

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA NA SERRA DO CURRAL

Mapping of areas susceptible to landslides in the Serra do Curral.

Thiago Bomjardim Porto

Doutor, Pesquisador do Programa de Pós-graduação em Geologia do IGC UFMG, Brasil

thiagoportoeng@gmail.com

Maria Giovana Parizzi

Doutora, Docente do Programa de Pós-graduação em Geologia do IGC UFMG, Brasil

mgparizzi18@gmail.com

Úrsula Ruchkys de Azevedo

Doutora, Docente do Programa de Pós-graduação em Geografia do IGC UFMG, Brasil

tularuchkys@yahoo.com.br

Marcos Antônio Timbó Elmiro

Doutor, Docente do Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do IGC UFMG, Brasil

mtimbo@ufmg.br

Jarbas Lima Dias Sampaio

Doutor, Docente do Departamento de Geologia do IGC UFMG, Brasil

jarbasdias@gmail.com

Recebido: 10/01/2025

Aceito: 25/03/2025

Resumo

A Serra do Curral tem extensão de 100 km e está localizada no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais perpassando diversos municípios. Sua formação ocorreu durante o Proterozóico e possui depósitos de minério de ferro, manganês, bauxita e ouro. Ao longo da Serra ocorrem frequentemente movimentos de massa, implicando em modificação da paisagem e podendo causar danos ambientais e materiais, exigindo uma avaliação adequada. Analisou-se a probabilidade de ocorrência de deslizamentos em áreas de risco geológico-geotécnico na porção central da Serra do Curral, compreendida pelos municípios de Belo Horizonte, Nova Lima e Sabará, por meio da cartografia geotécnica digital. A metodologia dessa pesquisa consistiu na integração ponderada de sete variáveis (geomorfologia, geologia, pedologia, declividade, orientação das vertentes, pluviosidade e uso/ocupação do solo), resultando em um mapa de suscetibilidade. Para validar o modelo desenvolvido, as cicatrizes dos eventos mapeados em campo e por fotointerpretação foram sobrepostas juntamente com registros de ocorrências fornecidos pela defesa civil. Finalmente, a análise espacial do ambiente físico realizada nesta pesquisa constitui uma valiosa fonte de dados técnicos para a formulação, atualização e revisão de planos diretores dos municípios compreendidos pela área de estudo. A cartografia geotécnica automatizada mostrou-se como uma importante ferramenta que auxilia na redução das dificuldades associadas ao mapeamento de regiões menos propícias para a ocupação urbana, contribuindo assim para a prevenção de desastres e oferecendo suporte ao setor público.

Palavras-chave: Movimentos de massa, Suscetibilidade à deslizamentos, Encostas urbanas, Álgebra de mapas, Geotecnia.

Abstract

The Serra do Curral extends for 100 km and is located within the Quadrilátero Ferrífero region of Minas Gerais, spanning multiple municipalities. It was formed during the Proterozoic era and hosts iron ore, manganese, bauxite, and gold deposits. Mass movements frequently occur along the range, altering the landscape and potentially causing environmental and material damage, necessitating proper assessment. This study analysed the probability of landslide occurrence in geotechnical risk areas within the central portion of the Serra do Curral, covering the municipalities of Belo Horizonte, Nova Lima, and Sabará, through digital geotechnical cartography. The methodology involved weighted integration of seven variables (geomorphology, geology, pedology, slope, aspect, rainfall, and land use/land cover), resulting in a susceptibility map. To validate the developed model, landslide scars mapped in the field and through photointerpretation were overlaid with occurrence records provided by civil defence authorities. Finally, the spatial analysis of the physical environment conducted in this study serves as a valuable technical resource for formulating, updating, and revising master plans for the municipalities within the study area. Automated geotechnical cartography proved essential in mitigating the challenges associated with mapping areas less suitable for urban development, thus contributing to disaster prevention and supporting public sector decision-making.

Keywords: Mass movements, Landslide susceptibility, Urban slopes, Map algebra, Geotechnics.

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são importantes processos que condicionam a desastres ambientais que podem ocorrer de forma natural ou por indução de ações antrópicas. Os deslizamentos de encostas urbanas, em particular, desencadeiam impactos substanciais sociais, econômicos e ao meio ambiente (Pourghasemi *et al.*, 2018). As técnicas de zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamento de encostas têm evoluído significativamente nas últimas décadas, permitindo a identificação de possíveis áreas sujeitas a movimentos de massa a partir de cartas e/ou mapas de modo a orientar os gestores públicos sobre medidas preventivas e de mitigação do risco. Essas informações tem sido utilizadas como ferramentas de auxílio no planejamento de uso e ocupação do solo, e, conseqüentemente no planejamento urbano dos municípios, com influência importante na revisão dos planos diretores municipais (Oliveira, 2009).

O aumento da disponibilidade de dados de domínio público, a conscientização da sociedade sobre a importância do tema e os recentes desenvolvimentos de políticas públicas mais assertivas são elementos importantes para aumentar o interesse em pesquisas referentes a análise de suscetibilidade a movimentos de encostas urbanas. Neste contexto, destaca-se as recentes pesquisas relacionadas ao mapeamento participativo integrando a comunidade vulnerável com o poder público (Porto, 2024).

Os principais fatores que influenciam diretamente ou indiretamente os movimentos de massa são: inclinação do talude, litologia/tipo de solo, aspecto/direção do talude, uso e

ocupação do solo, elevação/altura do talude, distância dos rios/lagos, distância das estruturas geológicas (falhas e fraturas), distância das estradas, curvatura do talude, precipitação, topografia, vegetação, comprimento longitudinal do talude, drenagem e intervenções antrópicas (Pourghasemi *et al.*, 2018).

Os movimentos de massa, usualmente, não são ocasionados pelos fatores condicionantes listados anteriormente de maneira isolada, mas sim, pela combinação dos mesmos. Considerando a complexidade e dificuldade de prever a ocorrência dos deslizamentos de massa, a avaliação da suscetibilidade à deslizamentos de encostas é um dos desafios mais importantes dos pesquisadores envolvidos no tema (Bui *et al.* 2016a).

Nas últimas décadas, surgiram diversas propostas de métodos e técnicas destinados à modelagem e avaliação da suscetibilidade a deslizamentos de massa (Bui *et al.*, 2016b). O objetivo da análise de suscetibilidade a deslizamentos é estabelecer a relação entre a ocorrência desses processos e seus fatores condicionantes para identificar as áreas propensas espacialmente usando estatística, inteligência artificial e/ou técnicas baseadas em sistemas de informações geográficas, como por exemplo, álgebra ponderada de mapas (Cárdenas e Mera, 2016).

Os principais modelos (matemáticos, estatísticos e/ou computacionais) utilizados para sistematizar a suscetibilidade de movimentos de massa são: Regressão logística, Razão de frequência, Pesos de evidência, Rede neural artificial, Processo de análise hierárquica, Lógica Fuzzy, Regressão vetorial, Árvore de decisão, Avaliação espacial multicritério, Combinação linear ponderada, Análise discriminante, Modelo splines de regressão adaptativa multivariada, Avaliação multicritério, Análise Bayesiana, Análise estatística Bivariada, análise discriminante linear de Fisher, modelo de estabilidade de talude infinito, análise de decisão multicritério, razão de verossimilhança probabilística, Método de omissão de erros e outros (Pourghasemi *et al.*, 2018).

No âmbito do uso de técnicas de inteligência artificial (IA) na busca de padrões estatísticos relacionados aos estudos sobre mapeamentos de suscetibilidade à movimentos gravitacionais de massa, destacam-se as pesquisas de Teodorico (2025) e Silva (2024).

O avanço nos estudos sobre o mapeamento de áreas propensas a movimentos de massa é, em parte, atribuído aos recentes avanços das técnicas de informática, geoprocessamento e outras geotecnologias. Este avanço é especialmente evidente no domínio do sensoriamento remoto e no crescente emprego de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em projetos de engenharia e geologia. Isso viabiliza e simplifica a

análise, gestão, representação e tratamento espacial da informação, integrando dados, equipamentos e recursos humanos de maneira mais eficiente (Porto *et al.*, 2024a).

Este estudo elaborou um mapa atualizado de suscetibilidade a movimentos de massa em uma região de risco geológico-geotécnico abrangendo os municípios da porção central da Serra do Curral. A ferramenta escolhida para este propósito foi o SIG QGIS, e o método adotado foi o MCDA-AHP.

As condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes na região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), bem como correlações entre chuvas e movimentos de massa já são objeto de estudos há vários anos, com destaque aos trabalhos: Porto *et al.* (2024b), Porto *et al.* (2024c), Porto *et al.* (2024d), Silva *et al.* (2023), Parizzi (2022), Parizzi (2021), Menezes (2021), Menezes *et al.* (2021), Casagrande *et al.* (2020), Reis Junior e Parizzi (2019), Lucas *et al.* (2018), Reis Junior (2016), Lucas *et al.* (2015), Lucas *et al.* (2014), Parizzi (2014), Assis *et al.* (2013), Parizzi *et al.* (2013), Parizzi *et al.* (2011), Campos (2011), Menezes (2011), Galvão *et al.* (2010), Parizzi *et al.* (2010a), Parizzi *et al.* (2010b), Oliveira, (2009), Parizzi *et al.* (2006), Aranha *et al.* (2005), Parizzi (2004) e Carvalho (1999).

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

A Serra do Curral está localizada no Quadrilátero Ferrífero, Figura 1, sendo que a área de estudo compreende a porção central da Serra, abrangendo os municípios de Belo Horizonte, Nova Lima e Sabará, Figura 2. Para sua delimitação, definiu-se a cota altimétrica mínima de referência na ordem de 990 m em relação ao nível do mar. Sua altitude máxima está na ordem de 1.647 metros. De acordo com DORR II (1969) a Serra do Curral é uma cadeia de montanhas lineares com cerca de 100 km de extensão que se estende desde a Serra da Piedade (município de Caeté), a leste, até uma curta distância a oeste de Itatiaiuçu, Figura 3. A cordilheira recebe muitas designações locais ao longo de sua extensão (Serra Azul, Serra do Itatiaia, Serra das Farofas, Serra dos Três Irmãos, Serra do Rola Moça, Serra do Curral, Serra do Taquaril e Serra da Piedade), e o nome Serra do Curral é comumente atribuído apenas na área ao sul de Belo Horizonte, Figura 4. Sua estrutura geológica é bastante homogênea ao longo de seu comprimento longitudinal, respaldando assim, um único nome aplicado a toda a cordilheira pela equipe da USGS-DNPM (United States Geological Survey – Departamento Nacional da Produção Mineral)

responsável pelo mapeamento geológico do Quadrilátero Ferrífero na década de 60, liderada por John Van Nostrand Dorr II.

A Serra do Curral integra a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE) cuja delimitação geográfica foi produzida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), Sisema e sociedade civil, Figura 5. A RBSE foi reconhecida pela UNESCO em 2005 por meio do Programa "O Homem e a Biosfera" (Man and the Biosphere - MAB), com revisão e atualizações entre 2015 e 2018 (Andrade *et al.*, 2015), (Andrade *et al.*, 2018) e (Travassos *et al.*, 2023). A RBSE começa na região leste de Minas Gerais, pelas serras de Ouro Branco e Serra do Curral, perpassando as serras da Piedade e Cipó, seguindo na direção norte, com destaque aos municípios de Diamantina e Serro (Espinhaço Meridional), indo para a região do Alto Jequitinhonha. A porção final superior da RBME, prevista para a fase 3, encontra-se na Bahia, sendo constituída pela Serra do Sincorá, na região do Mucugê; além das serras de Lençóis, Rio de Contas, Morro do Chapéu e Jacobina, entre outras que compõem a Chapada Diamantina.

