residual Maduro	30,7	30,7	78,3	20,2
Residual Jovem	34,0	34,0	51,1	7,1

Fonte: Assis (2017)

Na Tabela 2, verifica-se o quanto as condições de drenagem do material (solo) podem influenciar nos valores de coesão, de tal forma que, com o solo inundado, houve queda aproximada de 74% e 86%, respectivamente, nos valores de coesão dos solos residuais maduros e dos saprolíticos (residuais jovens).

4.3 Análise de estabilidade dos taludes selecionados

As análises computacionais de Estabilidade de Taludes realizadas no software GeoStudio® SLOPE/W, permitiram a simulação das condições de ruptura e obtenção dos fatores de segurança (FS) dos perfis ensaiados, pelos métodos de análise descritos, cujos resultados estão na Tabela 3, a seguir.

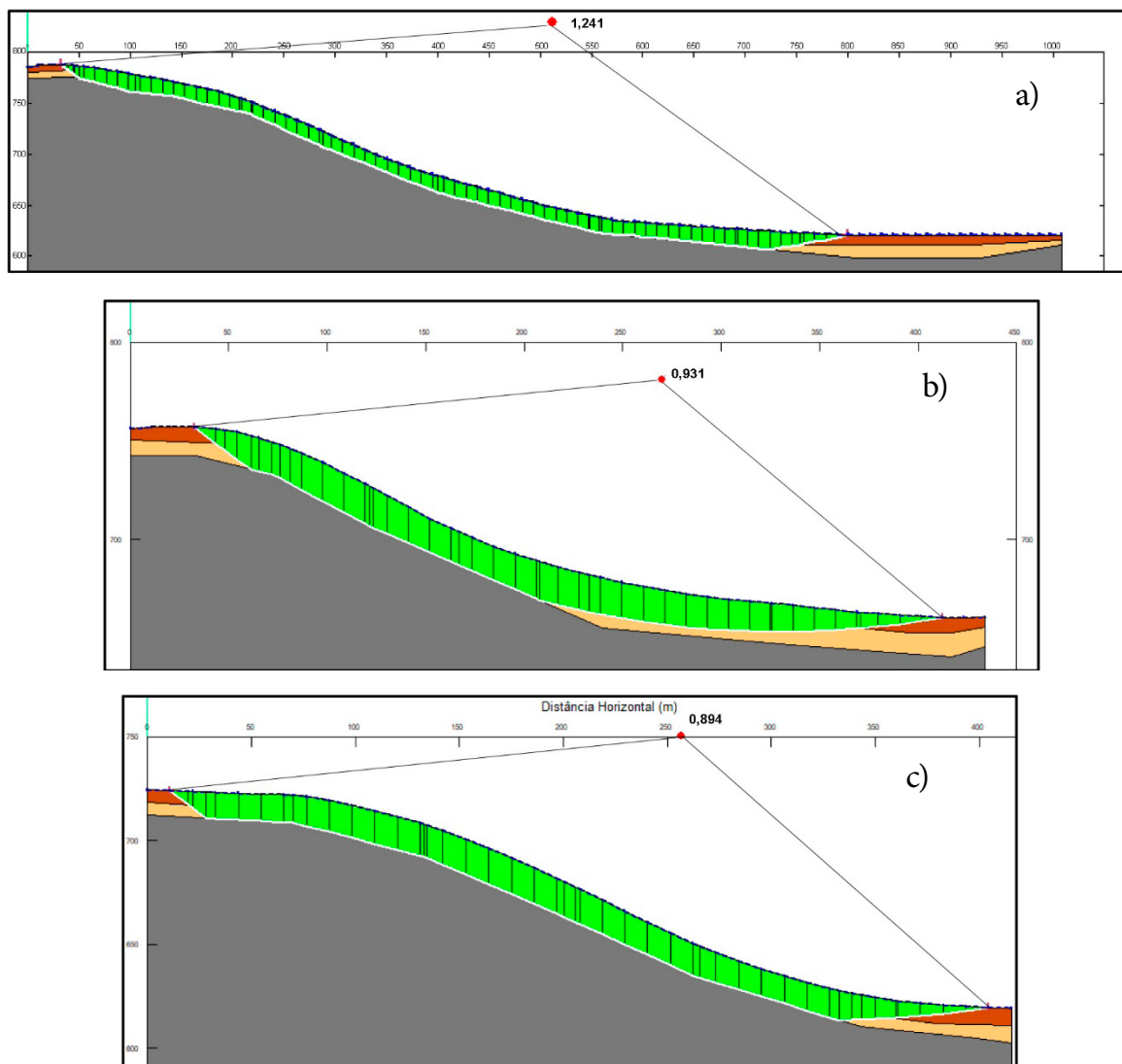
Tabela 3. Fatores de Segurança Obtidos para os Três Taludes Demarcados

Método de Análise de Estabilidade	Fator de Segurança		
	Talude 1	Talude 2	Talude 3
Morgenstern-Price	1,278	0,997	0,931
Bishop	1,279	0,979	0,903
Janbu	1,241	0,931	0,894

Fonte: Autor (2020).

