UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia

Walter dos Reis Junior

AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS ASSOCIADOS A MOVIMENTOS DE MASSA E COMPARTIMENTAÇÃO GEOTÉCNICA NA PORÇÃO SUL DO MUNICÍPIO DE DIAMANTINA, MINAS GERAIS

Belo Horizonte
2025

Walter dos Reis Junior

AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS ASSOCIADOS A MOVIMENTOS DE MASSA E COMPARTIMENTAÇÃO GEOTÉCNICA NA PORÇÃO SUL DO MUNICÍPIO DE DIAMANTINA, MINAS GERAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geologia.

Orientação: Prof(a). Dra. Maria Giovana Parisi

Belo Horizonte
2025

R375a
2025

Reis Junior, Walter dos.

Avaliação de riscos geológicos associados a movimentos de massa e compartimentação geotécnica na porção sul do município de Diamantina, Minas Gerais [manuscrito] / Walter dos Reis Junior. – 2025.

320 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientadora: Maria Giovana Parisi.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2025.

Bibliografia: f. 219-231.

Inclui apêndices e anexos.

1. Avaliação de riscos ambientais – Diamantina (MG) – Teses. 2. Geodinâmica – Teses. 3. Mecânica de rochas – Teses. 4. Engenharia geotécnica – Teses. 5. Planejamento urbano – Teses. I. Parisi, Maria Giovana. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551.3:711.4(815.1)

Ficha catalográfica elaborada por Nathalia Machado Laponez Maia – CRB-6/3002
Biblioteca “Vitória Pedersoli”, Instituto de Geociências da UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DO IGC-UFMG

FOLHA DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS ASSOCIADOS A MOVIMENTOS DE MASSA E COMPARTIMENTAÇÃO GEOTÉCNICA NA PORÇÃO SUL DO MUNICÍPIO DE DIAMANTINA, MINAS GERAIS

WALTER DOS REIS JUNIOR

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA (PPGeol), do Instituto de Geociências (IGC), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como **REQUISITO PARCIAL** para obtenção do grau de Doutor(a) em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA, pelo Programa de Pós-graduação em Geologia do IGC/UFMG.

Aprovada em 16 de julho de 2025, pela banca constituída pelos membros:

gov.br Documento assinado digitalmente
MARIA GIOVANA PARISI
Data: 16/07/2025 14:33:05-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof(a). Dr(a). Maria Giovana Parisi – Orientador(a)
PPGeol/UFMG

gov.br Documento assinado digitalmente
TALITA CAROLINE MIRANDA
Data: 23/07/2025 11:07:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof(a). Dr(a). Talita Caroline Miranda
EE/UFMG

gov.br Documento assinado digitalmente
LARISSA REGINA COSTA SILVEIRA
Data: 24/07/2025 18:10:29-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof(a). Dr(a). Larissa Regina Costa Silveira
IGC/UFMG

gov.br Documento assinado digitalmente
ALESSANDRA MENDES CARVALHO VASCONCEL
Data: 11/08/2025 14:44:13-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof(a). Dr(a). Alessandra Mendes Carvalho Vasconcelos
UFVJM

gov.br Documento assinado digitalmente
DENISE DE FATIMA SANTOS DA SILVA
Data: 13/08/2025 17:13:05-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr(a). Denise de Fátima Santos da Silva
CPMTC/UFMG

Belo Horizonte, 16 de julho de 2025.

Aos meus pais...

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha orientadora Maria Giovana Parisi pela disponibilidade de assumir a orientação deste trabalho, pelas discussões, conhecimento, apoio, incentivo e por toda a paciência durante esse processo.

Aos meus pais, Marilsa e Walter, pela dedicação, amor e impagável criação. Sem vocês eu não teria chegado onde estou.

Às mulheres da minha vida, que as vezes mesmo de longe, incentivaram, cuidaram e me aguentaram em diversos momentos. Muito obrigado, Lucília, Mariana, Michele e Nathane, por todo o afeto, carinho e apoio.

Aos meus amigos, também forasteiros, que me receberam com tanto carinho em Diamantina e fizeram os meus dias mais leves durante essa trajetória. Em especial, Ofélia, Antônio e Manu. Também não posso deixar de citar os colegas da UFVJM.

À Secretaria de Turismo de Diamantina e a 6ª Companhia Independente do Corpo de Bombeiros Militar pela parceria que possibilitou a realização de parte deste trabalho.

À Pró-reitora de Pós-graduação da UFMG e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais pelas condições disponibilizadas e todo o apoio institucional.

Meu muito obrigado a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram com a execução desta pesquisa. Seja em momentos de descontração e devaneios filosóficos ou em discussões técnicas que acabaram iluminando meu caminho.

"(...)

Vi, tanta areia andei

Da lua cheia eu sei

Uma saudade imensa

(...)"

Danilo Caymmi, Edmundo Souto e Paulinho Tapajós

"(...)

Aprendi o segredo da vida

Vendo as pedras que choram

Sozinhas no mesmo lugar

(...)"

Raul Seixas

"(...)

Solta a voz nas estradas

Já não quero parar

Meu caminho é de pedra

Como posso sonhar?

(...)"

Fernando Brant

RESUMO

Os processos superficiais são responsáveis por modelar as paisagens. Porém, intervenções antrópicas podem acelerá-los, gerando impactos significativos no meio físico. Assim, o planejamento urbano assume papel essencial ao buscar um crescimento ordenado das cidades, minimizando os impactos e a exposição da população a riscos geológicos. Diamantina carece de cartografia geotécnica que revele as potencialidades de seus terrenos e de estudos sistemáticos sobre riscos geológicos que orientem a gestão pública. Caracterizada por urbanização desorganizada e restrições topográficas que limitam sua expansão, a cidade enfrenta desafios importantes em relação ao uso e ocupação do solo. Esta pesquisa objetivou a produção de um mapa geotécnico para a porção sul do município, além da avaliação de riscos geológicos em áreas urbanas e em balneários naturais. Na região ocorrem, sobretudo, rochas do Complexo Gouveia e dos supergrupos Rio Paraúna, Espinhaço e São Francisco. Descreveu-se 249 pontos. Os maciços rochosos foram descritos para verificação de propriedades mecânicas e geometria de descontinuidades. Observou-se, ainda, características de solos e indícios de instabilidade. Dos pontos analisados, destacam-se 23 balneários que passaram por avaliação de perigo geológico, sendo qualificados em quatro classes: perigo baixo, moderado, alto e muito alto. Modelagens cinemáticas foram realizadas com base na comparação entre características de encostas, como declividade e orientação, e superfícies interpoladas a partir do sentido e ângulo de mergulho de descontinuidades. Os dados estruturais foram analisados conforme sua influência na deflagração dos processos geodinâmicos. A última etapa consistiu na avaliação de riscos geológicos urbanos, com a qualificação das áreas urbanizadas em risco baixo a inexistente, médio, alto e muito alto. A seleção das áreas foi baseada, sobretudo, no histórico de registros da Defesa Civil e Corpo de Bombeiros. Dentre os resultados, destaca-se o mapa geotécnico, no qual se identificam dez unidades geotécnicas, além de mapas de suscetibilidade a deslizamentos planares e a tombamentos. Dos balneários, 15 foram classificados como de perigo baixo, 2 moderado, 4 alto e 2 de perigo muito alto. Da avaliação de riscos urbanos, delimitou-se 34 setores de risco alto e 2 de risco muito alto. Salienta-se o caráter temporal das avaliações, já que o cenário se modifica com o tempo, exigindo monitoramento constante. Os resultados se mostram muito relevantes, oferecendo instrumentos de apoio à gestão territorial e subsídio a ações voltadas à mitigação e ao controle dos riscos geológicos.

