

Received:
February 5, 2024

Accepted:
October 31, 2024

Published:
October 31, 2024

Determination of the landslide risk level of a slope in São Cristóvão neighborhood in Teófilo Otoni/MG

Thais Mayara Rodrigues Gomes¹ , Hiago Félix Santos¹ , Thiago Ferreira de Araújo¹ , Helio Soares de Aguiar Junior¹ , Antônio Jorge de Lima Gomes¹ 

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil.

Email address

thais.mayara@ufvjm.edu.br (Thais M.R. Gomes) – Corresponding author.

hiago.felix@ufvjm.edu.br (Hiago F. Santos)

thiago.araujo@ufvjm.edu.br (Thiago F. Araújo)

helio.junior@ufvjm.edu.br (Helio S.A. Junior)

antonio.gomes@ufvjm.edu.br (Antônio J.L. Gomes)

Abstract

Landslides have become more frequent, driven by climate change that results in heavy rainfall, combined with inadequate occupation of urban areas. These phenomena have negative consequences for society, causing material damage and affecting people's safety. It is important to identify areas susceptible to landslides in order to implement measures to mitigate the associated risks. Thus, this work aims to determine the level of landslide risk of a slope located on Matildes Borges da Rocha Street and Uruguay Street in the São Cristóvão neighborhood, in the city of Teófilo Otoni, Minas Gerais. The methodology adopted included a field survey, photographic records, annotations on field files, and the application of the methodological script for risk analysis and mapping of risk areas in slope and lowland sectors, with a focus on landslides, recommended by the Ministry of Cities in 2007. After the analyses, the results revealed that the study area has a degree of R4 (very high) risk. Given this scenario, there is a need to implement mitigating measures and intervention plans to ensure the physical and property safety of the region's residents.

Keywords: Landslide, Risk Area, Teófilo Otoni, Determination.

1. Introdução

Diante das alterações climáticas que afetam o mundo atualmente, percebe-se um aumento na ocorrência de desastres naturais, tornando-se eventos mais frequentes, os quais geram impactos expressivos, tanto em termos de perdas materiais quanto de vidas humanas.

Os efeitos resultantes das mudanças climáticas, como chuvas intensas e tempestades, associados à urbanização acelerada e à ausência de planejamento urbano, como evidenciado pela ocupação de encostas, aumenta a vulnerabilidade de comunidades. Nesse contexto, a incapacidade dos sistemas urbanos em lidar com chuvas mais frequentes e/ou intensas expõe essas comunidades a riscos significativos de deslizamentos de terra (IPCC, 2022).

De acordo com Vedovello e Macedo (2007), os deslizamentos são caracterizados como o fenômeno de deslocamento de material sólido, de naturezas diversas, na extensão de terrenos inclinados. Dessa forma, é evidente que existem áreas mais propensas à ocorrência desses eventos, como é o caso das encostas/taludes.

A incidência desses fenômenos impacta direta e negativamente a infraestrutura urbana, tendo em vista que podem obstruir vias, danificar edificações, interromper serviços públicos essenciais, como fornecimento de água e luz, além de ameaçar a integridade física dos cidadãos.

Portanto, identificar áreas propensas aos escorregamentos de terra é de extrema importância considerando as consequências desses fenômenos na segurança de comunidades vulneráveis, além do ônus financeiro que acarretam. O mapeamento

dessas áreas permite a implantação de medidas mitigadoras, reduzindo os impactos negativos.

Assim, o objetivo deste estudo é avaliar o grau de risco de deslizamento a que um talude, localizado no bairro São Cristóvão, na cidade de Teófilo Otoni, em Minas Gerais, está suscetível. Além disso, pretende-se contribuir para a segurança da comunidade local, proporcionando informações relevantes que poderão fundamentar o desenvolvimento de um plano de intervenção.

2. Referencial Teórico

2.1. Movimentos de massa

Um talude corresponde a uma superfície de solo exposta que apresenta uma inclinação em relação à horizontal, ele pode ser de origem natural ou artificial (Das, 2007).

Conforme Guidicini e Nieble (1984), os taludes naturais compreendem maciços de solo, rocha ou, ainda, podem ser uma combinação desses dois materiais, formadas por processos naturais. Ainda que tenham sido sujeitos a intervenções humanas como adição de materiais, escavação e desmatamento, sua origem continua sendo natural. Por outro lado, os taludes artificiais referem-se a declives construídos a partir de aterros feitos pelo homem e possuem mais homogeneidade em comparação aos taludes naturais.