Da Tabela 3, verifica-se que os taludes obtiveram o menor FS através do método de análise de Janbu, indicando a situação limite que cada um se encontra para a condição de solo saturado. Os resultados da análise dos taludes são apresentados na Figura 7 (a) até (c), exibindo a superfície de ruptura provável, na condição de solo saturado. Em todos os casos, a camada mais superficial corresponde a solo residual maduro, enquanto a camada intermediária é composta de solo saprolítico, ambas de aspecto delgado, com profundidades médias na faixa de 5 metros, e apoiadas sobre o leito rochoso, em configuração de talude infinito.

Figura 7. Superfície de Ruptura dos Taludes pelo Método de Janbu – (a) Talude 1, (b) Talude 2, (c) Talude 3



Fonte: Autor (2020).

Considerando-se a norma NBR 11682/2009 – Estabilidade de Encostas, constata-se que os taludes se encontram em uma condição de estabilidade frágil à iminência de ruptura, requerendo que os mesmos recebam alguma atenção da engenharia municipal seja com obras de reforço ou na remoção das edificações potencialmente atingidas. Os taludes se encontram em zonas ocupadas e demandam grau de segurança (FS) recomendado pela NBR 11682/2009 acima de 1,50, embora os valores encontrados estejam abaixo da recomendação.

O Talude 1 possui FS superior ao valor unitário, estando em condição de estabilidade frágil, enquanto os Taludes 2 e 3, por outro lado, estão abaixo do valor unitário, estando na iminência de ruptura, já que a norma sugere FS mínimo de 1,15 para situações que permitem segurança branda. Estes taludes estão em situação de vulnerabilidade, podendo vir a colapso em períodos de chuva intensa, especialmente no caso do Talude 3, que registrou o menor FS obtido.

Para todos os taludes, verifica-se na simulação a predominância de escorregamento translacional com superfície de ruptura planar rasa, na região da interface solo-rocha, possivelmente em virtude da baixa profundidade de solo residual, apoiado sobre a base rochosa, e por conta da acentuada redução dos valores de coesão observados nos solos residuais superficiais saturados. Tal configuração está em acordo com as observações realizadas por Assis (2017), que pontua a frequente ocorrência de escorregamentos planares rasos no município de Rio Piracicaba (MG).

5 Considerações finais

As interpretações conjugadas das informações oriundas do sensoriamento remoto com VANT, das imagens e dados de satélite e dos parâmetros físicos e de resistência do solo, possibilitaram a verificação comparativa da influência simultânea das diversas variáveis instabilizadoras.

O ortomosaico, gerado pela junção das imagens e sua associação aos dados SRTM, permitiu a elaboração de subsídios computacionais para modelagem do terreno, como o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o mapa de inclinação. Estes permitiram verificar o relevo da sede urbana de Rio Piracicaba (MG), em especial das zonas de expansão urbana, onde estão sendo implantados os novos loteamentos. Estes subsídios sobrepostos permitiram uma análise holística sobre das áreas não aptas à ocupação urbana nas áreas de expansão urbana. O critério de declividade permitida foi rigoroso, sendo consideradas como áreas inaptas aquelas com inclinações acima de 20%, coincidindo com o domínio forte ondulada.

As três regiões avaliadas apresentaram fatores de segurança (FS) de 1,241; 0,931 e 0,894, para os Taludes 1, 2 e 3, respectivamente. Todos os valores mínimos foram obtidos pelo Método de Janbu e para a condição de solo saturado, estando todos eles com $FS < 1,50$, ou seja, abaixo do FS de segurança recomendado pela norma. A modelagem de informações permitiu a compilação de importantes dados para o entendimento da suscetibilidade na região de estudo, sendo identificados entraves relacionados à ocupação de áreas consideradas não aptas, pela combinação de fatores predisponentes aos efeitos morfodinâmicos do terreno, sujeitando seus ocupantes aos possíveis riscos associados.