Palavras-chave: riscos geológicos urbanos; compartimentação geotécnica; Diamantina; perigo em balneários naturais; processos geodinâmicos.

ABSTRACT

Surface processes are responsible for shaping landscapes. However, anthropogenic interventions can accelerate them, generating significant impacts on the physical environment. Thus, urban planning plays an essential role in promoting the orderly growth of cities, minimizing both the impacts and the population's exposure to geological risks. Diamantina lacks geotechnical mapping that reveals the potentialities of its terrains, as well as systematic studies on geological risks to guide public management. Characterized by disorganized urbanization and topographic constraints that limit its expansion, the city faces major challenges regarding land use and occupation. This research aimed to produce a geotechnical map for the southern portion of the municipality, in addition to assessing geological risks in urban areas and natural bathing sites. The region is mainly composed of rocks from the Gouveia Complex and the Rio Paraúna, Espinhaço, and São Francisco Supergroups. A total of 249 points were described. The rock masses were analyzed to verify their mechanical properties and the geometry of discontinuities. Soil characteristics and signs of instability were also observed. Among the surveyed points, 23 bathing sites were evaluated for geological hazard and classified into four categories: low, moderate, high, and very high hazard. Kinematic modeling was performed by comparing slope characteristics, such as inclination and orientation, with interpolated surfaces derived from the dip direction and dip angle of discontinuities. Structural data were analyzed according to their influence on the triggering of geodynamic processes. The final stage consisted of the assessment of urban geological risks, classifying urbanized areas into low to negligible, medium, high, and very high risk levels. The selection of areas was mainly based on historical records from Civil Defense and the Fire Department. Among the results, the geotechnical map stands out, identifying ten geotechnical units, along with susceptibility maps for planar and toppling landslides. Of the bathing sites analyzed, 15 were classified as low hazard, 2 as moderate, 4 as high, and 2 as very high hazard. From the urban risk assessment, 34 sectors were delineated as high risk and 2 as very high risk. It is important to highlight the temporal nature of these evaluations, as the scenario changes over time, requiring constant monitoring. The results are highly relevant, providing tools to support territorial management and to guide actions aimed at mitigating and controlling geological risks.

Keywords: urban geological hazards; geotechnical mapping; Diamantina; hazard in natural bathing sites; geodynamic processes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização do município de Diamantina, Minas Gerais. 26
Figura 2 – Mapa geológico simplificado da porção sul do município de Diamantina. 29
Figura 3 – Mapa simplificado de estruturas geológicas da porção sul do município de Diamantina. 31
Figura 4 – Mapa de unidades geomorfológicas do município de Diamantina. 33
Figura 5 – Mapa de solos do município de Diamantina. 34
Figura 6 – Rede hidrográfica do município de Diamantina. 36
Figura 7 – Unidades de conservação e principais balneários no munícipio de Diamantina. 38
Figura 8 – Agentes erosivos e processos erosivos correlatos. 39
Figura 9 – Sequência das etapas do processo erosivo a partir do impacto das gotas de chuva no solo. 40
Figura 10 – Tipos de processos erosivos. 42
Figura 11 – Feições erosivas lineares. 43
Figura 12. Exemplos de ravinas. 44
Figura 13 – Exemplos de voçorocas. 45
Figura 14 – Exemplos de piping ou entubamento na cabeceira de voçorocas. 45
Figura 15 – Exemplos de erosão fluvial. 46
Figura 16 - Dolina gerada por colapso de solo. 47
Figura 17 – Tipos de deslizamentos. 49
Figura 18 – Tipos de movimentos de blocos. 50
Figura 19 – Procedimentos para o mapeamento de risco a escorregamentos. 62
Figura 20 – Sequência de procedimentos desenvolvidos durante a setorização de áreas de risco geológico. 62
Figura 21 – Etapas da metodologia de elaboração de cartas de perigo e risco a movimentos de massa. 63
Figura 22 – Etapas da metodologia empregada durante o desenvolvimento desta pesquisa. 64
Figura 23 - Mapa de pontos realizados durante as campanhas de campo. 72
Figura 24 – Sequência metodológica empregada na avaliação de perigos geológicos em balneários. 75
Figura 25 – Sequência de procedimentos executados para avaliação de riscos geológicos associados a movimentos de massa em Diamantina. 80
Figura 26 – Mapa geotécnico preliminar. 85

Figura 27 – Inventário de feições erosivas lineares. 87
Figura 28 – Processos geodinâmicos registrados pela Defesa Civil e Corpo de Bombeiros Militar. 87
Figura 29 – Lineamentos estruturais. 89
Figura 30 – Orientações preferenciais de lineamentos. 90
Figura 31 – Esterograma dos dados de estruturas lineares. 90
Figura 32 – Imagem de satélite da Cachoeira do Sentinela e posicionamento das fotografias. 93
Figura 33 – Poço inferior da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri. 93
Figura 34 – Bloco delimitado (indicado por seta vermelha) na porção superior esquerda com baixo perigo de rolamento na parede do poço inferior da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri. 94
Figura 35 – Lascas de rochas (indicado por seta vermelha) na porção inferior direita com baixo perigo de tombamento na parede do poço inferior da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri. 95
Figura 36 – Vista frontal do poço principal da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri. 95
Figura 37 – Blocos soltos (indicado por seta vermelha) acima do poço principal com perigo de rolamento, vista a partir do poço superior. 96
Figura 38 – Blocos soltos acima do poço principal da Cachoeira do Sentinela. 96
Figura 39 – Vista panorâmica do patamar superior da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri. 97
Figura 40 – Imagem de satélite do balneário Cachoeira dos Cristais e posicionamento das fotografias. 98
Figura 41 – Vista frontal do balneário Cachoeira dos Cristais, no Parque Estadual do Biribiri. 98
Figura 42 – Poço superior do balneário Cachoeira dos Cristais, no Parque Estadual do Biribiri. 99
Figura 43 – Blocos rochosos condicionados por grau de fraturamento elevado. 100
Figura 44 – Área de ocorrência de blocos soltos (indicado por seta vermelha) na porção superior esquerda e bloco rochoso delimitado (indicado com círculo vermelho) na porção inferior esquerda da queda d'água principal do balneário Cachoeira dos Cristais, vista a partir do poço principal. 100