Em razão da inclinação do talude, uma componente da força gravitacional fará com que o solo esteja propenso a se deslocar na direção descendente. Caso a força gravitacional seja suficientemente intensa, existirá a possibilidade do

talude se romper, gerando um movimento de massa (Das, 2007).

De acordo com Araújo (2017), os movimentos de massa podem ser divididos em quatro grupos principais: rastejos, escorregamentos, quedas de blocos e corridas. A Figura (1) mostra estes tipos de movimentos de massa.

Os movimentos de massa podem ocorrer com velocidade tão lenta que podem ser praticamente imperceptíveis ao longo dos anos, ou de forma extremamente rápida, deslocando grandes volumes de terra para áreas mais baixas em curto período e causando sérios transtornos (Marangon, 2009).

2.2. Agentes condicionantes

Além da inclinação do talude, existem alguns fatores que contribuem para a sua instabilidade e eles são chamados de agentes condicionantes.

Segundo Tominaga (2009), a pluviosidade é um fator significativo para a instabilidade do maciço, de forma que a relação entre deslizamentos de terra e chuvas intensas é bem conhecida.

Ademais, o uso e ocupação inadequados do solo nas encostas acarretam problemas como despejo de águas residuais e descarte de resíduos na superfície do talude, desmatamento da área e cortes para a construção de residências, o que modifica a geometria do maciço e afeta sua estabilidade. A combinação desses agentes implica em risco de deslizamento, tendo em vista que resistência ao cisalhamento do solo será reduzida (Morais, 2017).

Na Tabela (1), é apresentado um resumo dos principais fatores responsáveis por desencadear movimentos de massa.

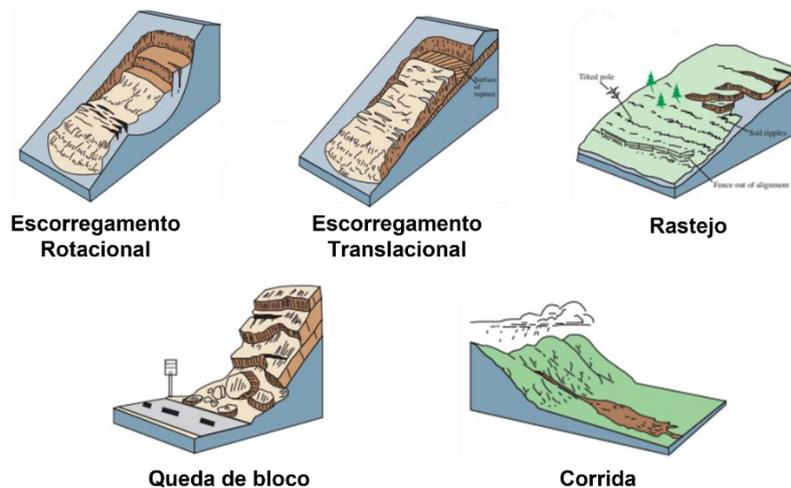


Figura 1 – Tipos de movimentos de massa (Adaptado de USGS, 2004).

Tabela 1 – Fatores deflagradores de movimentos de massa (Guidicini e Nieble, 1984).

Ação	Fatores	Fenômenos
Aumento das solicitações	Remoção de massa (lateral ou da base)	Erosão, escorregamentos e cortes.
	Sobrecarga	Peso da água da chuva, neve, granizo; Acúmulo natural de material; Peso da vegetação; Construção de estruturas e aterros;
	Solicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões, et; Explosões, tráfego, sismos induzidos.
	Pressões laterais	Água em trincas, material explosivo, etc.
Redução da resistência	Características inerentes ao material (textura, estrutura, etc.)	Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais.
	Mudança nas características do material	Intemperismo, redução da coesão, ângulo de atrito; Elevação do nível d'água.
	Outras causas	Enfraquecimento devido ao rastejo progressivo; Ação de raízes e animais.

2.3. Sinais de instabilidade em taludes

É possível fazer a previsão de deslizamentos e da sua magnitude, uma vez que, em geral, antes de ocorrer estes eventos o talude apresenta sinais de instabilidade que anunciam uma possível ruptura.