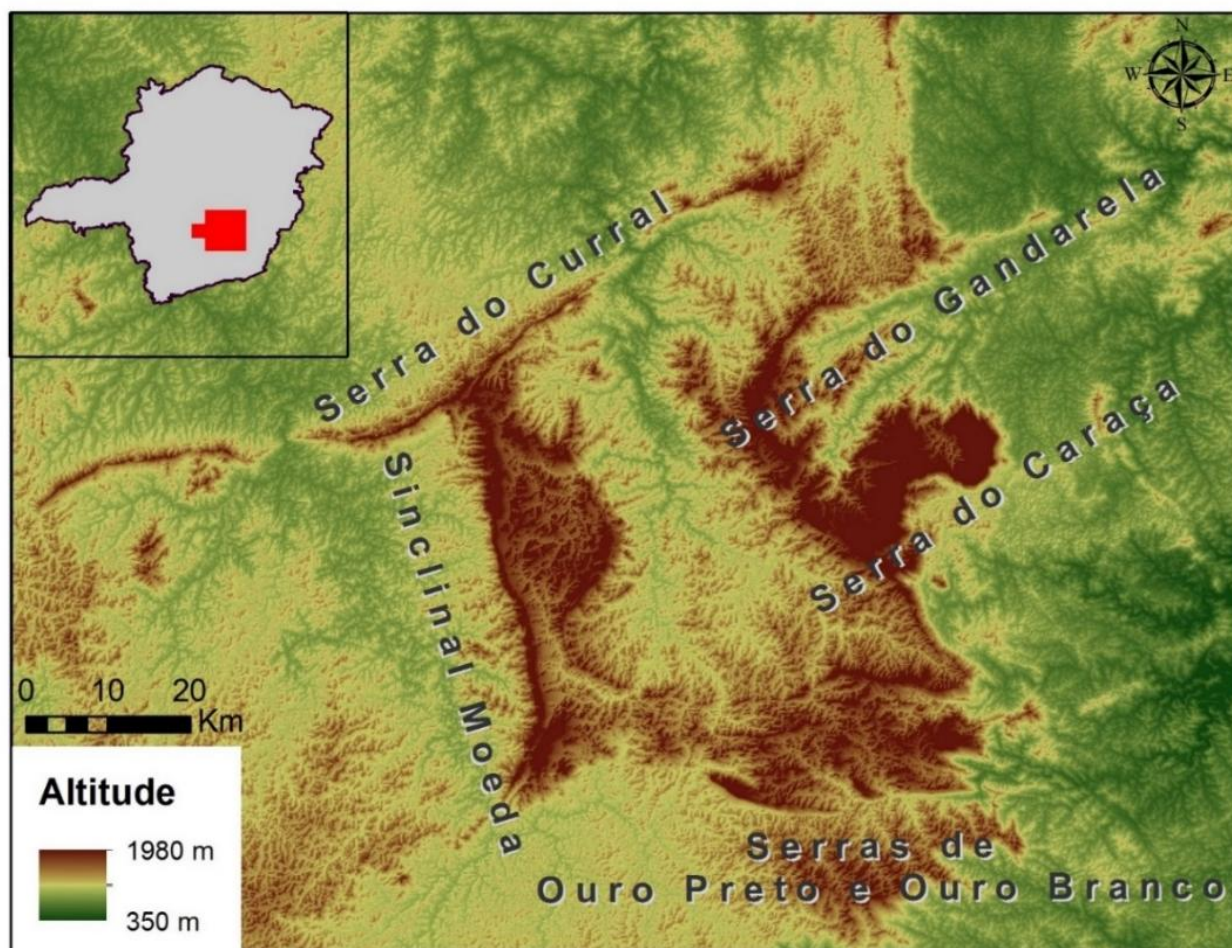


Figura 1 - Localização do Quadrilátero Ferrífero no Estado de Minas Gerais e suas principais serras.

Fonte: Prístino, 2018.

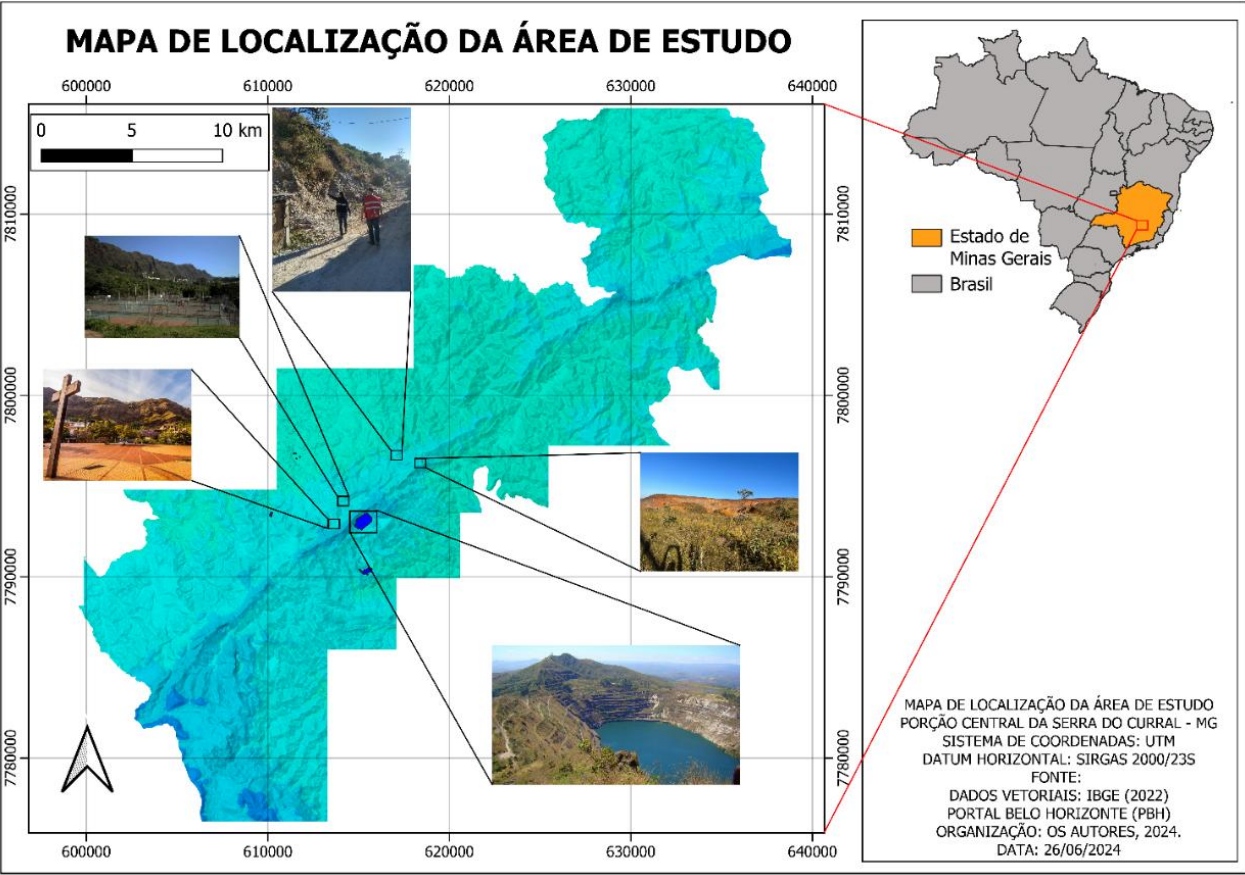


Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo.
Fonte: Autores, 2024.

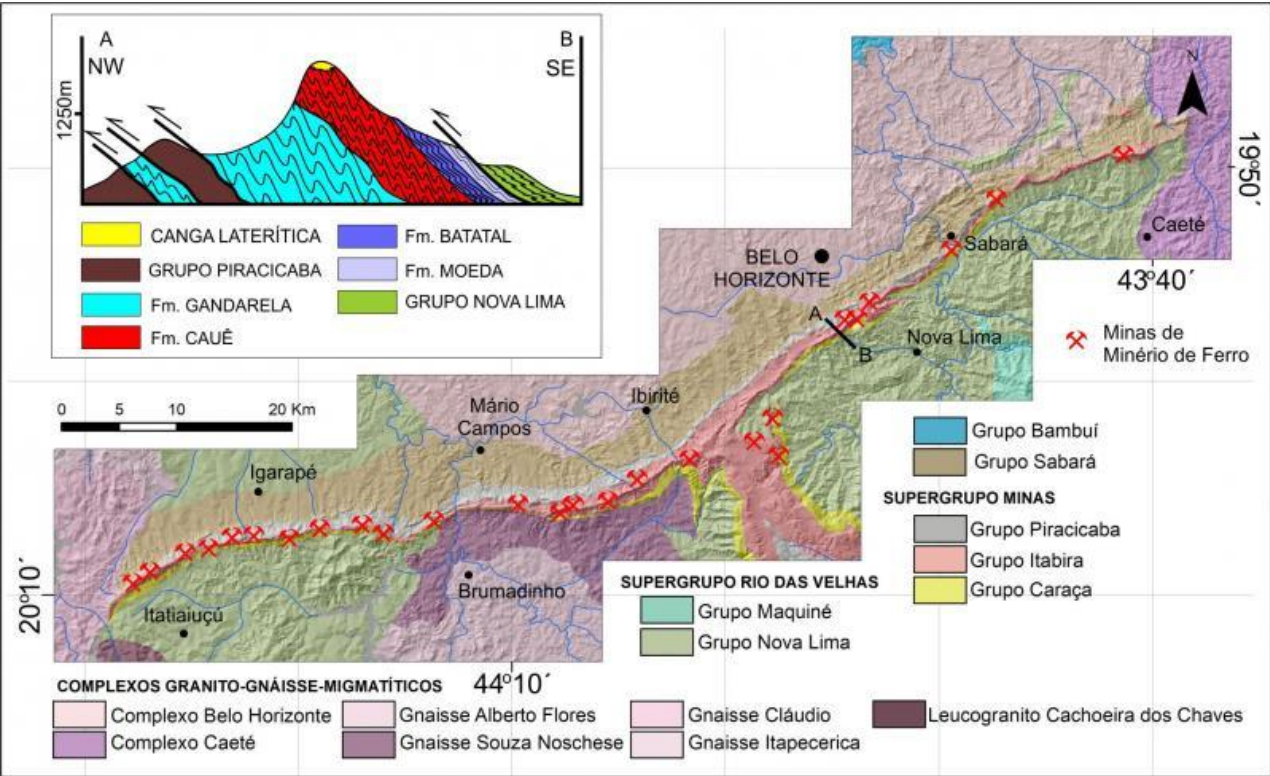


Figura 3 - Mapa geológico simplificado da Serra do Curral com a localização das minas de minério de ferro e perfil geológico de detalhe próximo à Mina de Águas Claras.
Fonte: Cavalcanti, 2021.



Figura 4 - Vista da porção central da Serra do Curral.
Fonte: Tavares, 2022.