Figura 45 – Placas rochosas (indicado por seta vermelha) com elevado perigo a desplacamento e queda atrás da queda d'água principal do balneário Cachoeira dos Cristais. 101
Figura 46 – Vista dos poços inferiores que bordejam o novo acesso ao balneário Cachoeira dos Cristais, no Parque Estadual do Biribiri. 101
Figura 47 – Imagem de satélite do Complexo da Água Limpa e localização das fotografias. 102
Figura 48 – Estruturas de contenção de sedimentados para retardar processos erosivos lineares na trilha de acesso ao Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri. 103
Figura 49 – Vertente que limita o poço principal do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri. 103
Figura 50 – Erosão fluvial da margem esquerda no patamar intermediário do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri. 104
Figura 51 – Erosão fluvial da margem esquerda no patamar intermediário do Complexo da Água Limpa. 104
Figura 52 – Blocos soltos assentados sobre descontinuidade geomecânica, cujo mergulho é contrário ao relevo das corredeiras do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri. 105
Figura 53 – Blocos soltos assentados sobre descontinuidade geomecânica, cujo mergulho é contrário ao releve das corredeiras do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri. 105
Figura 54 – Porção intermediária do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri. 106
Figura 55 – Afloramento composto por blocos e matacões de quartzito, próximo a trilha de acesso alternativa, com elevada suscetibilidade a tombamentos e quedas de blocos 107
Figura 56 – Vista superior do nível patamar inferior do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri. 107
Figura 57 – Leito rochoso de drenagem que dá acesso à Cachoeira Pai Rocha, no Caminho dos Escravos. 108
Figura 58 – Placas e blocos rochosos condicionados, sobretudo pela foliação/acamamento de quartzito, suscetíveis queda na vertente direita do leito da drenagem. 109
Figura 59 – Placas e blocos rochosos condicionados, sobretudo pela foliação/acamamento de quartzito, suscetíveis a queda na vertente direita do leito da drenagem. 109
Figura 60 – Placas e blocos rochosos condicionados, sobretudo pela foliação/acamamento de quartzito, suscetíveis a queda na vertente direita do leito da drenagem. 110

Figura 61 – Placas e blocos rochosos condicionados, sobretudo pela foliação/acamamento de quartzito, suscetíveis a queda na vertente direita do leito da drenagem. 110
Figura 62 – Blocos rochosos condicionados, sobretudo, pela foliação de quartzito, suscetíveis a queda na vertente direita do leito da drenagem. 111
Figura 63 – Vista frontal da Cachoeira Pai Rocha. 112
Figura 64 – Blocos soltos (indicados por seta vermelha) como elevada suscetibilidade de escorregamento e queda na lateral esquerda da Cachoeira Pai Rocha. 112
Figura 65 – Vista frontal da Cachoeira do Vó Toninho, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri. 113
Figura 66 – Blocos de quartzito suscetíveis a queda de blocos na parede adjacente à drenagem da Cachoeira do Vó Toninho, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri. 114
Figura 67 – Blocos deslizados de quartzito (Indicados por ser vermelha) na base da queda d'água inferior da Cachoeira do Vó Toninho, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri. 115
Figura 68 – Blocos isolados na porção superior de vertente com elevada suscetibilidade a escorregamentos que podem atingir a base da queda d'água inferior. 115
Figura 69 – Vista frontal da Cachoeira Sotter, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri. 116
Figura 70 – Margem esquerda do poço principal. Os paredões nesse setor se apresentam muito compartimentados, com elevado perigo de queda de blocos. 117
Figura 71 – Poço inferior do balneário Cachoeira Sotter. 117
Figura 72 – Vista frontal da Cachoeira Bicas, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri. 118
Figura 73 – Vista panorâmica do poço da Cachoeira Bicas, evidenciando grandes blocos rochosos. 118
Figura 74 – Vista a jusante da Cachoeira Bicas, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri. 119
Figura 75 – Blocos suscetíveis a tombamento na cabeira do Complexo Poço do Estudante, Parque Estadual do Biribiri. 119
Figura 76 – Blocos angulosos e imbricados na porção intermediária do Complexo Poço do Estudante, Parque Estadual do Biribiri. 120
Figura 77 – Vista frontal Poço do Estudante, Parque Estadual do Biribiri. 120
Figura 78 – Matacão de quartzito isolado na borda do Poço do Estudante. 121
Figura 79 – Vista frontal do Poço Verde, Parque Estadual do Biribiri. 121

Figura 80 – Vista a jusante do Poço Verde, verifica-se grandes blocos rochosos e vegetação. 122
Figura 81 – Vista da lateral direita do poço, caminho para o patamar superior ao Poço Verde. 122
Figura 82 – Blocos angulosos imbricados que sofreram movimentação, caminho para o patamar superior ao Poço Verde..... 123
Figura 83 – Vista frontal do patamar superior o patamar superior ao Poço Verde. 123
Figura 84 – Vista longitudinal do patamar superior ao Poço Verde. Observa-se afloramento composto por diversos blocos rochosos com elevada suscetibilidade a queda. 124
Figura 85 – Vista da lateral esquerda do patamar superior ao Poço Verde. Observa-se afloramento composto por diversos blocos rochosos com elevada suscetibilidade a queda.. 124
Figura 86 – Vista da cabeceira do Ribeirão das Pedras, na qual se observa inúmeros blocos de quartzito. 125
Figura 87 – Vista do curso do Ribeirão das Pedras, na qual se observa blocos de quartzito em seu leito, bem como deposição de material sedimentar..... 125
Figura 88 – Vista frontal da Cachoeira das Fadas, em Conselheiro Mata..... 126
Figura 89 – Lateral esquerda da queda d'água, na qual é possível observar blocos caídos em sua base e diversos blocos isolados no paredão. 127
Figura 90 – Lateral direita da queda d'água, na qual é possível observar blocos caídos em sua base e diversos blocos isolados no paredão. 128
Figura 91 – Blocos caídos ou rolados no entorno da Cachoeira das Fadas, em Conselheiro Mata. 128
Figura 92 – Paredão muito compartimentado, que apresenta blocos isolados suscetíveis a queda e se observa inúmeros de blocos caídos no entorno do poço da Cachoeira das Fadas..... 129
Figura 93 – Vista frontal da Cachoeira do Telésforo, em Conselheiro Mata. 130
Figura 94 – Blocos rochosos, na lateral esquerda da queda d'água, formados por forte controle estrutural do maciço rochoso. 130
Figura 95 – Blocos rochosos, na lateral direita da queda d'água, formados por forte controle estrutural do maciço rochoso. 130
Figura 96 – Blocos rochosos isolados e movimentados na lateral direita da queda d'água, em área de permanência e passagem de visitantes. 131
Figura 97 – Blocos rochosos isolados e movimentados na lateral direita da queda d'água... 131
Figura 98 – Vista lateral da Cachoeira da Raiz, em Conselheiro Mata. 132
Figura 99 – Vista lateral da Cachoeira da Raiz, em Conselheiro Mata. 132