Conforme o Ministério das Cidades (Brasil, 2007), os principais sinais ou feições de instabilidade em taludes incluem fissuras de tração que surgem na superfície da área ou a expansão de fissuras já existentes, o desnível de estruturas fixas, como postes, muros e árvores, a formação de degraus de abatimento, além de trincas no solo e nas edificações próximas.

As inspeções em campo visam a verificação de feições de instabilidade em taludes. Elas são importantes pois a observação dos sinais de instabilidade que os taludes apresentam é crucial para avaliar o grau de probabilidade de o deslizamento ocorrer, ou seja, o nível de risco a que a área está submetida e isto permitirá que ações preventivas de contenção sejam tomadas e planos de evacuação de moradores sejam feitos (Brasil, 2007).

2.4. Mapeamento de áreas de risco

O risco revela a probabilidade de ocorrência de um evento específico, com uma determinada magnitude, podendo ser de origem natural ou provocado pelo homem, e estima as perdas que ele pode causar. À medida que aumenta a probabilidade de o evento acontecer com grandes proporções e quanto mais substanciais as perdas previstas, o nível de risco associado também cresce (Duarte; Margarida; Nascimento, 2008).

É denominada área de risco uma região em que podem ocorrer processos de origem natural ou induzidos que resultem em impactos negativos à comunidade local, como danos materiais, patrimoniais e à integridade física (Brasil, 2007).

Sendo assim, é importante que seja feito o mapeamento de áreas sujeitas ao risco de deslizamento de terra, de modo a minimizar os possíveis danos e preservar a integridade física dos moradores da região.

3. Área de estudo

Para este estudo foi escolhida uma área de risco de deslizamento de terra localizada na cidade de Teófilo Otoni, pertencente à região nordeste do estado de Minas Gerais, no Vale do Mucuri, como mostra a Figura (2).

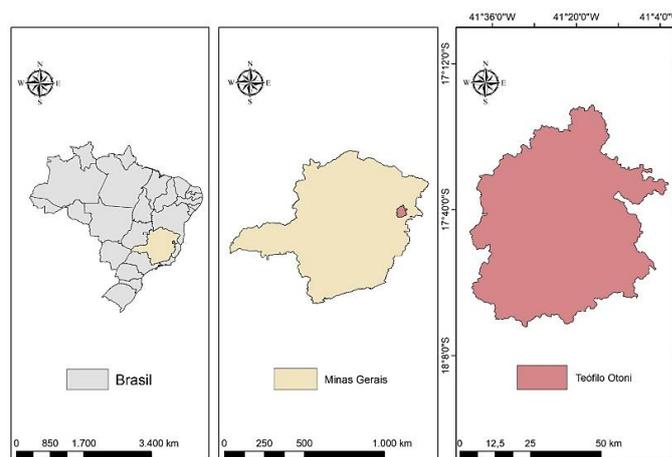


Figura 2 – Identificação da cidade de Teófilo Otoni no mapa do Brasil e de Minas Gerais.

A área de estudo pertence ao bairro São Cristóvão, região norte do município, mostrada na Figura (3).

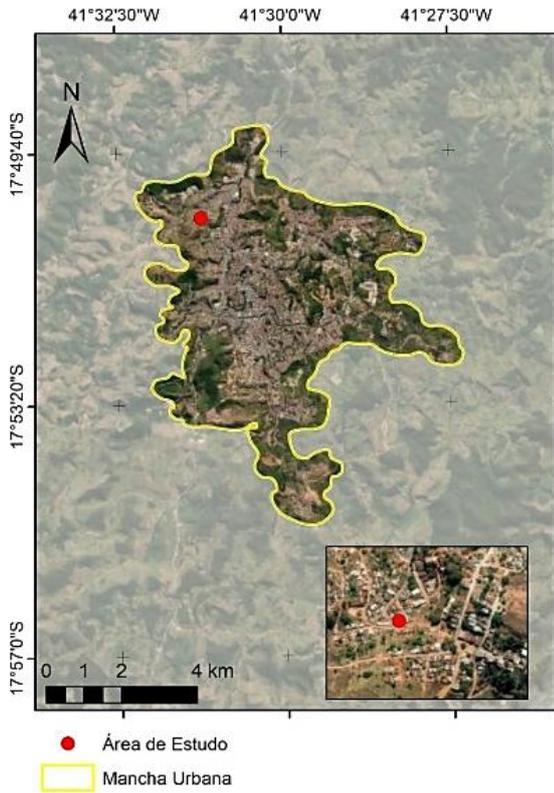


Figura 3 – Mapa de Teófilo Otoni com o bairro São Cristóvão em destaque.