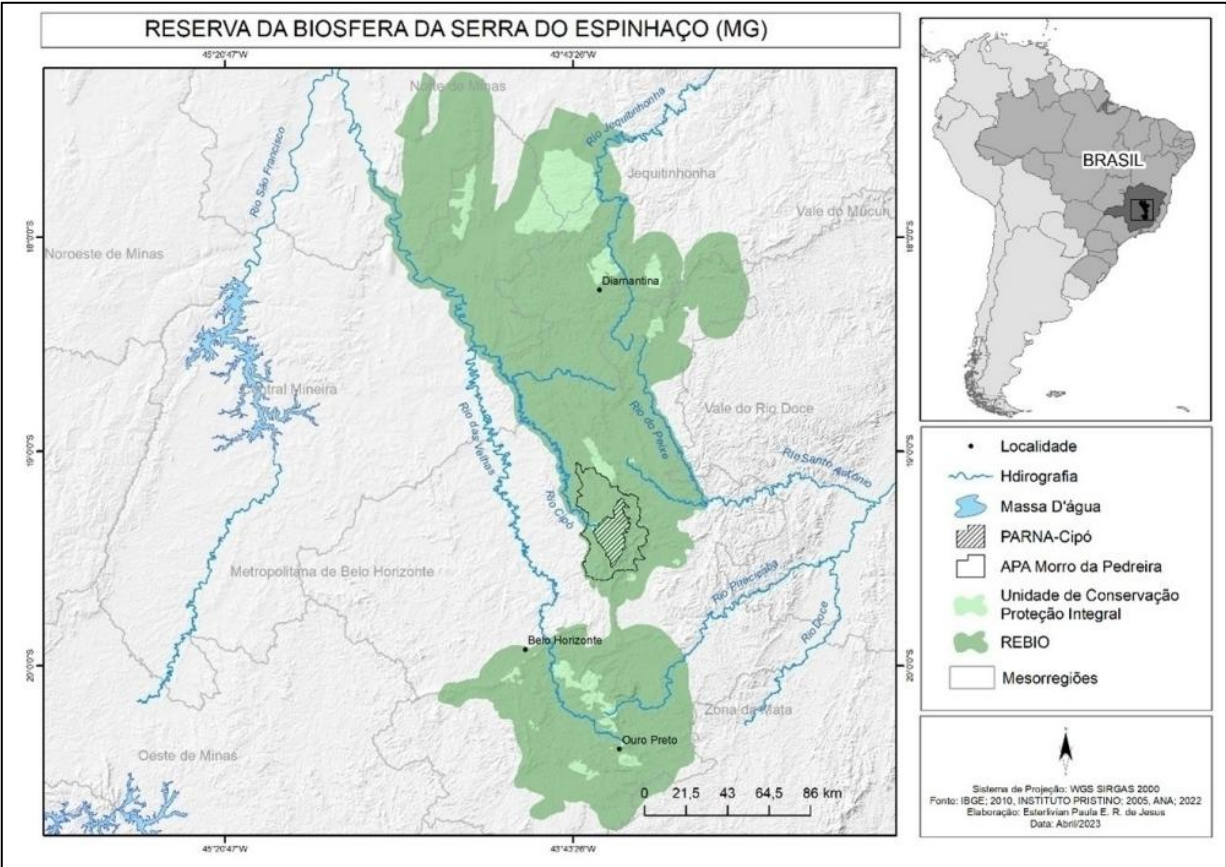


Figura 5 - Localização da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE).
Fonte: Travassos et al., 2023.

A área de estudo compreende também o Corredor Ecológico Espinhaço-Serra do Curral, instituído pelo Decreto Municipal de Belo Horizonte Nº 17.986, de 6 de junho de 2022 (Belo Horizonte, 2022), Figura 6.

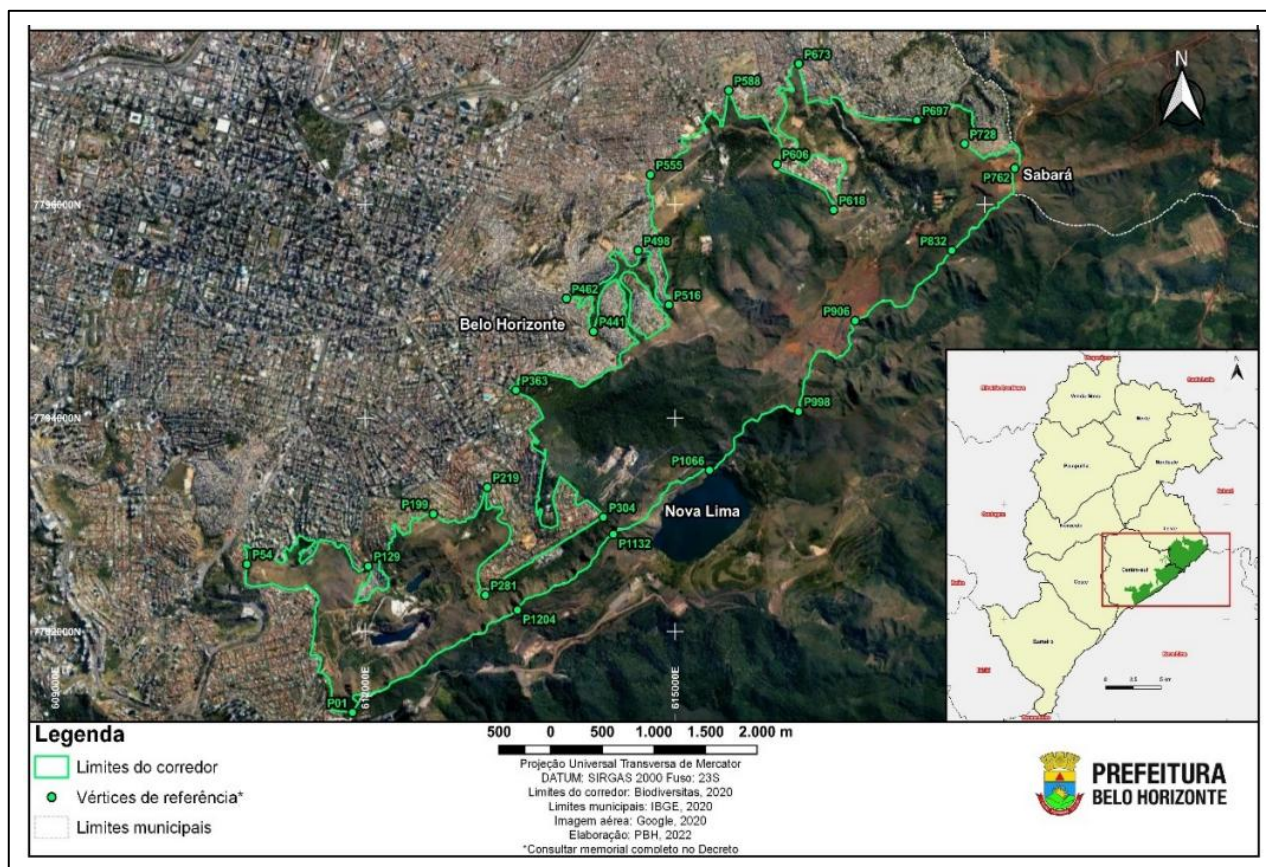


Figura 6 - Localização do corredor ecológico espinhaço-serra do curral.

Fonte: Belo Horizonte, 2022.

2.2. Materiais

Do IDE-Sisema e CPRM, foram utilizados os planos de informação referentes a geologia (feições litológicas e estruturais), relevo (extensão, altura, perfil, morfologia das encostas) e solos (granulometria, mineralogia, unidade pedológica).

Do SNIRH-ANA foram utilizados os dados geoespaciais e temporais referente a precipitação (intensidade, altura, duração, frequência). Do IBGE foi utilizado os mapas políticos com a delimitação dos municípios que compreendem a porção central da serra do Curral.

No âmbito internacional, diversos sites disponibilizam imagens de satélite de forma gratuita sobre a superfície terrestre. Do ASF (Alaska Satellite Facility) Alaska foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) proveniente do satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite) para a geração de mapa de declividade e orientação das vertentes. A partir de

imagens do satélite do CEBERS-4A (convênio entre Brasil e China) foi desenvolvido, a partir do Semi Automatic Classification Plugin (SCP), executado no QGIS, o mapa de uso e ocupação do solo.

Da prefeitura de Belo Horizonte e Defesa Civil, foram utilizados o inventário geoespacial de ocorrências de deslizamentos em parte da área de estudo. Para regiões desprovidas de dados formais de sinistros, foram utilizadas cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa, adquiridas por meio de visitas de campo e análise de imagens de satélite (fotointerpretação) do SGB/CPRM.

2.3. Métodos

As etapas realizadas para o desenvolvimento da pesquisa são apresentadas na Figura 7 e envolveram: (a) Obtenção, organização e tabulação dos inventários de deslizamentos existentes para o a área de estudo, bem como, bases cartográficas disponíveis nos sites do IBGE, IDE Sisema e INDE; (b) Manipulação, tratamento e análise dos dados obtidos por meio do programa QGIS; (c) Realização de vistorias presenciais na região/área do estudo da pesquisa; (d) Classificação do grau de suscetibilidade à deslizamentos dos taludes vistoriados em 5 (cinco) classes (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) usando álgebra de mapas e conferência dos resultados numéricos com os diagnósticos de campo; (e) Execução, validação e publicação do mapa de suscetibilidade à movimentos de massas da área em estudo.

Para organização, tabulação, armazenamento, modificação, análise, processamento e visualização dos dados georreferenciados, foi utilizado o software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG) QGIS. Para a classificação supervisionada das imagens do satélite CBERS-4A utilizou-se o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) no QGIS. Para obtenção dos dados de precipitação, utilizou-se o ANA Data Acquisition plugin, executado no QGIS.

Os trabalhos de campo possibilitaram o entendimento melhor da área de estudo, bem como permitiu a coleta de amostras para análises expeditas in loco, Figura 8, registro fotográfico local, Figura 9, georrefenciamento com GPS de cicatrizes/processos existentes (por amostragem) e realização de conversas com a população local, sem aplicação de formulário de questões específico. As entrevistas foram feitas com moradores e transeuntes da Serra do Curral com vistas a entender de forma pragmática os aspectos históricos de movimentos gravitacionais de massa evidenciados nas visitas técnicas realizadas, Figuras 10 e 11.