Figura 100 – Queda d'água de um dos níveis da Cachoeira da Raiz, com substrato de quartzitos e compartimentação estrutural. 133
Figura 101 – Vista lateral da Cachoeira do Tombadouro. O atrativo tem substrato de quartzito, cujo acamamento mergulho em sentido contrário ao relevo. 133
Figura 102 – Poço a jusante da Cachoeira do Tombadouro. 134
Figura 103 – Blocos de quartzito (indicados por seta vermelha) assentados em rampa com sentido contrário ao curso d'água (lateral esquerda). 134
Figura 104 – Blocos de quartzito (indicados por seta vermelha) assentados em rampa com sentido contrário ao curso d'água (lateral direita). 135
Figura 105. Blocos de quartzito acima de trilha de acesso a Cachoeira dos Remédios, em Extração. 136
Figura 106 – Vista frontal da Cachoeira dos Remédios, em Extração. Evidencia a compartimentação estrutural, percolação e colonização vegetal. 136
Figura 107 – Paredão direito da Cachoeira dos Remédios. Evidencia a compartimentação estrutural com a formação de blocos e indícios de queda de blocos. 137
Figura 108 – Encosta em frente ao poço composta por solo e blocos rochosos, com indícios de forte intensa percolação e colonização vegetal. Apresenta elevada suscetibilidade a escorregamentos. 137
Figura 109 – Formação de placas rochosas na base de encosta com elevada suscetibilidade de desplacamento. 138
Figura 110 – Vista a jusante da Cachoeira dos Remédios. Evidencia-se os blocos rochosos de diversas dimensões distribuídos pelo entorno. 139
Figura 111 – Vista frontal do patamar superior da Cachoeira dos Remédios. Evidencia-se os grandes blocos de quartzito. 139
Figura 112 – Vista panorâmica da Barragem de Curralinho. 140
Figura 113 – Vista frontal da Cachoeira Santa Apolônia, em Mendanha. Evidencia a percolação de água no contato entre a barragem de concreto e as rochas (indicado por seta vermelha). 141
Figura 114 – Blocos e matacões de metaconglomerado e quartzito formados na lateral direita da cachoeira. 141
Figura 115 – Maciço rochoso estruturalmente compartimentado, formando blocos de diversos tamanhos. 142
Figura 116 – Poço a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Não apresenta situações de perigo aos banhistas. 142

Figura 117 – Blocos rochosos suscetíveis a queda em drenagem a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Este cenário pode apresentar situações de perigo aos banhistas..... 143
Figura 118 – Blocos rochosos suscetíveis a tombamento em drenagem a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Este cenário pode apresentar situações de perigo aos visitantes. 143
Figura 119 – Blocos rochosos suscetíveis a tombamento em drenagem a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Este cenário pode apresentar situações de perigo aos visitantes. 144
Figura 120 – Margens de um poço no início do acesso para a Cachoeira Santa Apolônia. O maciço está suscetível a escorregamento planar, deslizamento de terra e desplacamento..... 144
Figura 121. Imagem de satélite do balneário do Rio Pinheiros e localização das fotografias. 145
Figura 122 – Vista lateral do balneário do Rio Pinheiro, Mendanha. 146
Figura 123 – Vista lateral do balneário do Rio Pinheiro, Mendanha. 146
Figura 124 – Blocos tombados na lateral direita do balneário. 147
Figura 125 – Blocos rochosos em iminência de tombamento na lateral direito do balneário. 147
Figura 126 – Blocos rochosos tombados na porção central do balneário. 148
Figura 127 – Blocos rochosos tombados na porção central do balneário. 148
Figura 128 – Queda d'água no segundo ramo do leito do Rio Pinheiros. 149
Figura 129 – Vista frontal da Cachoeira da Florença, no Povoado do Vau. 150
Figura 130 – Blocos rochosos na porção esquerda da Cachoeira da Florença. 150
Figura 131 – Maciço rochoso compartimentado por diversos sistemas de descontinuidades geomecânicas e inúmeros blocos de rocha na porção esquerda da Cachoeira da Florença. .. 151
Figura 132 – Blocos rolados na porção superior da Cachoeira Florença. Apresentam grande imbricamento, fazendo com que a suscetibilidade de rolamento seja pequena..... 151
Figura 133 – Matacão de quartzito na porção central da cachoeira (indicado por seta vermelha). 152
Figura 134 – Blocos de quartzito suscetíveis a tombamento, na porção superior direita da cachoeira (indicado por seta vermelha). 152
Figura 135 – Vista superior do poço abaixo da Cachoeira da Florença. 153
Figura 136 – Vista panorâmica da Lagoa Azul, no Guinda. 153
Figura 137 – Nascente que alimenta a Lagoa Azul. 154
Figura 138 – Voçoroca situada na cabeceira da Lagoa Azul. Em suas paredes afloram quartzito fino e filito muito intemperizados. 154

Figura 139 – Feições erosivas em encosta na cabeceira da Lagoa Azul (indicados por seta vermelha). 155
Figura 140 – Vista a montante do balneário vistoriado. 155
Figura 141 – Vista a jusante do balneário vistoriado. 156
Figura 142 – Blocos rochosos suscetíveis a tombamento ou queda (indicados por seta vermelha). 156
Figura 143 – Vista do Ribeirão do Inferno. 157
Figura 144 – Ocorrência de queda de blocos e afloramento muito fraturado suscetível a tombamento e queda de blocos (indicado por seta vermelha). 157
Figura 145 – Maciço rochoso fraturado suscetível a queda blocos, no patamar superior da Cachoeira da Toca (indicado por seta vermelha). 158
Figura 146 – Topo da Cachoeira da Toca. Evidencia-se o mergulho das camadas de quartzito em sentido contrário ao relevo. 158
Figura 147 – Vista frontal da Cachoeira da Toca. 159
Figura 148 – Bloco rochoso assentado em plano de descontinuidade horizontal no topo da cachoeira. 160
Figura 149 – Blocos rochosos delimitados na face do paredão. 160
Figura 150 – Blocos rochosos delimitados suscetíveis a queda na face do paredão (indicado por seta vermelha). 161
Figura 151 – Afloramento fragmentado com descontinuidades abertas e suscetibilidade elevada a queda de blocos, na trilha a direita da Cachoeira da Toca. 161
Figura 152 – Afloramento, na margem direita do poço, muito fraturado, intenso intemperismo e colonização vegetal. Observa-se diversos blocos suscetível a queda, gerando usa condição de perigo aos visitantes. 162
Figura 153 – Lateral esquerda da queda d'água, onde é possível observar blocos caídos em encosta íngreme e diversos blocos rochosos suscetíveis a queda no paredão. 162
Figura 154 – Cicatriz de escorregamento circular na base da encosta adjacente a cachoeira (indicado por seta vermelha). 163
Figura 155 – Lateral esquerda da Cachoeira da Toca. Evidencia-se o elevado grau de fraturamento do maciço rochoso, com diversos bloco sem sustentação, representando um cenário de elevado perigo a queda de blocos. 163
Figura 156 – Blocos rochosos em encosta que tangencia a trilha de acesso ao complexo de cachoeiras (indicados por setas vermelhas). 164
Figura 157 – Blocos isolados, e sem sustentação, iminentes de queda livre. 165