Por ser uma área extensa, como mostra a Figura (4), abrange duas ruas: a rua Matildes Borges da Rocha e a rua Uruguai, e está sob as coordenadas geográficas -17.84373 de latitude e -41.52052 de longitude.



Figura 4 – Área de risco de deslizamento de terra escolhida para estudo.

A área de estudo possui histórico de deslizamentos de terra, tendo o mais recente ocorrido em fevereiro de 2023 (Figura 5).



Figura 5 – Vista aérea da área de estudo em fevereiro de 2023 (TV Leste, 2023).

Como mostra a Figura (6), o deslizamento foi de grandes proporções, tendo destruído três residências e inviabilizado o trânsito dos moradores.



(a)



(b)

Figura 6 – (a) Área de estudo em 2022, antes do deslizamento (b) Área de estudo em 2023, após o deslizamento.

Foi feita a remoção da terra que escorregou, porém o local ainda oferece risco como será visto no decorrer deste estudo e continua trazendo transtornos aos moradores, tendo esta área sido escolhida por essa razão.

4. Metodologia

No local, foram analisadas de forma visual algumas características geotécnicas e geológicas da área, foram feitos registros fotográficos da sua situação atual, bem como foram anotadas em fichas de campo as características indicativas de instabilidade presentes na encosta.

Para determinação do grau de risco de deslizamento a que a área está submetida, foi utilizado o roteiro metodológico para análise de risco e mapeamento de áreas de risco em setores de encosta e baixada, com enfoque em deslizamentos de solo, proposto pelo Ministério das Cidades (Brasil, 2007).

O roteiro possibilita a avaliação da probabilidade de ocorrência de acidentes e permite a determinação do nível de risco da situação analisada. Ele é dividido em sete passos que foram seguidos no presente trabalho. São eles:

- 1º Passo – Dados gerais sobre a moradia;
- 2º Passo – Caracterização do local;
- 3º Passo – Água;
- 4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades;
- 5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade);
- 6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou ocorridos;
- 7º Passo – Determinação do grau de risco.

No sétimo passo, para a determinação do potencial de risco da área de estudo, foi seguido o quadro de critérios para a determinação dos graus de risco (Tabela 2) proposto no roteiro.

Tabela 2 – Critérios para a determinação dos graus de risco (Brasil, 2007).

Grau de Probabilidade	Descrição
R1 Baixo ou sem risco	1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. não se observa(m) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. 3. mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
R2 Médio	1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/ evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. 3. mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R3 Alto	1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. observa-se a presença de significativo(s) sinal/ feição/ evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. 3. mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R4 Muito Alto	1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. 3. mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.

5. Resultados e discussão

5.1. Dados gerais sobre as moradias

Na área de estudo existem duas moradias muito próximas ao talude e por isso elas foram escolhidas para análise.

A primeira moradia em risco (moradia 01), apresentada na Figura (7), localiza-se na rua Uruguai, no Bairro São Cristóvão.



Figura 7 – Moradia 01 em risco.

A segunda moradia em risco (moradia 02), vista na Figura (8), localiza-se na rua Matildes Borges da Rocha, também no Bairro São Cristóvão.



Figura 8 – Moradia 02 em risco.

5.2. Caracterização do local

A área de estudo apresenta as seguintes características:

- Padrão construtivo: ambas as moradias foram construídas em alvenaria, e, portanto, tendem a suportar maior sollicitação que moradias como as feitas de madeira, por exemplo;
- Tipo de talude: o talude apresenta regiões naturais e regiões onde houve corte, em função de deslizamentos anteriores, o que o torna mais propenso a instabilizações;
- Tipo de material: solo;
- Presença de materiais: bananeiras no topo do talude, localizadas mais ao centro dele e perto da moradia 02, como mostra a Figura (9);



Figura 9 – Bananeiras no topo do talude.

- Inclinação da encosta: observando o local e seguindo as instruções do roteiro nota-se que a encosta possui entre 60° e 90° e segundo o Ministério das Cidades (Brasil, 2007) taludes acima de 17° já são passíveis de movimentações;
- Distância da moradia ao topo: a moradia 01 está exatamente no topo do talude, como pode-se constatar na Figura (10), e a moradia 2 está no meio do talude.