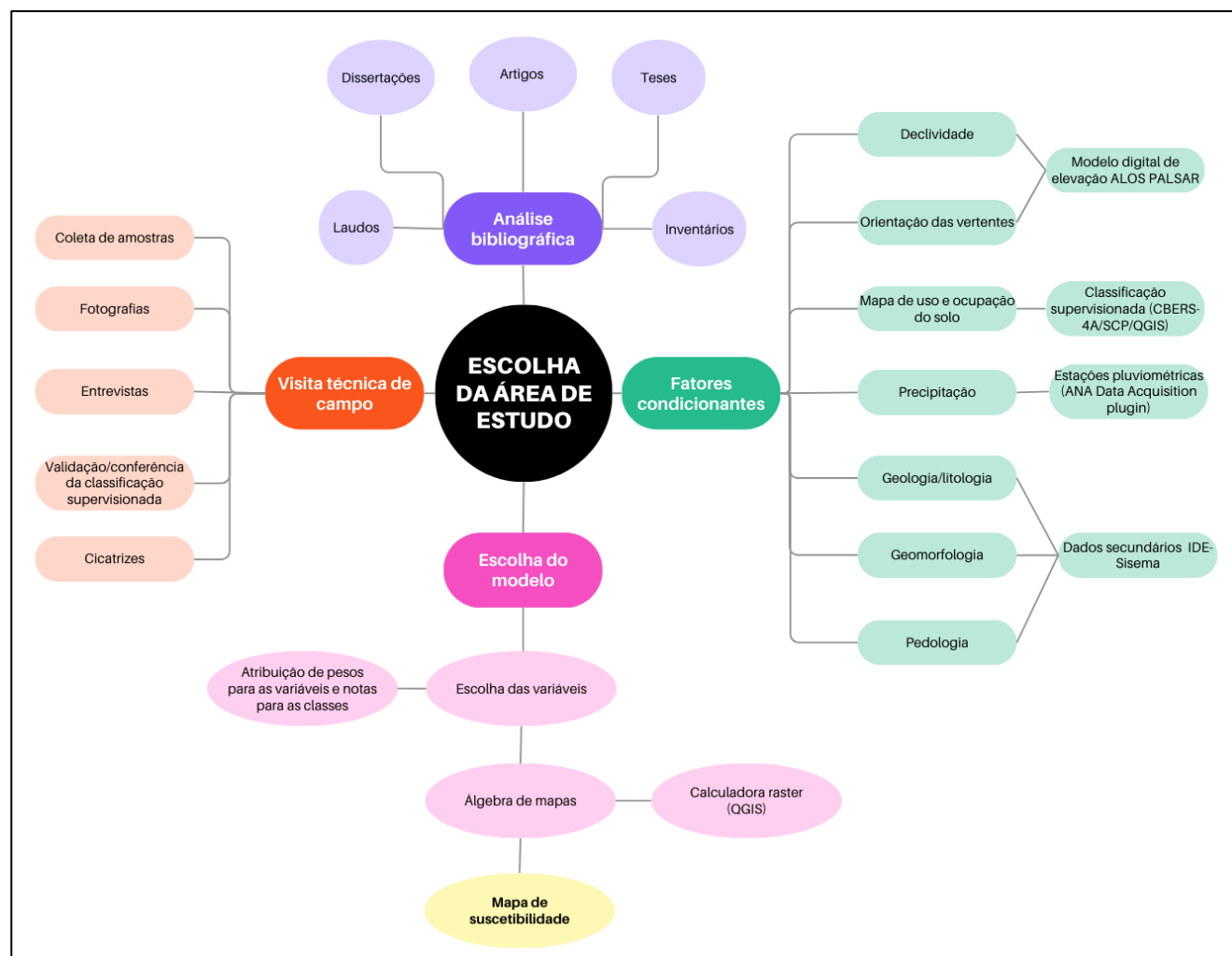


Figura 7 - Fluxograma metodológico da pesquisa.

Fonte: Autores, 2024.

Os trabalhos de campo possibilitaram também acompanhar as ações de mitigação de riscos geológicos-geotécnicos feitas pelo poder público municipal na forma de obras de infraestrutura de estabilização de taludes, estruturas de contenção (gabião), drenagem e proteção superficial, Figura 12. De acordo com PARIZZI (2021) a orientação das encostas da porção central da Serra do Curral e o mergulho do acamamento do Itabirito da Formação Cauê favorecem o escorregamento planar no lado de Nova Lima e queda de blocos no lado de Belo Horizonte.

O talude da rua João Camilo de Oliveira Tôrres no Bairro Mangabeiras é formado por tálus derivado da fragmentação de filitos e quartzitos da Formação Cercadinho. De acordo com PARIZZI (2021), depósitos acumulados resultantes de rupturas de xistos e filitos na base das encostas usualmente se movimentam lentamente, em função da menor inclinação dessas áreas, favorecendo a ocorrência de rastejamentos.



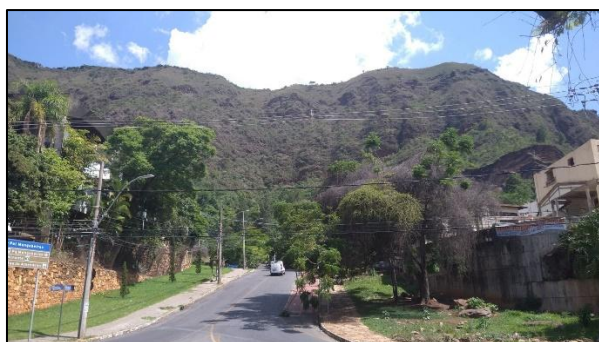
(a) Amostra Regional Leste.



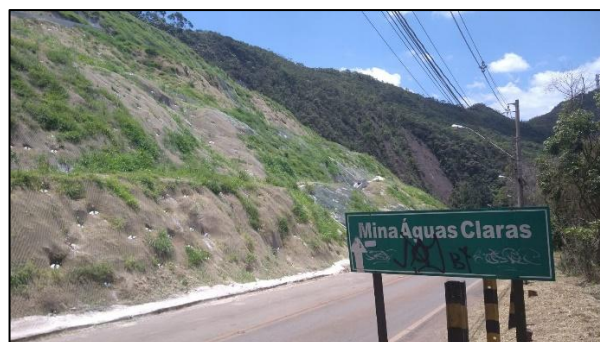
(b) Amostra coletada na regional Centro Sul de BH.

Figura 8 - Amostras coletadas nos trabalhos de campo realizados em junho/2023 e novembro/2023.

Fonte: Autores, 2024.



(a) Vertente Noroeste (NW).



(b) Vertente Sudeste (SE).

Figura 9 - Fotos da porção central da Serra do Curral nos lados de Belo Horizonte e Nova Lima.

Fonte: Autores, 2024.



(a) Entrevista com moradora local sobre sinistro.



(b) Sinistro função de movimento de massa.

Figura 10 - Evidência de movimento gravitacional de massa (rastejo) ocorrido no Bairro Mangabeiras.

Fonte: Autores, 2024.



(a) Vista lateral do talude instável.



(b) Vista frontal do talude instável.

Figura 11 - Evidência de movimento gravitacional de massa (queda de blocos) ocorrido no Bairro Buritis.

Fonte: Autores, 2024.



(a) Vista do talude recuperado.



(b) Detalhe da biomanta no talude recuperado.

Figura 12 - Registro fotográfico das intervenções de engenharia feitas para estabilização do talude da Rua Roma, no Bairro Buritis em Belo Horizonte.

Fonte: Autores, 2024.

De acordo com PARIZZI (2021) taludes que ainda não sofreram intervenções antrópicas, como cortes e aterros, estão cobertos por depósitos de vertentes, cuja cobertura, associada à baixa permeabilidade do maciço geotécnico retarda a saturação das descontinuidades, o que mantém o maciço rochoso estável. Na medida em que obras de infraestrutura são realizadas para urbanização da área, como vias de acesso, os taludes expostos ficam mais vulneráveis aos intemperes, favorecendo assim os movimentos gravitacionais de massa. A autora afirma que as encostas em regiões de substrato rochosos constituídos por xistos e filitos do Grupo Sabará, filitos da Formação Fecho do Funil, Barreiro, e filitos alternados por quartzitos da Formação Cercadinho se movimentam e se rompem a partir de processos relacionados com a geometria do corte e as descontinuidades dos maciços geotécnicos.

Antes da realização da álgebra de mapas dos 7 (sete) fatores condicionantes, procedeu-se com a reprojeção de todos os mapas temáticos para o DATUM Sirgas 2000/23S e sistema de coordenadas UTM. Além disso, conforme sugerem Câmara *et al.* (2001), os arquivos no formato vector (vetorial) devem ser convertidos em arquivos no formato raster (matricial).

Um resumo conceitual sobre álgebra de mapas, geoprocessamento/SIG, Método Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA) e do AHP (que foi utilizado neste trabalho) podem ser encontrados nos trabalhos de: Fitz (2008a), Barbosa (2021), McHarg (1969), Costa (2002), Fitz (2005), Fitz e Souza (2007), Fitz (2008b), Robaina *et al.* (2009), Moura (2007), Moura (2014), Rocha *et al.* (2018), Saaty (1977), Saaty (1978a), Saaty (1978b), Saaty (1980), Saaty (1984), Saaty (1987), Saaty (1990), Saaty (1991) e Saaty (2005), Torres, (2014), Franek e Kresta, (2014) e Faria, (2011).

3. RESULTADOS E ANÁLISES

Para aplicação do método AHP foi necessário estabelecer as variáveis com significativa importância quanto ao objeto da pesquisa: avaliação da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. Na Figura 13 são apresentados os mapas temáticos gerados para subsidiar a álgebra de mapas. Trata-se dos atributos utilizados na operação de modelagem cartográfica desta pesquisa: (a) Geomorfologia; (b) Pedologia; (c) Geologia (d) Uso e Ocupação do solo; (e) Direção das Vertentes; (f) Precipitação; (g) Declividade.

Concomitantemente a elaboração dos mapas temáticos (Figura 13) que foram utilizados na álgebra de mapas, um especialista para cada fator condicionante adotado na pesquisa foi convidado para estabelecer o grau de importância entre os atributos utilizados, considerando a escala de Saaty, totalizando 7 (sete) consultores

Importante destacar que as notas das classes de cada atributo desta pesquisa foram definidas e adaptadas com base nos trabalhos de Parizzi *et al.* (2010), Torres (2014), IBGE (2019) e IBGE (2024), porém sujeitas à subjetividade e relatividade da avaliação técnica.

Apresenta-se na Figura 14 o mapa de suscetibilidade a deslizamento desenvolvido, função da soma ponderada dos fatores condicionantes escolhidos. Analisando-se a Figura 14, percebe-se que o Grau de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa no entorno da Serra do Curral é classificado como alto a muito alto. Nota-se que a Regional Leste de Belo Horizonte, nas proximidades com Sabará e Nova Lima, com presença de ocupação não planejada é mais vulnerável que outras regiões do estudo de caso, potencializando assim, inesperados eventos de deslizamentos.