Figura 158 – Parede direita adjacente ao poço menor. Evidencia-se a fragmentação do maciço, colonização vegetal e indícios de queda de blocos.....166
Figura 159 – Paredão direito adjacente ao trajeto entre os dois poços. Verifica-se indícios de queda de blocos. 166
Figura 160 – Paredão esquerdo adjacente ao poço menor e trajeto entre os dois poços. Verifica-se elevado grau de fraturamento e perigo de queda de blocos. 167
Figura 161 – Vista frontal do poço principal da Cachoeira do Bambá. 168
Figura 162 – Bloco de quartzito com elevada suscetibilidade de deslizamento e queda livre (indicado por seta). 168
Figura 163 – Vista dos paredões adjacentes ao poço principal. Registra-se a suscetibilidade de tombamento na parede esquerda da cachoeira (indicado por seta vermelha).....169
Figura 164 – Fratura, paralela a direção da drenagem, aberta, preenchida parcialmente por fragmentos de rocha e colonização vegetal (indicado por seta vermelha). 169
Figura 165 – Compartimentação do paredão esquerdo. Evidencia-se atuação de intemperismo diferencial e perda de sustentação dos blocos formados (indicado por seta vermelha). 170
Figura 166 – Maciço rochoso muito fraturado. Evidencia-se a ocorrência de blocos soltos de iminente queda (indicado por seta vermelha), representando perigo muito alto a queda de blocos.....170
Figura 167 – Vista frontal da entrada da Cachoeira das Andorinhas. 171
Figura 168 – Blocos caídos e formação de tetos de quartzito com lascas instáveis da Cachoeira das Andorinhas. 171
Figura 169 – Formação de blocos e indícios de queda na parede direita da Cachoeira das Andorinhas. 172
Figura 170 – Mapa de orientação de encostas.....173
Figura 171 – Mapa de declividade. 174
Figura 172 – Mapa de sentido de mergulho das descontinuidades. 175
Figura 173 – Estereograma e histograma dos dados estruturais utilizados na interpolação...175
Figura 174 – Mapa de ângulo de mergulho das descontinuidades.....176
Figura 175 – Relação angular entre mergulho de descontinuidades e declividade das encostas. 177
Figura 176 – Relação angular entre declividade das encostas e ângulo de mergulho das descontinuidades.....178
Figura 177 – Modelo cinemático para escorregamentos planares.....179

Figura 178 – Afloramento de quartzito, cujo acamamento mergulha contrariamente ao declividade da encosta, em área de baixa suscetibilidade a escorregamentos planares (645994 x 7985560 23K). 179
Figura 179 – Afloramento de quartzito, cujo acamamento é paralelo a declividade do talude, em área de média suscetibilidade a escorregamentos translacionais (649297 x 7981248 23K). 180
Figura 180 – Relação angular entre mergulho de descontinuidades e declividade das encostas. 182
Figura 181 – Modelo cinemático para tombamentos flexurais. 183
Figura 182 – Mapa geotécnico da porção sul do município de Diamantina. 185
Figura 183 – Feições de erosão linear desenvolvidas em terrenos da unidade geotécnica 1. 187
Figura 184 – Vista frontal de voçoroca desenvolvida na unidade geotécnica 1..... 187
Figura 185 – Deslizamento translacional em xistos da unidade geotécnica 2, condicionado corte de estrada (644434 x 7977829 23K). 189
Figura 186 – Desplacamento e queda de blocos de xistos da unidade geotécnica 2, em cabeceira de voçoroca desenvolvida a partir das rochas graníticas da unidade geotécnica 1 (644192 x 7976890 23K). 189
Figura 187 – Afloramento de metassiltito em corte de estrada. Percebe-se intensa foliação e empastilhamento e desplacamento (619235 x 7980419 23K). 191
Figura 188 – Solo argilo-siltoso comum nos terrenos da unidade geotécnica 3 (619626 x 7979682 23K). 192
Figura 189 – Corte de estrada expondo material argilo-siltoso de pouca espessura em contato com metassiltito da unidade geotécnica 3 (619119 x 7980212 23K). 193
Figura 190 – Aluvião caracterizado por areias finas nas proximidades da Cachoeira do Telésforo (613164x7988660 23K). 194
Figura 191 – Depósito aluvionar no Rio do Jequitinhonha (656862x7995718 23K). 194
Figura 192 – Uso da unidade geotécnica. 195
Figura 193 – Encosta adjacente ao poço da Cachoeira das Fadas. Observa-se intensa formação de blocos rochosos e inúmeros blocos caídos no entorno do poço (606733 x 7977583 23K). 196
Figura 194 – Solo arenoso com cascalhos de diversas granulometrias, comum na unidade geotécnica 7, adjacente a incisão de processo erosivo linear (635973 x 7979461 23K)..... 197
Figura 195 – Incisão de processo erosivo linear em solo arenoso pouco espesso (635973 x 7979461 23K). 198

Figura 196 – Visão panorâmica da unidade geotécnica 7, evidenciando afloramentos rochosos, cobertura pouco espessa, em relevo de baixa declividade, e morros de quartzitos ao fundo (633520 x 7977037 23K).....198
Figura 197 – Ravina desenvolvida em solo arenoso da unidade geotécnica 8 (625514 x 7976225 23K).....200
Figura 198 – Vertentes compostas por quartzitos suscetíveis a tombamentos. Podem ser observados blocos já deslocados (649045 x 7982994 23K).....200
Figura 199 – Formação de blocos rochosos em encosta natural (623611 x 7976035 23K)...201
Figura 200 – Talude de quartzito bastante fraturado. Observa-se pequenos blocos caídos na base (6067733 x 7977583 23K).....202
Figura 201 – Cicatriz de queda de blocos no topo do talude da figura anterior (6067733 x 7977583 23K).....202
Figura 202 – Maciço rochoso muito fraturado. Observa-se intensa formação de blocos e indícios de movimentação (642828 x 7977380 23K). 204
Figura 203 – Solo silto argiloso em área com predomínio de filitos (645447 x 798339 23 K). 205
Figura 204 – Solo arenoso em área adjacente ao ponto anterior com predomínio de quartzitos (645497 x 7983161 23k) 205
Figura 205 – Voçoroca desenvolvida em solo composto por areia fina e marginalmente quartzitos finos (642452 x 7982554 23K).....206
Figura 206 – Afloramento de filito com elevada suscetibilidade a escorregamento planar (648731 x 7981385 23K).....207
Figura 207 – Afloramento de quartzito suscetível a tombamentos de blocos (649099 x 7984196).....207
Figura 208 – Vista de parte do bairro Vila Operária. Evidencia-se a elevada declividade da vertente. 209
Figura 209 – Talude de corte em filito com elevada inclinação.....210
Figura 210 – Cicatriz de escorregamento circular próximo a casa na crista da vertente. 210
Figura 211 – Escorregamento planar em maciço rochoso de filito que ocorreu em janeiro de 2020. 211
Figura 212 – Rastejo de depósito coluvionar. 211
Figura 213 – Vista geral do bairro Rio Grande. 212