Figura 10 – Vista aérea da moradia 02 (TV Leste, 2023).

5.3. Água

Pela Figura (11), observa-se que há ou houve lançamento de águas servidas na encosta, próximo à moradia 01.



Figura 11 – Lançamento de águas servidas no talude.

Além disso, a área estudada não possui sistema de drenagem superficial.

5.4. Vegetação no talude ou proximidades

O talude possui cobertura de vegetação praticamente nula, presentes em apenas alguns pontos, como é possível ver na Figura (12), e as proximidades possuem pouca vegetação. Há presença de bananeiras no topo do talude, o que pode facilitar a infiltração de água.



Figura 12 – Talude com pouca cobertura vegetal.

5.5. Sinais de movimentação

A Figura (13) exhibe a presença de trincas no solo e cicatrizes de deslizamento próximas à moradia 01.



Figura 13 – Zoom na parte superior do talude na rua Uruguai.

A mesma situação é observada perto da moradia 02 (Figura 14).



Figura 14 – Zoom na moradia 02.

5.6. Tipos de processos de instabilização esperados ou ocorridos

Por todas as características já descritas nos tópicos anteriores, na área de análise é muito provável a ocorrência de escorregamentos circulares, tendo em vista o solo espesso e homogêneo, o grande volume de material e os poucos planos de deslocamento externos.

Além disso, a região já sofreu um escorregamento de mesmo tipo, como pôde ser visto a partir da Figura (5), em fevereiro do ano de 2023.

5.7. Determinação do grau de risco

A partir dos resultados até aqui apresentados, nota-se a presença expressiva de diversos elementos indicativos de instabilidade do talude como: trincas no solo, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, inclinação elevada, além da proximidade das moradias à encosta. Todos esses fatores

agrupados representam uma potencialidade muito alta para o desenvolvimento de processos de deslizamentos.

É perceptível o estágio avançado de instabilização na região. Ademais, o talude fica às margens da via e ocupa uma área extensa. Além disso, existem ruas e casas próximas à base do talude.

Sendo assim, se as condições atuais forem mantidas, é grande a probabilidade de ocorrência de

eventos danosos durante períodos de chuvas intensas e prolongadas.

Dessa forma, é possível inferir que a área de estudo se classifica como uma área de risco de deslizamento de grau de probabilidade R4 (Muito Alto).

Na Figura (15) é possível observar o mapa de risco da área de estudo.