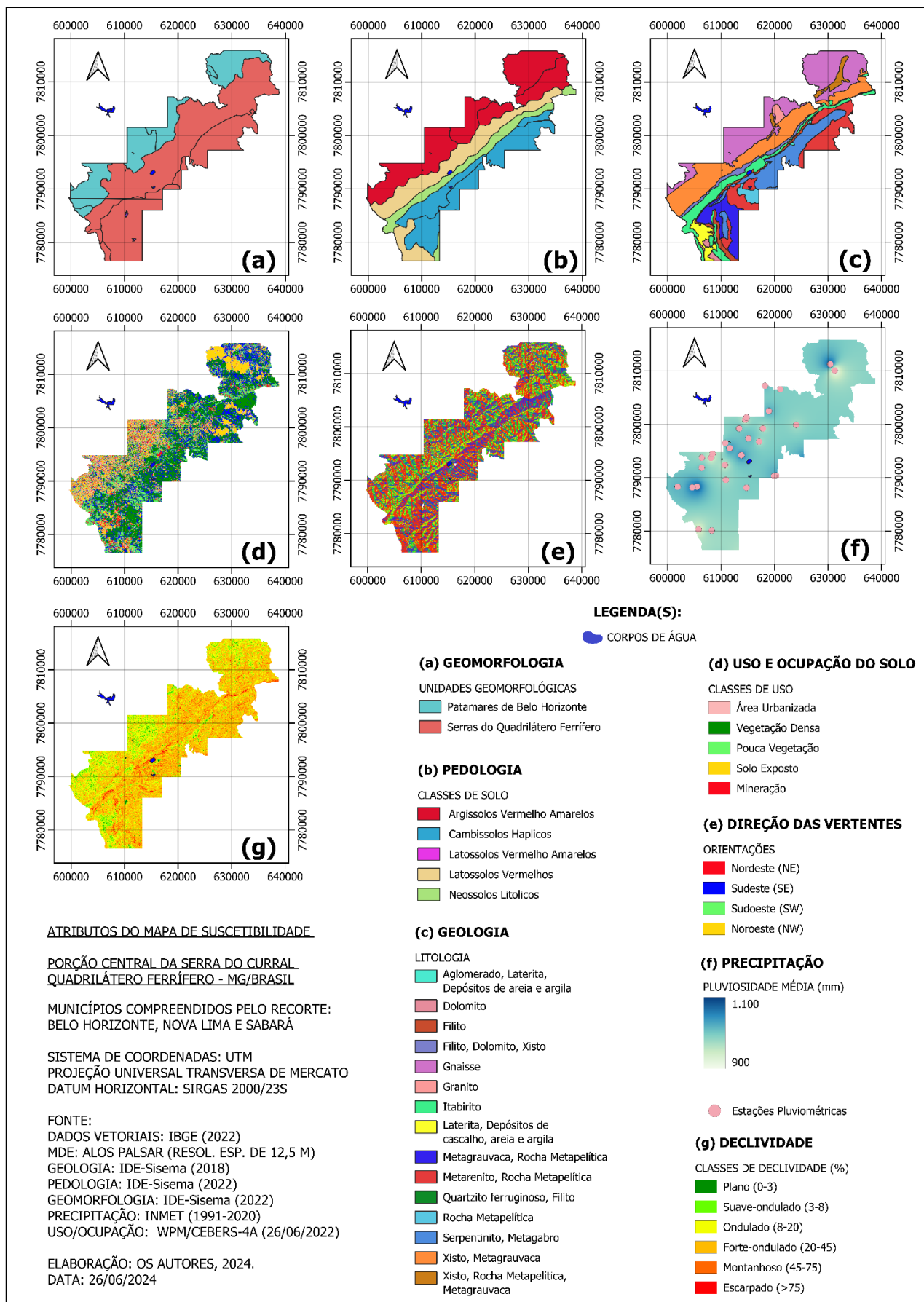


Figura 13 - Porção central da Serra do Curral: Atributos utilizados na álgebra de mapas: (a) Geomorfologia; (b) Pedologia; (c) Geologia (d) Uso e Ocupação do solo; (e) Direção das Vertentes; (f) Precipitação; (g) Declividade. **Fonte:** Autores, 2024.

Ante o exposto, historicamente, o referido território, em particular o bairro Taquaril e seu entorno é cenário de constantes conflitos urbanos e socioambientais, principalmente função do aumento da mineração na região e expansão urbana não planejada, Figura 15. Por um lado (Belo Horizonte), percebe-se uma contínua ocupação urbana não planejada e por outro (Sabará e Nova Lima) acontece um aumento das cavas de mineração de ferro nas adjacências da Serra do Curral, sendo o conflito, infelizmente, inevitável.

A análise destes dados, juntamente com dados de ocorrências de movimentos gravitacionais de massa disponibilizados pela Defesa Civil de Belo Horizonte e pela Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte (Urbel) mostraram um contexto de mudanças do uso e cobertura do solo, com um crescimento dos deslizamentos de terra na região. A urbanização não planejada com consequente déficit no fornecimento de uma infraestrutura adequada de abastecimento de água, rede de esgotos e drenagem superficial, são fatores que podem explicar o aumento de ocorrências de deslizamento de taludes na região, permitindo desta forma, identificar zonas de maior risco à desastres desta natureza, como se verifica ao longo deste trabalho.

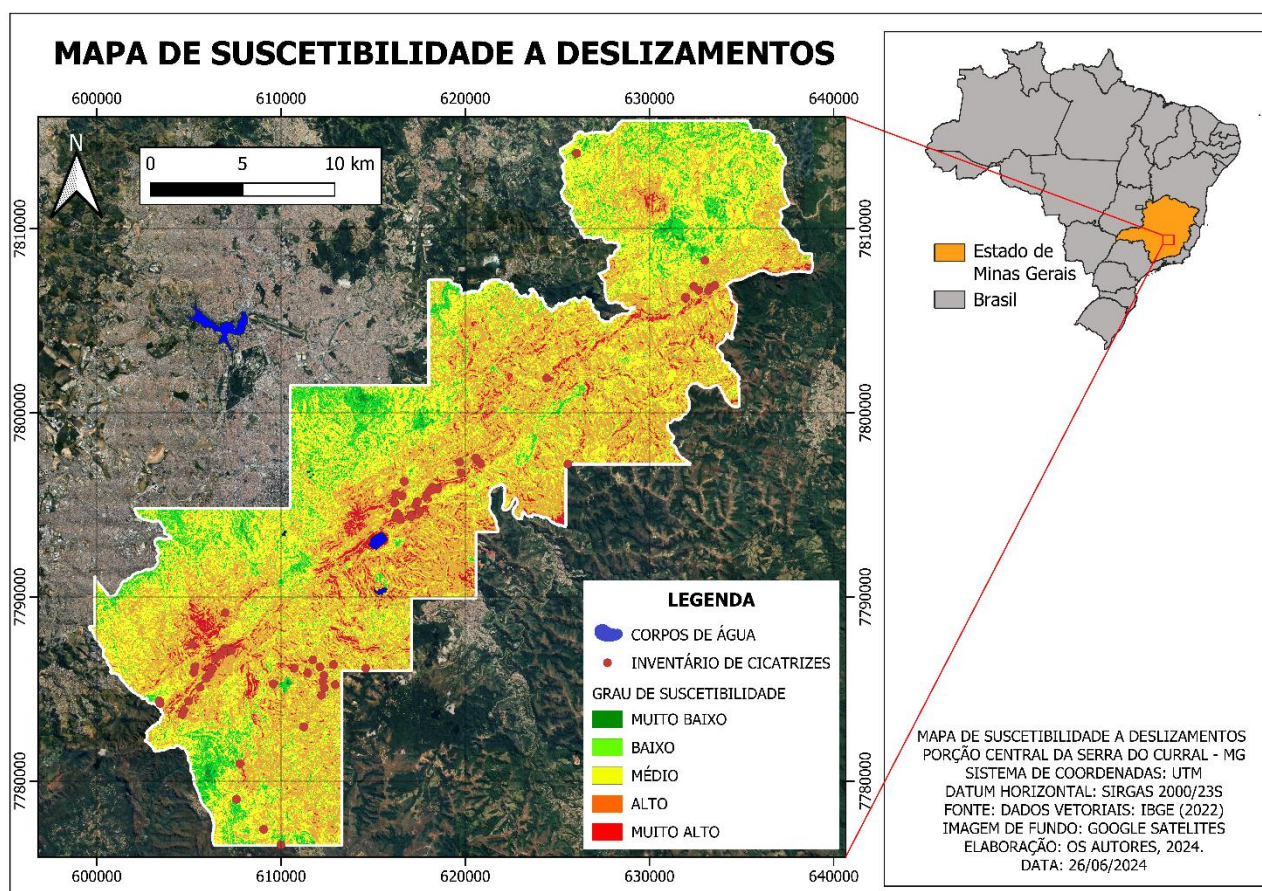


Figura 14 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos da área de estudo.

Fonte: Autores, 2024.

A Figura 16 mostra a expansão da mineração nas adjacências desta localidade com destaque aos anos 2013 e 2024. Apresenta-se na Figura 17 a dinâmica espacial e multitemporal da expansão urbana não planejada e sua posterior desmobilização (função de riscos geológicos-geotécnicos associados diagnosticados pela Urbel-PBH) no entorno da Regional Leste de Belo Horizonte com Sabará e Nova Lima de 2013 a 2023. O levantamento realizado das mudanças ocorridas na evolução da cobertura do solo na Regional Leste de Belo Horizonte, no período de 2013 a 2023 mostra a importância da atuação dos agentes públicos no sentido de diminuir o risco à movimentos gravitacionais de massa na região. Ações pontuais da prefeitura e defesa civil contribuem determinantemente na preservação de vidas humanas e bens materiais.



Figura 15 - Vista panorâmica da fronteira geográfica da Regional Leste com Sabará e Nova Lima. Exposição do conflito associado a expansão urbana não planejada e da mineração na região. **Fonte:** Flávio Tavares, 2024.



2013



2024

Figura 16 - Dinâmica Espacial e Temporal das áreas degradadas pela expansão urbana não planejada. **Fonte:** Adaptado do Google Earth Pro., 2024.

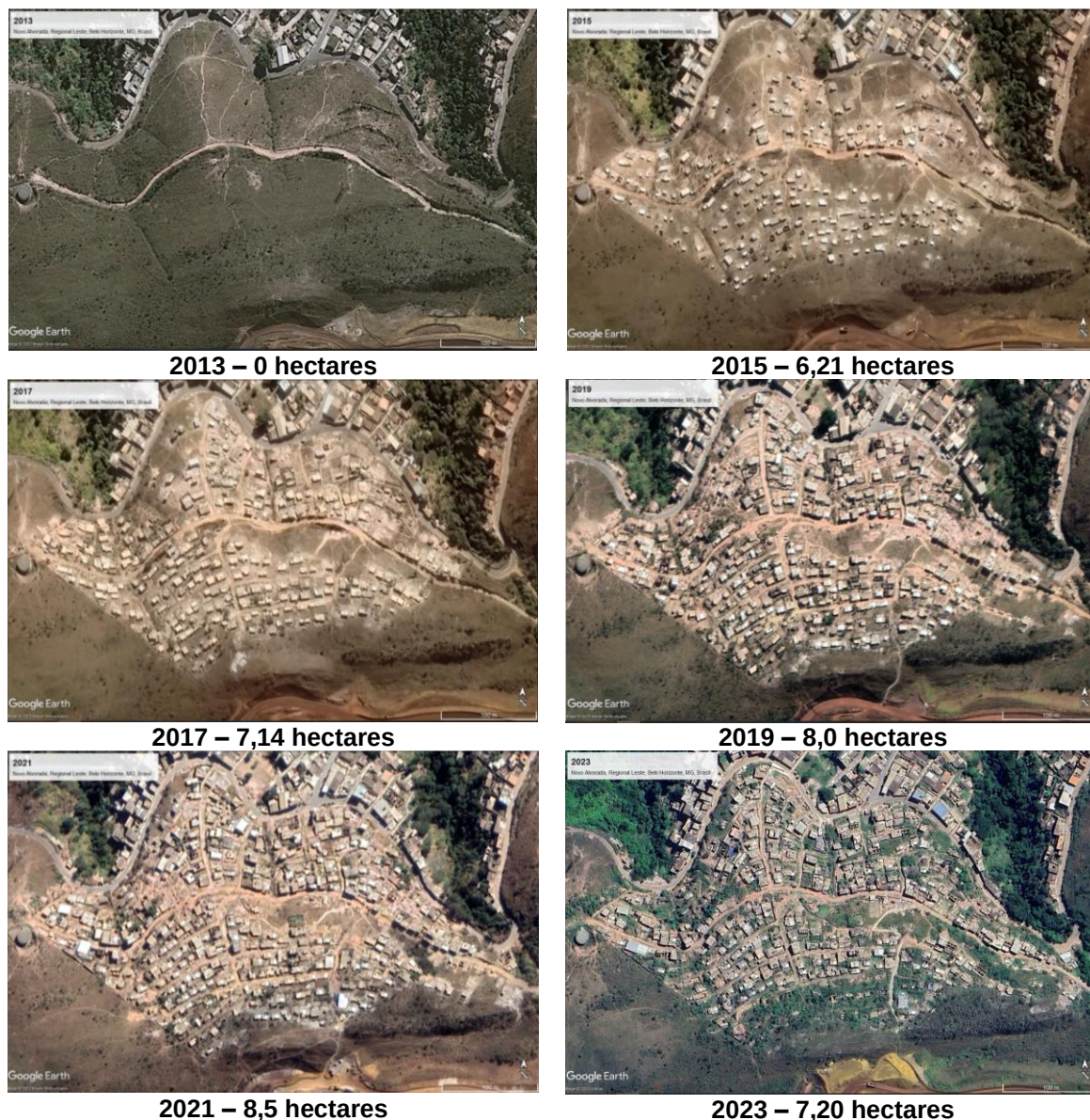


Figura 17 - Vista aérea superior da fronteira geográfica da Regional Leste de BH com Sabará e Nova Lima.
Fonte: Adaptado do Google Earth Pro., 2024.