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Unidades de relevo de acordo com valores de ICR e novos valores utilizados na reclassificação. 69
Tabela 2 – Parâmetros utilizados na reclassificação do mapa de direção de encostas (1) e a interpolação do sentido de mergulho das estruturas (2). 71
Tabela 3 – Parâmetros utilizados na reclassificação do mapa de declividade (1) e a interpolação dos ângulos de mergulho (2). 71
Tabela 4 – Classes de maciços rochosos de acordo com a classificação RMR. 75
Tabela 5 – Orientações preferenciais dos lineamentos. 90
Tabela 6 - Características gerais das unidades geotécnicas da porção sul do município de Diamantina. 184
Tabela 7 – Resistência a compressão pontual de afloramentos de xistos da Unidade Geotécnica 2. 188
Tabela 8 – Resistência a compressão pontual de afloramentos de quartzitos da Unidade Geotécnica 7. 197
Tabela 9 – Resistência a compressão pontual de afloramentos de quartzitos da Unidade Geotécnica 8. 199
Tabela 10. Resistência a compressão pontual de quartzitos da unidade geotécnica 9. 203

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características dos principais tipos de movimentos de massa associados a encostas. 48
Quadro 2 – Agentes e causas de movimentos de massa. 51
Quadro 3 – Classificação hierárquica e correspondentes documentos cartográficos. 59
Quadro 4 – Agrupamentos de unidades geológicas de acordo com suas características geotécnicas e novos valores utilizados na reclassificação do raster. 68
Quadro 5 – Características gerais das unidades geotécnicas preliminares. 83
Quadro 6 – Classificação de perigo geológico nos balneários vistoriados. 92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 23
1.1 Localização 25
1.2 Perguntas e hipótese norteadora 26
1.3 Objetivos 27
2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 28
2.1 Geologia regional 28
2.1.1 Estratigrafia 28
2.1.2 Geologia estrutural 30
2.2 Geomorfologia 32
2.3 Cobertura pedológica 33
2.4 Clima e hidrografia 36
2.5 Atrativos turísticos naturais 37
3 REFERENCIAL TEÓRICO 39
3.1 Processos geodinâmicos 39
3.1.1 Erosão 39
3.1.2 Assoreamento 46
3.1.3 Inundação 46
3.1.4 Subsidência e colapso 46
3.1.5 Movimentos de massa 47
3.2 Conceitos básicos utilizados em gestão de riscos naturais 51
3.3 Cartografia geotécnica 52
3.3.1 Histórico 52
3.3.2 Conceitos básicos 55
3.3.3 Tipos de documentos cartográficos 57
3.3.4 Cartas de risco geológico 60
4 MATERIAIS E MÉTODOS 64
4.1 Compilação bibliográfica 64
4.2 Elaboração de produtos cartográficos intermediários 65
4.3 Elaboração do mapa geotécnico 66
4.3.1 Elaboração do mapa geotécnico preliminar 67
4.3.2 Caracterização do mapa geotécnico preliminar 69
4.3.2.1 Elaboração de Inventário de Processos Erosivos 70
4.3.2.2 Modelagem cinemática 70

4.3.2.3 Campanhas de Campo 72
4.3.2.3.1 Caracterização Geomecânica das Rochas 73
4.3.2.4 Classificação Geomecânica das Rochas 74
4.3.2.5 Avaliação Geotécnica de Balneários 75
4.3.3 Elaboração do mapa geotécnico final 79
4.4 Avaliação de riscos geológicos urbanos 80
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 83
5.1 Mapa geotécnico 83
5.1.1 Mapa geotécnico preliminar 83
5.1.2 Caracterização do mapa geotécnico preliminar 86
5.1.2.1 Inventário de processos geodinâmicos 86
5.1.2.2 Extração de lineamentos estruturais 86
5.1.2.3 Compilação de dados estruturais de mapas geológicos regionais 90
5.1.2.4 Trabalhos de campo 91
5.1.2.5 Avaliação de Perigo de Balneários em Diamantina 91
5.1.2.5.1 Cachoeira da Sentinela – Parque Estadual do Biribiri 92
5.1.2.5.2 Cachoeira dos Cristais – Parque Estadual do Biribiri 97
5.1.2.5.3 Complexo da Água Limpa – Parque Estadual do Biribiri 102
5.1.2.5.4 Cachoeira Pai Rocha – Caminho dos Escravos (PEBI) 108
5.1.2.5.5 Cachoeira do Vó Toninho – Caminho dos Escravos (PEBI) 113
5.1.2.5.6 Cachoeira Sotter – Caminho dos Escravos (PEBI) 116
5.1.2.5.7 Cachoeira Bicas – Caminho dos Escravos (PEBI) 118
5.1.2.5.8 Poço do estudante – Parque Estadual do Biribiri 119
5.1.2.5.9 Poço Verde – Parque Estadual do Biribiri 121
5.1.2.5.10 Ribeirão das Pedras – Vila do Biribiri 125
5.1.2.5.11 Cachoeira das Fadas – Conselheiro Mata 126
5.1.2.5.12 Cachoeira do Telésforo – Conselheiro Mata 129
5.1.2.5.13 Complexo Cachoeira da Raiz e Tombadouro – Conselheiro Mata 131
5.1.2.5.14 Cachoeira dos Remédios - Extração/Curralinho 135
5.1.2.5.15 Barragem de Extração/Curralinho 140
5.1.2.5.16 Cachoeira Santa Apolônia – Mendanha 140
5.1.2.5.17 Balneário entre os rios Pinheiro e Jequitinhonha – Divisa Mendanha e Inhaí 145
5.1.2.5.18 Cachoeira da Florença – Povoado do Vau 149
5.1.2.5.19 Lagoa Azul - Guinda 153

5.1.2.5.20 Balneário sob a Ponte do Acaba Mundo – Acaba Mundo 155
5.1.2.5.21 Ribeirão do Inferno – Distrito Sede 156
5.1.2.5.22 Cachoeira da Toca – Distrito Sede 157
5.1.2.5.23 Complexo Cachoeira do Bambá / Andorinhas – Distrito Sede 164
5.1.2.6 Modelagem cinemática 172
5.1.3 Mapa geotécnico 183
5.1.3.1 Unidade geotécnica 1 (Associação de rochas graníticas) 186
5.1.3.2 Unidade geotécnica 2 (Xistos) 188
5.1.3.3 Unidade geotécnica 3 (Rochas intrusivas ultrabásicas) 190
5.1.3.4 Unidade geotécnica 4 (Associação de rochas metapelíticas) 190
5.1.3.5 Unidade geotécnica 5 (Coberturas inconsolidadas) 193
5.1.3.6 Unidade geotécnica 6 (Rochas sedimentares químicas) 195
5.1.3.7 Unidade geotécnica 7 (Quartzitos) 196
5.1.3.8 Unidade geotécnica 8 (Associação quartzitos e metaruditos) 199
5.1.3.9 Unidade geotécnica 9 (Associação de quartzitos e rochas metamórficas foliadas) ... 203
5.1.3.10 Unidade geotécnica 10 (Associação de quartzitos e rochas metamórficas foliadas) 206
5.2 Avaliação de risco geológico urbano 208
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 213
REFERÊNCIAS 219
APÊNDICES 232
ANEXOS 316

1 INTRODUÇÃO

O planejamento urbano é um instrumento importante para a gestão municipal, subsidiando um crescimento ordenado das cidades. Do ponto de vista da relação sociedade e meio físico, o equilíbrio entre desenvolvimento urbano e o meio ambiente apresenta papel muito relevante na expansão urbana dos municípios, de modo que os impactos da urbanização no meio físico e a exposição da população a riscos geológicos, como deslizamentos e inundações, seja a mínima possível.