Recomenda-se, portanto, a realização de estudos geológico-geotécnicos antes de se promover uma área de expansão urbana de uma localidade, implementar ações mitigatórias imediatas para as zonas ocupadas por parte das autoridades competentes para garantia de segurança dos habitantes destes locais, implementação de processos corretivos para eliminação dos fatores geradores de instabilidade, e, até mesmo, a remoção destes habitantes das áreas consideradas suscetíveis aos movimentos de massa.

Agradecimentos

À UESC, UFRRJ e a UFV pela viabilização da análise, bem como a todos que apoiaram esta iniciativa.

Referências bibliográficas

American Society for Testing and Materials. ASTM D3080/D3080M-11. *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. West Conshohocken, Pennsylvania, EUA, 2011.

American Society for Testing and Materials. ASTM D6528-17. *Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils*. West Conshohocken, Pennsylvania, EUA, 2017.

ASSIS, L. E. De. *Avaliação geológico-geotécnica em áreas de susceptibilidade à movimentos de massa em Rio Piracicaba (MG)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa / UFV, 2017. 175 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682. *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro, 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457. *Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459. *Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6508. *Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm: Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180. *Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181. *Solo – Análise Granulométrica - Procedimento*. Rio de Janeiro, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9604. *Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2016.

AUGUSTO FILHO, O. *Cartas de Risco de Escorregamentos: Uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1994. 167 p.

BARRETO JÚNIOR, A. M.; PACHECO, A. da P.; CELESTINO, M. A. L. *Aspectos do Sensoriamento Remoto Geológico na Bacia do Araripe (PE/CE/PI/BRASIL)*. Periódico Estudos Geológicos, v. 28. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, 2018.

BRASIL, República Federativa do. *Parcelamento do Solo Urbano*. Lei nº 6766, de 19 de dezembro. Brasília, DF, 1979.

BRASIL, República Federativa do. *Política Nacional de Proteção e Defesa Civil*. Lei nº 12608, de 10 de abril. Brasília, DF, 2012.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER. *Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura*, DNER – CLA 259/96. Rio de Janeiro, 1996.

FERNANDES, A.; BEZERRA, P. *Estudo Fitogeográfico do Brasil*. Stylus Comunicações. Fortaleza, CE, 1990.

FONSECA, A. P.; LACERDA, W. A. *Ensaio de Resistência de Pico e Residual em Solos Tropicais de Gnaiss*. Coordenação de Construção Civil, CEFET-RJ, Rio de Janeiro. Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

FONSECA, G.A. *Biodiversidade, População e Economia: Uma Região de Mata Atlântica*. UFMG/Cedeplar/ECMXC; PADCT/CIAMB, Belo Horizonte, MG, 1997.

FONSECA NETO, F. de D.; GRIPP JÚNIOR, J.; BOTELHO, M. F.; SANTOS, A. de P. dos; NASCIMENTO, L. A.; FONSECA, A. L. B. *Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por VANT utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais*. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, PR. v. 23, n. 1, p. 134-149, 2017.

FREITAS, M. A. C. (2011) *Análise de Estabilidade de Taludes pelos Métodos de Morgenstern-Price e Correia*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP. Porto, Portugal.

GRIPP Jr., J. (2009) *Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa / UFV, 151 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Município de Rio Piracicaba, MG*, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/rio-piracicaba/panorama>. Acesso em: 16 dez. 2019.

Instituto Mineiro De Gestão Das Águas – IGAM. *Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba - PARH Piracicaba*. Consórcio Ecoplan-Lume. Minas Gerais, MG. 2010.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil*. 2019. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 09 out. 2019.

LIU, C. C. *Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências, USP, São Paulo, SP. 157p. 1984.

MASSAD, F. *Obras de Terra: curso básico de Geotecnia*. 2ª edição. Editora Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2010.

MASSAD, F. *Mecânica dos Solos Experimental*. Editora Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2016.

ROBERTO, A. J. *Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com Vants para apoio de SIG Municipal*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

TABALIPA, N. L.; FIORI, A. P. *Influência da vegetação na estabilidade de taludes na Bacia do Rio Ligeiro (PR)*. Periódico Geociências, v. 27, n. 3, p. 387-399, 2008. Universidade do Estado de São Paulo (UNESP), São Paulo, SP.

TOMINAGA, L. K. *Avaliação de Metodologias de Análises de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP*. Tese (Dourado em Ciências – Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2007. 240p.

VARGAS, M. *Introdução à Mecânica dos Solos*. Editora McGraw-Hill. São Paulo, SP, 1977.

VIANA, D. C. *Análise da qualidade cartográfica de MDS e MDE gerados por VANT e refinados com uso de dados GNSS RTK*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa / UFV, 69 p. 2017.

ZANETTI, J. *Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa / UFV, 84 p. 2017.