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se os dados de 69 ocorrências. Analisando-se a Tabela 1, percebe-se que taxa (índice) de ocorrências/área (km²) aumenta na medida em que o grau de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa se aproxima do “muito alto”. Exceção a evidência quantitativa observada na Tabela 1 é o grau de suscetibilidade a deslizamento “baixo”. Presume-se, portanto, que a ocorrência/cicatriz inventariada pelo SGB-CPRM observada na classe “baixa” é um outlier, valor atípico ou resultado que foge da expectativa, pois, não se espera ter um deslizamento em uma área com declividade baixa, inferior a 8%. A existência de outliers implica, necessariamente, em

equívocos ou falta de informação na interpretação dos resultados dos testes estatísticos aplicados às amostras, sendo necessário, portanto, excluí-los da análise.

Tabela 1 - Resumo quantitativo da validação do zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos na Serra do Curral desta pesquisa com os dados de ocorrências do SGB-CPRM.

Graus de Suscetibilidade	Área (km ²)	(%)	Nº de ocorrências observadas	Frequência das ocorrências (%)	Ocorrências/Área (km ²)*
Muito Baixo	6,01	1,09%	0	0%	-
Baixo	66,24	12,05%	5	7,25%	1/13
Médio	225,21	40,97%	12	17,39%	1/19
Alto	221,84	40,35%	36	52,17%	1/6
Muito Alto	30,45	5,54%	16	23,19%	1/2

Fonte: Autores, 2024.

Na Figura 18, tem-se a distribuição percentual de deslizamentos na porção central da Serra do Curral. Para o mapeamento realizado nesta pesquisa, cerca de 75% das cicatrizes (52 ocorrências de movimentos gravitacionais de massa de um total de 69) estão compreendidas nas classes de suscetibilidade alta a muito alta, mostrando que o mapeamento realizado é aderente ao peso das evidências de maneira satisfatória.

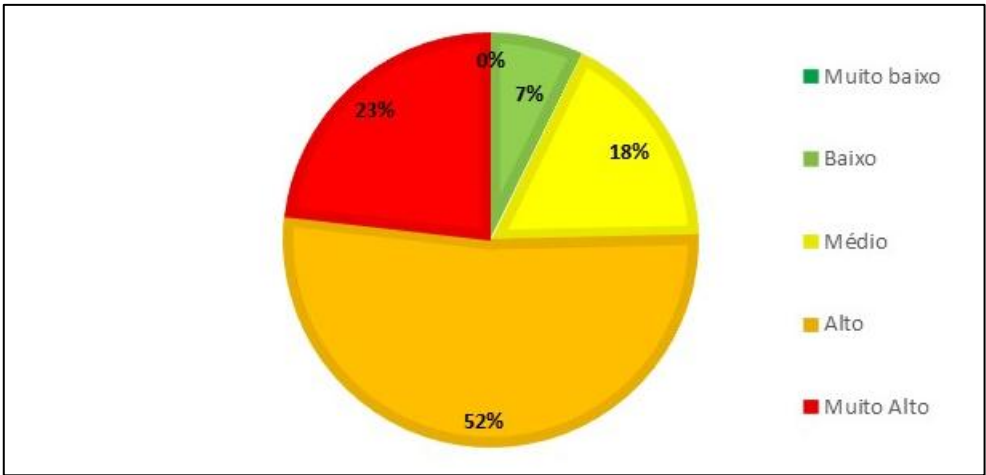


Figura 18 - Distribuição percentual (arredondada) de deslizamentos na Porção central da Serra do Curral. Fonte: Autores 2024.

Para avaliar a qualidade do mapeamento desenvolvido nesta pesquisa, bem como a dinâmica espacial e temporal do uso e ocupação do solo, um comparativo do grau de suscetibilidade a deslizamentos na porção central da Serra do Curral com os trabalhos realizados pelo SGB-CPRM (2014) e IBGE (2019) foi realizado. Um resumo quantitativo da acurácia do zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos na Porção Central da Serra do Curral modelado pelo SGB-CPRM (2014) e IBGE (2019) pode ser encontrado nas Tabelas

2 e 3, respectivamente. Embora uma comparação dos três mapas desenvolvidos seja importante, as conclusões das análises devem ser feitas com atenção pois cada zoneamento realizado foi desenvolvido por metodologia específica.

Tabela 2 - Resumo quantitativo da acurácia do zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos na Porção Central da Serra do Curral modelado pelo SGB-CPRM.

Graus de Suscetibilidade	Área (km²) (%)		Nº de ocorrências observadas	Frequência das ocorrências (%)	Ocorrências/Área (km²)*
Muito Baixo	-	-	-	-	-
Baixo	349,46	63,84%	13	18,84%	1/27
Médio	94,41	17,25%	10	14,49%	1/9
Alto	103,53	18,91%	46	66,67%	1/2
Muito Alto	-	-	-	-	-

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 3 - Resumo quantitativo da acurácia do zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos na Porção Central da Serra do Curral modelado pelo IBGE (2019).

Graus de Suscetibilidade	Área (km²) (%)		Nº de ocorrências observadas	Frequência das ocorrências (%)	Ocorrências/Área (km²)*
Muito Baixo	0	0,00%	0	0,00%	-
Baixo	1,10	0,20%	0	0,00%	-
Médio	47,17	8,57%	1	1,45%	1/47
Alto	153,16	27,84%	14	20,29%	1/11
Muito Alto	348,74	63,39%	54	78,26%	1/6

Fonte: Autores, 2024.

Apresenta-se na Figura 19 os mapas de suscetibilidade à movimentos gravitacionais de massa avaliados neste estudo: (a) Pesquisa (2024). (b) IBGE (2019) e (c) CPRM (2014). Cada mapeamento foi desenvolvido com metodologia singular e com propósitos distintos. Além disso, a escala de trabalho para os três mapeamentos é diferente, inclusive, tamanho dos pixels. Esses fatos, individualmente e em conjunto, dificultam uma análise comparativa objetiva, racional e certa.

Analisando-se a Tabela 4, percebe-se que o mapeamento do SGB-CPRM (2014) considerou 3 (três) classes de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa: alta (18,91% da área do estudo de caso), média (17,25% da área do estudo de caso) e baixa (36,24% da área do estudo de caso). Observando-se a Tabela 4 verifica-se que o zoneamento do IBGE (2019) definiu 5 (cinco) classes de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa: muito alta (63,39% da área do estudo de caso), alta (27,84% da área do estudo de caso), média (8,57% da área do estudo de caso), baixa (0,20% da área do estudo de caso) e muito baixa (0,00% da área do estudo de caso).

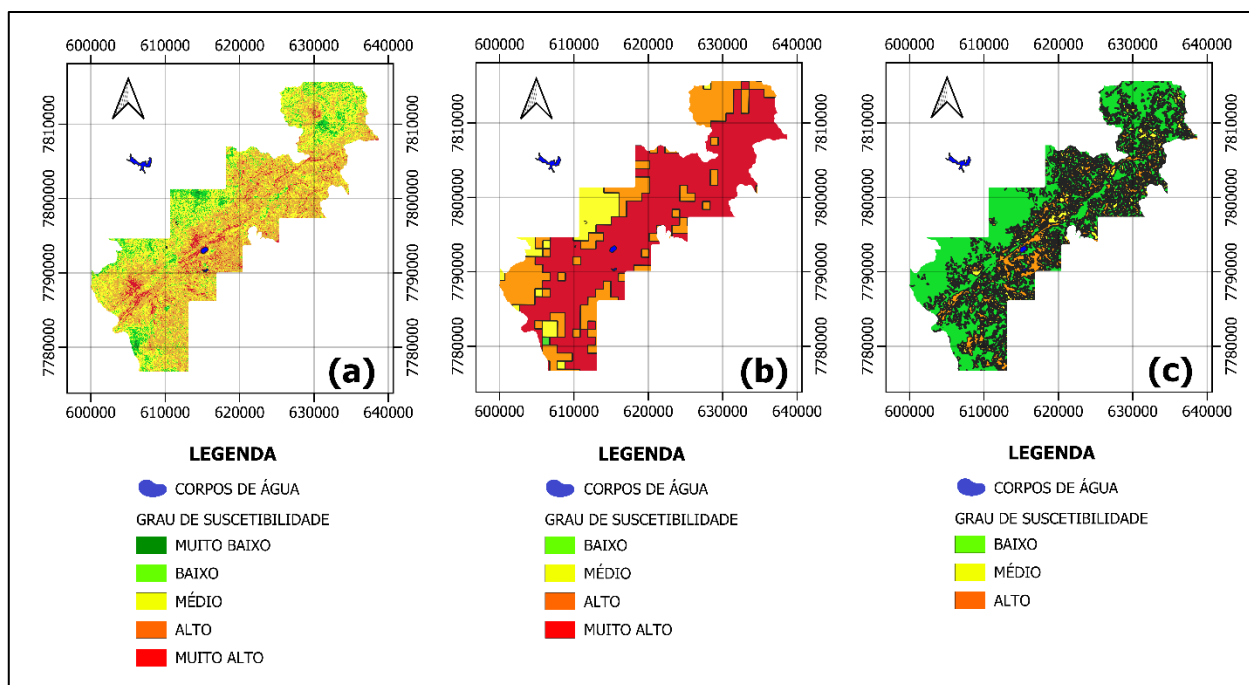


Figura 19 - Mapas de suscetibilidade: (a) Pesquisa (2024), (b) IBGE (2019), (c) CPRM (2014).

Fonte: Autores 2024.

O mapeamento do SGB-CPRM (2014) é compatível com a escala 1:25.000. Os atributos utilizados pelo SGB-CPRM para criação do mapa de suscetibilidade foram as precipitações médias anuais, hipsometria, relevo, declividade e geologia, totalizando-se cinco fatores condicionantes. A nota técnica explicativa do documento cartográfico do SGB-CPRM (2014) afirma que o zoneamento não pode ser utilizado para avaliar a estabilidade dos terrenos, sendo um documento de caráter informativo qualitativo com foco na gestão e planejamento territorial.

Embora a metodologia adotada no trabalho do IBGE (2019) seja consistente, a escala do mapeamento, compatível com 1:1.000.000 comprometeu a aplicabilidade do zoneamento no âmbito local. Os atributos utilizados pelo IBGE foram: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso/cobertura da terra e Precipitação, totalizando seis fatores condicionantes. As informações espaciais estão representadas em imagens com pixels de 1 km x 1 km, ao passo que essa pesquisa trabalhou com uma resolução de 12,5 m x 12,5 m.

Para assegurar uma análise comparativa coerente dos 3 (três) estudos organizados e apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, optou-se por unir (somar) as classes “alta” com “muito alta” e “baixa” com “muito baixa” do mapeamento desta pesquisa e do IBGE (2019). Na Tabela 4, apresenta-se a distribuição percentual de deslizamentos na Porção Central da Serra do Curral para esta pesquisa (2024), IBGE (2019) e SGB-CPRM (2014). Mesmo

juntando-se as classes de suscetibilidade para auxiliar na análise comparativa percebe-se que os resultados encontrados possuem diferença relativa significativa. Chamou-se de variação do modelo cujo resultado é expresso em percentagem (com os valores absolutos, falar-se-ia apenas de uma diferença) e designado por taxa de variação ou, ainda, variação em percentagem. Trata-se do resultado do IBGE (2019) ou SGB-CPRM (2014) dividido pelo resultado da presente pesquisa (referência) subtraído da unidade e multiplicado por 100 (cem).