A expansão urbana de Diamantina não ocorreu de forma homogênea (Varajão, 2015), intensificando-se nas últimas duas décadas. O município apresentou nos anos recentes um crescimento desordenado e ausência de uma gestão urbana eficiente (Laboratório de População e Ambiente, 2016 *apud* Fidelis; Umbelino, 2016). Alguns municípios registram expansão não somente em sua sede municipal, mas também em seus distritos, gerando outros centros urbanos, que também devem ser contemplados pela gestão e planejamento urbano. Nesse cenário pode-se citar o caso do distrito de Guinda (Corrêa, 2012), nos arreadores do distrito sede, que se desenvolve em direção a sede municipal, no qual destaca-se a ocorrência de intensos processos erosivos lineares, como voçorocas.

A falta de planejamento da ocupação do meio físico desde o início do desenvolvimento de Diamantina aliado a intensa atividade garimpeira a partir do período colonial, o crescimento populacional e ainda restrições a urbanização, devido à topografia acidentada, contribuíram para o atual estágio de degradação ambiental e problemas de ordem geotécnica. Durante a evolução do município ocorreram grandes modificações no meio físico, que levaram a situações de perigo geológico, com a possibilidade de deflagração de quedas e desplacamentos, bem como escorregamentos, sobretudo, associados as vertentes de elevada declividade e depósitos de tálus. Registram-se, ainda, o desaparecimento de cursos d'água, o aumento da velocidade dos processos da dinâmica superficial, como aqueles relacionados à abertura de ruas em novos condomínios residenciais e consequente surgimento de barras de areia e assoreamento de córregos, expansão imobiliária em terrenos inadequados e ainda a alteração da morfologia dos terrenos pela extração de ouro e diamante de aluviões, além dos diversos passivos ambientais oriundos de garimpos abandonados.

Para um ordenamento territorial eficaz, inúmeras são as ferramentas que devem estar disponíveis para os gestores, a fim de que a tomada de decisões seja efetivamente embasada. Diamantina publicou seu primeiro plano diretor em 1999, em virtude de sua escolha como

patrimônio histórico da humanidade pela UNESCO, sendo revisado em 2008 (Diamantina, 2009). Desde 2021, encontra-se em nova fase de revisão.

Macedo e Bressani (2013) ressaltam a necessidade de incluir em planos diretores municipais considerações sobre suscetibilidade, perigos e riscos geológicos no uso e ocupação dos solos e no planejamento de respostas de emergência para a segurança pública. Além da importância de documentos cartográficos adequados e atualizados que descrevam as características geomecânicas, áreas de riscos e potencialidades da região.

As condições regionais como geologia, geomorfologia e clima exercem grande influência na estabilidade de rochas e solos frente a processos da dinâmica superficial (Sobreira, 1991). Entretanto, deve-se ressaltar as características inerentemente ligadas aos materiais geológicos, como natureza e composição de rochas e solos, estado de confinamento, intensidade de intemperismo, descontinuidades, coesão, condição de poro-pressão, resistência mecânica, entre outros (Reis Junior, 2016). Estes materiais são empregados como fonte de matéria prima e alicerce para o desenvolvimento das cidades. Apresentando características e comportamentos geotécnicos muito variados. Quando associados a agentes, naturais ou não, podem deflagrar processos geodinâmicos, submetendo as adjacências a riscos geológicos.

Na última década, foi revelada a relevância de se considerar outros riscos no que tange o planejamento dos municípios, como aqueles relacionados a atrativos turísticos naturais. Esses locais, frequentemente expostos a eventos geológicos, como movimentos de massa, exigem avaliações específicas para garantir a segurança dos visitantes e preservar o patrimônio natural. Dessa forma, é fundamental uma análise abrangente dos riscos geológicos, assegurando a proteção tanto da população quanto dos visitantes que acessam os atrativos naturais municipais.

Diamantina conta com um significativo patrimônio natural, caracterizado por belas serras, trilhas e cachoeiras, que somado à sua importância histórica da cidade, torna-a um grande atrativo turístico. Nos últimos tempos nunca se consumiu tanto turismo ecológico ou de aventura. Estas áreas visitadas estão inseridas, muitas vezes, em Unidades de Conservação, sejam nacionais, estaduais ou municipais. Entretanto, várias dessas áreas não detêm planos de manejo ou ainda o possuem de maneira incompleta. De modo, que problemas de diversas ordens podem ocorrer, como o uso não sustentável ou a ocorrência de acidentes geológicos.

O acidente ocorrido em Capitólio – Minas Gerais, no início de 2022, alertou sobre a necessidade da realização de estudos geológico-geotécnicos em atrativos turísticos naturais. Contudo, salienta-se que este não foi o primeiro fenômeno com vítimas registrado, recentemente, no país, podendo citar o desabamento de falésias em Pipa/RN, em 2020. Evidencia-se, portanto, a carência de análises de estabilidade e perigos nesses lugares. Neste

contexto, diversas ações emergenciais para o reconhecimento, identificação e avaliação de riscos geológicos nesses lugares foram realizadas, destacando-se as campanhas do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, como Pedrazzi *et al.,* (2022), Barros *et al.,* (2022), Oliveira *et al.,* (2022) e Silva *et al.,* (2022).