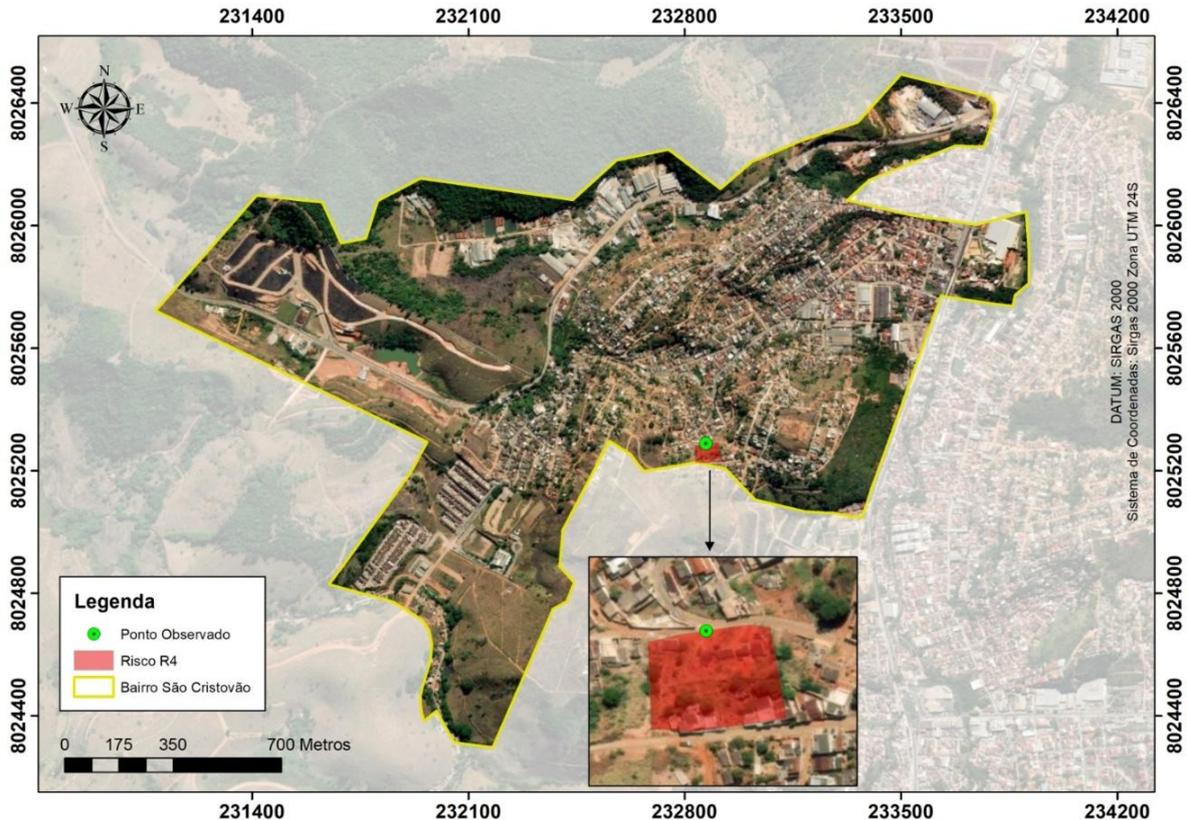


Figura 15 – Mapa de risco da área analisada.

6. Conclusão

Este trabalho buscou investigar e determinar o nível de risco de deslizamento de terra em uma área no bairro São Cristóvão, na cidade de Teófilo Otoni em Minas Gerais. A metodologia adotada compreendeu uma abordagem abrangente que combinou análises geotécnicas e geológicas, a fim de fornecer uma avaliação precisa do potencial de deslizamento na região de estudo.

Os resultados apontam que a área apresenta um grau de probabilidade significativo de risco, sendo classificada como R4 (muito alto) conforme a os critérios de avaliação de risco adotados. Essa classificação indica a existência de condições geológicas e ambientais propícias para deslizamentos de terra, de modo que a região requer

uma atenção especial das autoridades e dos moradores do local e proximidades.

Para mitigação dos riscos, impactos potenciais e proteção de vidas e propriedades, é importante que novas medidas de estabilização do talude sejam tomadas. Outrossim, a comunidade local precisa ser conscientizada sobre comportamentos seguros em áreas de risco de deslizamento de terra. Em suma, destaca-se a urgência de ações dos órgãos responsáveis.

O presente estudo pode oferecer uma base para futuras análises e intervenções no local, buscando a segurança dos cidadãos teófilotonenses diante dos problemas de risco de deslizamento de terra enfrentados.

Referências

- Araújo, R.S., 2017. *Curso básico de percepção do risco geológico*. Serviço Geológico do Brasil. Vitória.
- Brasil, 2007. *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Ministério das Cidades; IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- Das, B.M., 2007. *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. Tradução da 6. ed. Editora Thomson Learning. São Paulo.
- Duarte, L.R., Margarida, C., and Nascimento, C.A.V., 2008. *Os CONSEGs e a redução de riscos*. CEPED. Santa Catarina.
- Guidicini, G. and Nieble, C.M., 1984. *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. Editora Blucher. São Paulo.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. UK and New York. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Marangon, M., 2009. *Estabilidade de taludes: tipos e causas dos escorregamentos*. Tópicos em geotecnica e obras de terra. Juiz de Fora.
- Morais, G.S., 2017. *Mapeamento de área em risco de deslizamento e análise de estabilidade de encosta na cidade de João Pessoa-PB*. Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/24850>> [Acessado 4 fevereiro 2024].
- Tominaga, L. K.; Santoro, J. and Amaral, R., 2009. *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. 1 ed. Instituto Geológico. São Paulo.
- TV Leste, 2023. *Teófilo Otoni: Remoção de Terra que Deslizou no Alto São Cristóvão*. Governador Valadares. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=6iUZJzyRktI>> [Acessado 08 dezembro 2023].
- USGS – United States Geological Survey, 2004. *Landslide Types and Processes*. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/FS2004-3072.pdf>> [Acessado 08 dezembro 2023].
- Vedovello, R. and Macedo, E., 2007. *Deslizamentos de encostas*. In: Santos, R.F. ed., 2007. *Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?*. Brasília: MMA.