Tabela 4 - Análise comparativa entre os mapeamentos realizados na Serra do Curral.

Graus de Suscetibilidade	Pesquisa (2024)		IBGE (2019)		SGB-CPRM (2014)		Variação Pesquisa /IBGE (2019)	Variação Pesquisa /SGB-CPRM (2014)
	Área		Área		Área			
	(km²)	(%)	(km²)	(%)	(km²)	(%)		
Muito Baixo	-	-	-	-	-	-	-	-
Baixo	72,25	13,14	1,10	0,20	349,46	63,84	383,68	-98,48
Médio	225,21	40,97	47,17	8,57	94,41	17,25	-58,08	-79,06
Alto	252,29	45,89	501,90	91,23	103,53	18,91	-58,96	98,94
Muito Alto	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autores, 2024.

Em função da escala do zoneamento do IBGE (2019) não é admissível realizar uma análise comparativa satisfatória com esta pesquisa (2024). Analisando-se a Tabela 4, percebe-se uma concordância espacial-temporal entre o mapeamento deste trabalho (2024) com o do SGB-CPRM (2014). As mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo, particularmente a expansão urbana não planejada é uma provável causa para o aumento da suscetibilidade à deslizamentos de cerca de 100% de 2014 a 2024, portanto, 10 anos de observação associada. Já a classe de suscetibilidade “baixa” ocorreu o inverso, com uma diminuição do grau “baixo” de suscetibilidade à deslizamentos no mesmo período.

As situações observadas anteriormente podem ser explicadas pelo lapso temporal entre os dois mapeamentos que está na ordem uma década, além de outros motivos, como por exemplo, o uso de fatores condicionantes e resoluções diferentes no zoneamento de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa ou mesmo metodologias diferentes. No período de 10 anos (2014 a 2024) uma significativa mudança do espaço urbano local ocorreu, bem como mudança relativa nas condições climáticas. Portanto, a evolução da paisagem da Serra do Curral pode ser uma justificativa plausível para a mudança de cerca de 150km² (inferidas pela Tabela 4) na classe de suscetibilidade “alta” do espaço geográfico em uma década. Importante mencionar também que a expansão da mineração na região influenciou indiretamente parte do território da Serra do Curral.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Consoante à legislação atual (Brasil, 2023), os Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR) devem ser atualizados e revisados a cada 2 (dois) anos. Assim, no tocante a este aspecto, essa pesquisa fez uma importante contribuição aos municípios compreendidos pela área de estudo mapeada, mesmo que parcialmente, a saber: Belo Horizonte, Nova Lima e Sabará. Realizou-se o mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos de massa utilizando-se MCDA-AHP na porção central da Serra do Curral – Minas Gerais - Brasil, afim de apoiar o planejamento urbano naquela região. Sabe-se que a Serra do Curral é pauta frequente em discussões acerca do planejamento ambiental e urbano, tanto do poder público, comunidade e de empresas do setor da mineração.

Uma outra importante contribuição deste trabalho, foi o desenvolvimento/proposta de uma formulação matemática com atribuição de pesos para sete fatores condicionantes para geração de um mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, cujo resumo foi: Geomorfologia (3,6%); Pedologia (3%); Geologia (5,7%); Uso e ocupação do solo (9%); Direção das vertentes (7,7%); Pluviosidade (33,2%); Declividade (37,8%).

O mapa desenvolvido pode ser utilizado também como uma ferramenta complementar de apoio ao sistema de alerta a deslizamentos por parte da Defesa Civil dos Municípios de Belo Horizonte, Nova Lima e Sabará, que ficam no entorno da Serra do Curral. Além disso, o estudo realizado possui grande relevância para auxiliar o poder público nas áreas que terão priorização de medidas estruturais e não estruturais para mitigar o risco geológico. Para tanto, é importante, a inclusão da comunidade nas ações propostas. Historicamente, as regiões classificadas como áreas de alto risco geológico-geotécnico compreendem vilas e favelas, locais estes onde, usualmente, não dispõe de infraestrutura adequada para a urbanização.

Assim, o mapeamento do potencial de instabilização de taludes urbanos usando SIG e visitas de campo constituem elementos técnicos importantes para o poder público propor ações de melhoria à comunidade, como obras de estabilização, drenagem e urbanização.

Muitos municípios brasileiros avaliam o risco à deslizamento de encostas de maneira empírica-qualitativa. Para esta pesquisa, o método multicritério de apoio à decisão (MCDA) selecionado foi o AHP, devido a: possibilidade de manuseio de dados quantitativos e qualitativos e de julgamentos que abordem muitos critérios e alternativas; transparência no desenvolvimento das análises e dos resultados; grande aplicabilidade; possibilidade de análise da consistência dos julgamentos; simples estruturação do problema; sistematização

matemática, por meio de uma matriz de comparação pareada, dos aspectos subjetivos acerca do estudo do risco aos deslizamentos, reduzindo imprecisões e incertezas; funciona muito bem em ambiente SIG.

As perdas humanas e econômicas causadas por deslizamentos de terra têm despertado o interesse da comunidade científica para a identificação das áreas ameaçadas e prevenção de suas consequências. O objetivo da análise de suscetibilidade a deslizamentos é a identificação de zonas propensas a produzir falhas de taludes, seu tamanho e alcance, que é o primeiro passo do gerenciamento de risco de deslizamentos. Durante os últimos anos, novos métodos foram desenvolvidos para avaliação e zoneamento da suscetibilidade a escorregamentos. Este artigo pretendeu mostrar os conhecimentos clássicos e consolidados acerca do tema suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e aplica-lo(s) em um importante símbolo do Estado de Minas Gerais, que é a Serra do Curral.

É importante destacar que as instruções aqui apresentadas estão em contínua revisão e atualização, para adaptação às constantes inovações e melhorias oriundas de avanços tecnológicos ou do conhecimento técnico, assim como é prevista a incorporação de novas instruções em futuros trabalhos.

Por fim, a cartografia geotécnica automatizada aplicada ao estudo de áreas suscetíveis a escorregamentos de solos e rochas na região da Serra do Curral mostrou-se uma importante ferramenta preliminar de auxílio no planejamento urbano. As cartas geotécnicas expõem as capacidades, restrições e orientações para o uso e ocupação do terreno, com o objetivo de guiar o desenvolvimento urbano e reduzir eventuais impactos adversos que possam ser causados ao meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais pela disponibilização da infraestrutura física, tecnológica e de materiais para realização desta pesquisa. O primeiro autor agradece ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais pelo apoio direto e indireto para a viabilização deste artigo. Os autores agradecem também à Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte (Urbel) pela disponibilização das informações sobre deslizamentos de encostas em Belo Horizonte.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. A.; DRUMMOND, G. M.; DOMINGUES, S. A.; MARTINS, C. S.; FRANCO, A. R. **Reserva da biosfera da serra do espinhaço fase 2. Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, MaB-UNESCO**. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 2018. Disponível em: [https://reservasdabiosfera.org.br/wp-content/uploads/2021/11/Relatorio-2018-RBSE - PROPOSAL-PHASE-2_portugues.pdf](https://reservasdabiosfera.org.br/wp-content/uploads/2021/11/Relatorio-2018-RBSE_-_PROPOSAL-PHASE-2_portugues.pdf). Acesso em: 18 mar. 2025.
- ANDRADE, M. A.; MARTINS, C. S.; DOMINGUES, S. A. **Primeira Revisão Periódica da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, MaB-UNESCO**. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 2015.
- ARANHA, P. R. A.; PARIZZI, M. G.; SOBREIRA, F. G.; GALVÃO, T. C. B.; BEIRIGO, E. A. Aplicação do GPR na análise da estabilidade de taludes na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 18, n. 2, p. 203-214, 2005.
- ASSIS, W.; PARIZZI, M. G.; RIBEIRO, S. M. Identificação dos sistemas atmosféricos responsáveis por inundações e deslizamentos no município de Belo Horizonte. **Revista GEOGRAFIAS**, v. 9, p. 38-55, 2013.
- BARBOSA, V. S. B. **Fechamento de mina para as minas setecentistas: inventário dos vestígios e avaliação dos ativos e passivos socioambientais resultantes em Ouro Preto, Minas Gerais**. 2021. 267 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas). Departamento de Engenharia de Minas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2021.
- BELO HORIZONTE. **Institui o Corredor Ecológico Espinhaço-Serra do Curral, no Município, e dá outras providências**. Decreto Nº 17.986, de 6 de junho de 2022. DOM - Diário Oficial do Município. Disponível em: <https://dom-web.pbh.gov.br/visualizacao/ato/16542>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- BUI, D. T.; HO, T. C.; PRADHAN, B.; PHAM, B. T.; NHU, V. H.; REVHAUG, I. GIS-based modeling of rainfall-induced landslides using data mining-based functional trees classifier with AdaBoost, Bagging, and MultiBoost ensemble frameworks. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 1101, p. 3-22, 2016a.
- BUI, D. T.; TUAN, T. A.; KLEMPE, H.; PRADHAN, B.; REVHAUG, I. Spatial prediction models for shallow landslide hazards: a comparative assessment of the efficacy of support vector machines, artificial neural networks, kernel logistic regression, and logistic model tree. **Landslides**, v. 13, n. 1, p. 361-378, 2016b.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345p. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acessado em: 18 mar. 2025.
- CAMPOS, L. C. **Proposta de reanálise do risco geológico-geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte - Minas Gerais**. 2011. 139p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CÁRDENAS, N. Y.; MERA, E. E. Landslide susceptibility analysis using remote sensing and GIS in the western Ecuadorian Andes. **Natural Hazards**, v. 81, n. 1, p. 1829-1859, 2016.

CARVALHO, E. T. **Geologia Urbana para Todos: uma visão de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 1999.

CASAGRANDE, P. B.; PARISI, M. G.; MOURÃO, A. C. M.; SENA, I. S.; GARCIA, P. B. Índice de Risco Geológico utilizado como apoio ao planejamento urbano e territorial: estudo de caso no município de Nova Lima, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, p. 3-16, 2020.

CAVALCANTI, J. A. D. **Serra do Curral**. GEOSIT - Cadastro de Sítios Geológicos. Serviço Geológico do Brasil - SGB-CPRM. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/geosit/geossitios/ver/2350>. Acesso em: 18 mar. 2025.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. Niterói. 104p. 2002.

CPRM. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações**: Belo Horizonte, Nova Lima e Sabará. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil, 2014.

DORR II, J. V. N. **Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Washington, United States Geological Survey (USGS), 110 p., 1969.

ELKHRACHY, I.; YADAV, R. R.; MABDEH, A. N.; THANH, P. N.; SPALEVIC, V.; DUDIC, B. Landslide susceptibility mapping and management in Western Serbia: an analysis of ANFIS- and SVM-based hybrid models. **Frontiers in Environmental Science**. v. 11, p. 1-15. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10.** reunião técnica de levantamento de solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979. 83 p. (SNLCS. Micelânea, 1).

FARIA, D. G. M. **Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)**. 2011. 194f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 2011.

FITZ, P. R.; SOUZA, F. C. B. Geração de critérios para o processo decisório na aplicação das técnicas de geoprocessamento. **Geosul**. v. 22 n. 44, p. 95-116. 2007.

FITZ, P.R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008b.

FITZ, P.R. Classificação de imagens de satélite e índices espectrais de vegetação: uma análise comparativa. **Geosul**, v. 35, n. 76, p. 171-188, 2020.

FITZ, P.R. Considerações sobre o uso de polígonos de amostragem em classificações supervisionadas de imagens de satélite. Belo Horizonte. **Caderno de Geografia**, v.29, n.59, p. 1124-1138, 2019.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008a.

FITZ, P.R. **Geração de múltiplos critérios para apoio à decisão em dados geoprocessados. Um estudo de caso: a microbacia hidrográfica de Inhandava, em Maximiliano de Almeida, RS**. 2005. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 2005.

FRANEK, J.; KRESTA, A. Judgment Scales and Consistency Measure in AHP. **Procedia Economics and Finance**, v. 12, p.164-173. Elsevier BV, 2014.

Fuzzy Sets and Systems, v. 1, n. 1, p. 57-68, 1978a.

GALVÃO, T. C. B.; PEREIRA, A. R.; PARIZZI, M. G.; SILVA, H. A. Bioengineering Techniques Associated with Soil Nailing Applied to Slope Stabilization and Erosion Control. **Natural Hazards Review**, v. 11, p. 43-48, ASCE, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia**/ IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências, n. 5).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Suscetibilidade a Deslizamentos do Brasil: primeira aproximação. Nota Metodológica N.1 - Complemento às variáveis do tema Pedologia**. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Suscetibilidade a Deslizamentos do Brasil: primeira aproximação**. 2019.

LUCAS, T. P. B.; AUGUSTO, P.; REIS, S.; ROCHA, S. C. Impactos hidrometeorológicos em Belo Horizonte - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 7-28, 2015.

LUCAS, T. P. B.; PARIZZI, M. G.; ABREU, M. L. Impactos hidrometeorológicos ocorridos nas estações chuvosas de 2010/11 e 2011/12 em Belo Horizonte (MG). **Revista Brasileira de Climatologia**. v.14, p. 230-251, 2018.

LUCAS, T. P. B.; PLEC, D.; ABREU, M. L.; PARIZZI, M. G. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 7-21, 2014.

MCHARG, I. L. **Design with nature**. American Museum of Natural History. 197 f. 1969.

Menezes, L. O. **Metodologia para gestão de riscos geológico-geotécnicos em áreas urbanas: os casos do concelho do Porto e Contagem, MG**. 2021. 540p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

Menezes, L. O. **Previsão de alcances de rupturas de taludes de Belo Horizonte por meio de retroanálises: uma contribuição para a gestão do risco**. 2012. 102p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MENEZES, L. o.; PARISI, M. G.; AZEVEDO, U. R.; HAMDAN, A. Comunicação em Geociências na Gestão de Riscos e Desastres Ambientais. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 44, p. 01-12, 2021.

MOURA, A. C. M. (2007) **Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise de multicritérios**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2906.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 3. ed. Belo Horizonte: Interciência, 2014.

NWAZELIBE, V. E.; UNIGWE, C. O.; EGBUERI, J. C. Testing the performances of different fuzzy overlay methods in GIS-based landslide susceptibility mapping of Udi Province, SE Nigeria, **CATENA**, v. 20 n. A, 2023.

OLIVEIRA, M. T. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG**. 2009. 279 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

PARIZZI, M. G. **Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da região metropolitana de Belo Horizonte, MG**. 2004. 211p. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

PARIZZI, M. G. Desastres Naturais e Induzidos e o Risco Urbano. **GEONOMOS**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2014.

PARIZZI, M. G. Panorama dos desastres climatológicos, hidrológicos, meteorológicos e geológicos durante o período de 2010 - 2019. **Derbyana**, v. 43, p. 01-18, 2022.

PARIZZI, M. G. Riscos Geológicos e Hidrológicos no Município de Belo Horizonte, MG. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**. p. 145-170, 2021.

PARIZZI, M. G.; ARANHA, P. R. A.; SOBREIRA, F. G.; GALVÃO, T. C. B. A aplicação do GPR na análise de estabilidade de taludes. **GEOTECNIA (LISBOA)**, Portugal, v. 106, p. 23-56, 2006.

PARIZZI, M. G.; MOURA, A. C. M.; MEMÓRIA, E.; MAGALHÃES, D. M. **Mapa de unidade geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. RMBH**. 21p. In Programa Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH: Relatório de Geoprocessamento. 2010a.

PARIZZI, M. G.; SEBASTIÃO, C. S.; VIANA, C. S.; PFLUEGER, M.C.; CAMPOS, L. C.; CAJAZEIRO, J. M. D.; TOMICH, R.S.; GUIMARÃES, R.N.; ABREU, M. L.; SOBREIRA, F. G.; REIS, R. Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG. **Geografias (UFMG)**, v. 06, n.2, p. 49-68, 2010b.

PARIZZI, M. G.; SOBREIRA, F. G.; GALVÃO, T. C. B.; ARANHA, P. R. A.; ELMIRO, M.A. T.; BEIRIGO, E. A. Processos de movimentos de massa em Belo Horizonte, MG. **GEOGRAFIAS (UFMG)**, v. 7, n.1, p. 58-87, 2011.

PARIZZI, M. G.; SOBREIRA, F. G.; GALVÃO, T. C. B.; ELMIRO, M. A. T.; BEIRIGO, E. A. Retroanálise de escorregamento de talude na área de risco do Taquaril, Belo Horizonte, MG. **GEONOMOS**, p. 2-39, 2013.

PORTO, D. S. G. F., AZEVEDO, R. C. DE, VILLAR, L. F. DE S., SANTOS, H. DE A. E.; PORTO, T. B. Metodologias para mapeamento do deslizamento de taludes: uma revisão bibliográfica. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, n. 3, p. 1-23, 2024f.

PORTO, D. S. G. F.; AZEVEDO, R. C. DE; VILLAR, L. F. DE S.; SANTOS, H. DE A. E.; PORTO, T. B. Zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamentos no município de ouro preto - minas gerais - brasil. **Revista Caminhos de Geografia**. v. 25, n. 102, p. 328-348, 2024a.

PORTO, D. S. G. F.; AZEVEDO, R. C. DE; VILLAR, L. F. DE S.; SANTOS, H. DE A. E.; PORTO, T. B. **Estudo paramétrico da influência da declividade de taludes na avaliação geotécnica de movimentos gravitacionais de massa em ouro preto**. In: COBRAMSEG 2024e, Balneário Camboriú. Anais... Balneário Camboriú: XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2024e. p. 1-8.

PORTO, S. G. F. **Metodologia para mapeamento da suscetibilidade aos deslizamentos de taludes utilizando-se dados de acesso livre**. 2024. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.

PORTO, T. B.; BRITO, E. S.; SOUZA, I. V.; Lucas, T. P. B.; PARIZZI, M. G. **Correlação entre Pluviosidade e Movimentos Gravitacionais de Massa para o Município de Contagem - MG**. In: COBRAMSEG 2024d, Balneário Camboriú. Anais... Balneário Camboriú: XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2024d. p. 1-8.

PORTO, T. B.; FARIA, S. D.; PARIZZI, M. G. **Retroanálise Geotécnica de Estrutura de Contenção em Concreto Armado na Região Centro-Sul de Belo Horizonte - MG**. In: COBRAMSEG, 2024b, Balneário Camboriú. Anais... Balneário Camboriú: XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2024b. p. 1-8.

PORTO, T. B.; SAMPAIO, J. L. D.; PARIZZI, M. G. **Cartografia Geotécnica Aplicada ao Estudo de Áreas Suscetíveis a Escorregamentos de Solos e Rochas em Belo Horizonte - MG**. In: COBRAMSEG 2024c, Balneário Camboriú. Anais... Balneário Camboriú: XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2024c. p. 1-8.

POURGHASEMI, H. R.; YANSARI, Z. T.; PANAGOS, P.; PRADHAN, B. Analysis and evaluation of landslide susceptibility: a review on articles published during 2005–2016 (periods of 2005–2012 and 2013–2016). **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, n. 193, p. 1-12, 2018.

PRÍSTINO, I. **Início do Projeto: Geotecnologias para Gestão Hídrica do Sinclinal Moeda, MG**. 2018. Disponível em: <https://institutopristico.org.br/inicio-do-projeto-geotecnologias-para-gestao-hidrica-do-sinclinal-moeda-mg-2/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

REIS JUNIOR, W. D. **Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da região metropolitana de Belo Horizonte, MG**. 2016. 163p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

REIS JUNIOR, W.; PARIZZI, M. G. Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da região metropolitana de Belo Horizonte - MG. **GEONOMOS**, p. 23-30, 2019.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R., NARDIN, D.; CRISTO, S. S. V. Método e Técnicas Geográficas Utilizadas na Análise e Zoneamento Ambiental. Belo Horizonte. **Revista Geografias**. v. 05, n. 2, p. 36-49. 2009.

ROCHA, N. A.; CASAGRANDE, P. B.; MOURA, A. C. M. Análise combinatória e pesos de evidência na produção de análise de multicritérios em modelos de avaliação. **Revista GeoSIG**, [s.l.], v. 10, p. 49-74, 2018.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**; Tradução de Wainer da Silveira e Silva. São Paulo-SP: McGraw-Hill, Makron Books, 1991. 367p.

SAATY, T. L. Modeling unstructured decision problems - the theory of analytical hierarchies. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 20, n. 3, p. 147-158, 1978b.

SAATY, T. L. Rank generation, preservation, and reversal in the analytic hierarchy decision process. **Decision Sciences**, v.18, n. 2, p.157-177, 1987.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York, USA: McGraw-Hill, 1980. 287 p.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: Decision Making in Complex Environments. In: AVENHAUS, R.; HUBER, R. K. **Quantitative Assessment in Arms Control: Mathematical Modeling and Simulation in the Analysis of Arms Control Problems**. Springer New York, NY. 1984. Cap. 1, p. 285-308.

SAATY, T. L. **Theory and applications of the Analytic Network Process. Decision making with benefits, opportunities, costs, and risks**. Pittsburgh, USA: RWS, 2005. 352p.

SILVA, D. F. S. **Proposta metodológica para a avaliação de suscetibilidade a escorregamentos: contribuições do aprendizado de máquina no município de Belo Horizonte, MG**. 2024. 405 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.

SILVA, D. F.; PARISI, M. G.; SILVA, E. A. S.; SILVA, G. A. R. Natural Disasters in the Metropolitan Region of Belo Horizonte: A Summary of Events Occurred in the Rainfall Period of 2019/2020. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 46, p. 1-13, 2023.

TAVARES, F. **Estudos geológicos usados pela Tamisa na Serra do Curral foram feitos pela Vale**. 2022. Jornal O Tempo. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/politica/estudos-geologicos-usados-pela-tamisa-na-serra-do-curral-foram-feitos-pela-vale-1.2663766>. Acesso em: 18 mar. 2025.

TEODORICO, R. B. **Modelagem de suscetibilidade a deslizamentos em obras lineares: aplicação de aprendizado de máquina no mineroduto minas-rio**. 2025. 117 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2025.

TORRES, F. S. M. **Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca – PE**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2014.

TRAVASSOS, L. E. P.; JESUS, E. P. E.; RUCHKYS, U. A.; SENA, I. S. Reserva da biosfera da serra do espinhaço (MAB UNESCO) e sua importância na promoção dos sítios da geodiversidade. **Mercator**, Fortaleza, v. 22, n. 22015, p. 1-14, 2023.

VEGA, J.; HIDALGO, C. Comparison study of a landslide-event hazard mapping using a multi-approach of fuzzy logic, TRIGRS model, and support vector machine in a data-scarce Andes Mountain region. **Arabian Journal of Geosciences**. v. 16, n. 527, p. 1-26, 2023.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.192 p.

Recebido: 10/01/2025

Aceito: 25/03/2025