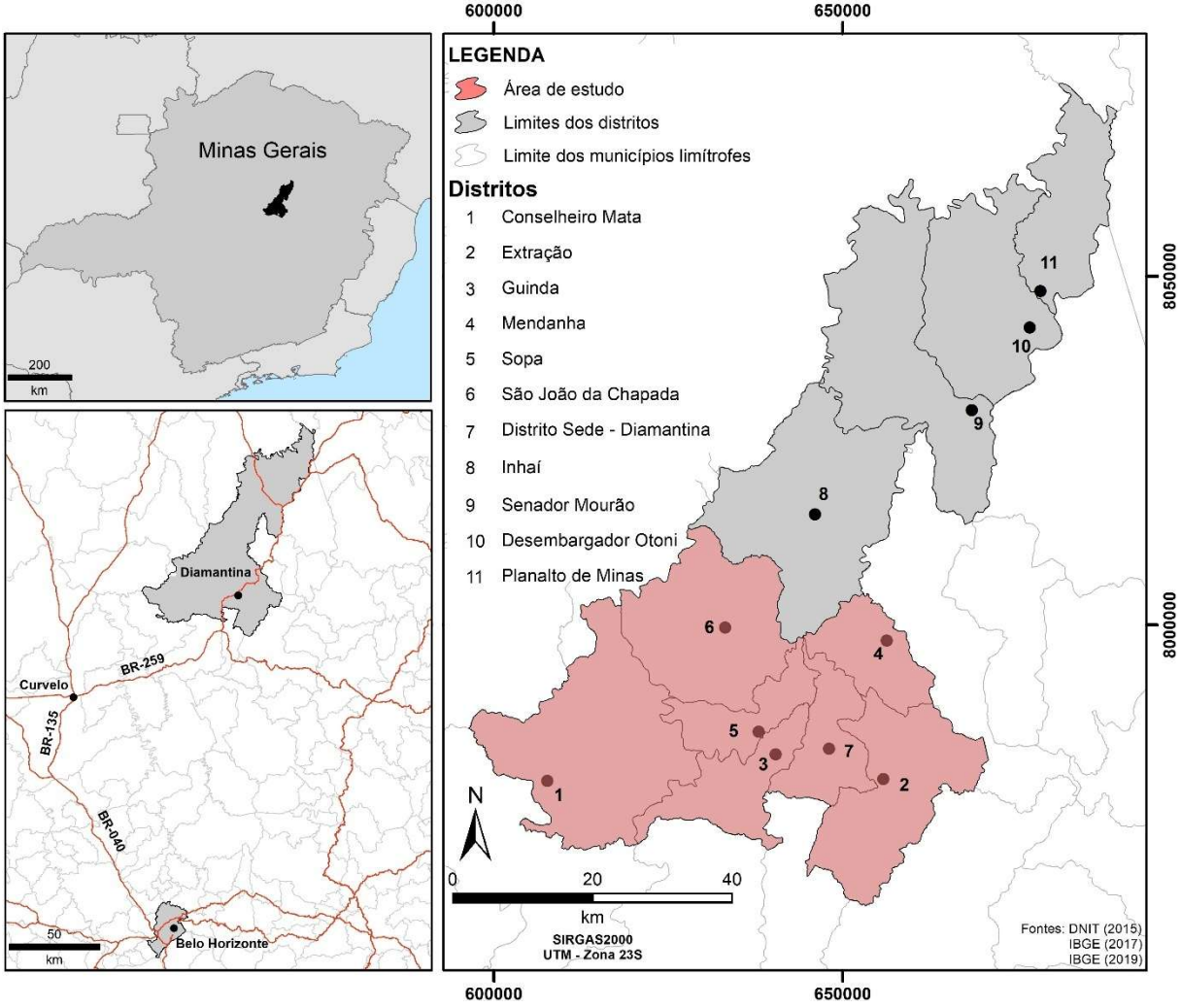
Diamantina conta somente com macrozoneamento municipal, zoneamento do distrito sede, e a lei complementar de uso e ocupação dos solos como instrumentos de gestão urbana e territorial, inexistindo documentos cartográficos como cartas geotécnicas ou mapas de suscetibilidade. Dessa forma, a aplicação de metodologias de caracterização das propriedades geomecânicas dos materiais que compõem o território do município, análises espaciais de processos da dinâmica superficial e integração dessas informações por meio de avaliação e mapeamento geotécnico se faz extremamente importante. Pretendeu-se, portanto, realizar estudos focados na identificação das potencialidades, perigos e riscos geológicos relacionados a porção sul do município, sobretudo no que diz respeito ao subsídio dado planejamento urbano, visando uma melhor relação entre a urbanização e os elementos geoambientais, e melhoria na gestão de atrativos turísticos naturais, como sinalização e indicação dos perigos nos principais balneários.

1.1 Localização

Diamantina está localizada na Serra do Espinhaço, região central de Minas Gerais, mesorregião do Jequitinhonha e situa-se a 292km de Belo Horizonte, cujo acesso a partir capital mineira se dá pelas rodovias BR-040 (sentido Brasília), BR-135 (sentido Curvelo) e BR-259 (sentido Diamantina) (Figura 1).

O município recobre uma área de 3.891,659 km², sendo que 11,98 km² corresponde a áreas urbanizadas. Atualmente, tem uma população de 47.702 habitantes (IBGE, 2023) distribuída por seus 11 distritos: Inhaí, Planalto de Minas, Desembargador Otoni, Senador Mourão, Mendanha, São João da Chapada, Extração, Diamantina, Guinda, Conselheiro Mata e Sopa (Diamantina, 2009), contudo a área de estudo compreende somente os seis últimos, situados na porção sul da cidade (Figura 1), recobrindo cerca de 2.051 km^2.

Figura 1 – Localização do município de Diamantina, Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em DNIT, 2015; IBGE, 2017 e IBGE, 2019.

1.2 Perguntas e hipótese norteadora

Diante a carência de estudos relacionados a caracterização do comportamento geomecânico dos materiais geológicos e a dinâmica dos processos superficiais, além da ausência de documentação cartográfica geotécnica adequada para o planejamento urbano e gestão do uso e ocupação do solo, algumas questões se tornaram relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa, como:

- Quais os processos da dinâmica superficial mais significativos na porção sul do município de Diamantina? E quais seus condicionantes?
- Quais são os principais riscos geológicos relacionados aos atrativos turísticos naturais?
- Quais são os principais riscos geológicos relacionados às áreas urbanas?
- Como identificar setores de maiores riscos associados às áreas urbanas no município?

- Quais os impactos antrópicos na deflagração de eventos geológicos nos balneários? Atuam da mesma forma que nas áreas urbanas?

A ausência de uma compartimentação geotécnica sistematizada e de dados integrados sobre o meio físico e os processos da dinâmica superficial na porção sul de Diamantina compromete a identificação e classificação de riscos geológicos, tanto em áreas urbanas quanto em balneários, o que contribui para uma má gestão destes riscos. Admite-se que, ao caracterizar os condicionantes naturais e os fatores antrópicos que interferem na deflagração de processos geodinâmicos, é possível identificar os processos mais significativos, delimitar setores de maior risco e classificar os perigos associados a diferentes contextos de uso e ocupação do solo. Assim, a compartimentação geotécnica, aliada à avaliação integrada de riscos, representa um instrumento técnico eficaz para subsidiar o planejamento urbano e a gestão de áreas turísticas sujeitas a perigos naturais.

1.3 Objetivos

O objetivo principal do trabalho consiste na compartimentação geotécnica da porção sul do município de Diamantina, com ênfase na avaliação dos riscos geológicos neste mesmo setor.

Para que o objetivo principal seja atingido, bem como as perguntas norteadoras da pesquisa sejam respondidas, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- Inventariar as informações cartográficas e geoambientais disponíveis para o município de Diamantina, bem como registros e indícios de processos geodinâmicos já deflagrados;
- Caracterizar os componentes do meio físico (geologia, pedologia, vegetação, hidrogeologia e condições climáticas);
- Realizar caracterização das propriedades geomecânicas de rochas e solos;
- Identificar e classificar os perigos e riscos geológicos nos principais balneários do município;
- Elaborar mapa geotécnico da porção sul do município de Diamantina, em escala 1:100.000, indicando as potencialidades dos terrenos;
- Identificar e classificar os riscos geológicos em áreas urbanas.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Geologia regional

2.1.1 Estratigrafia

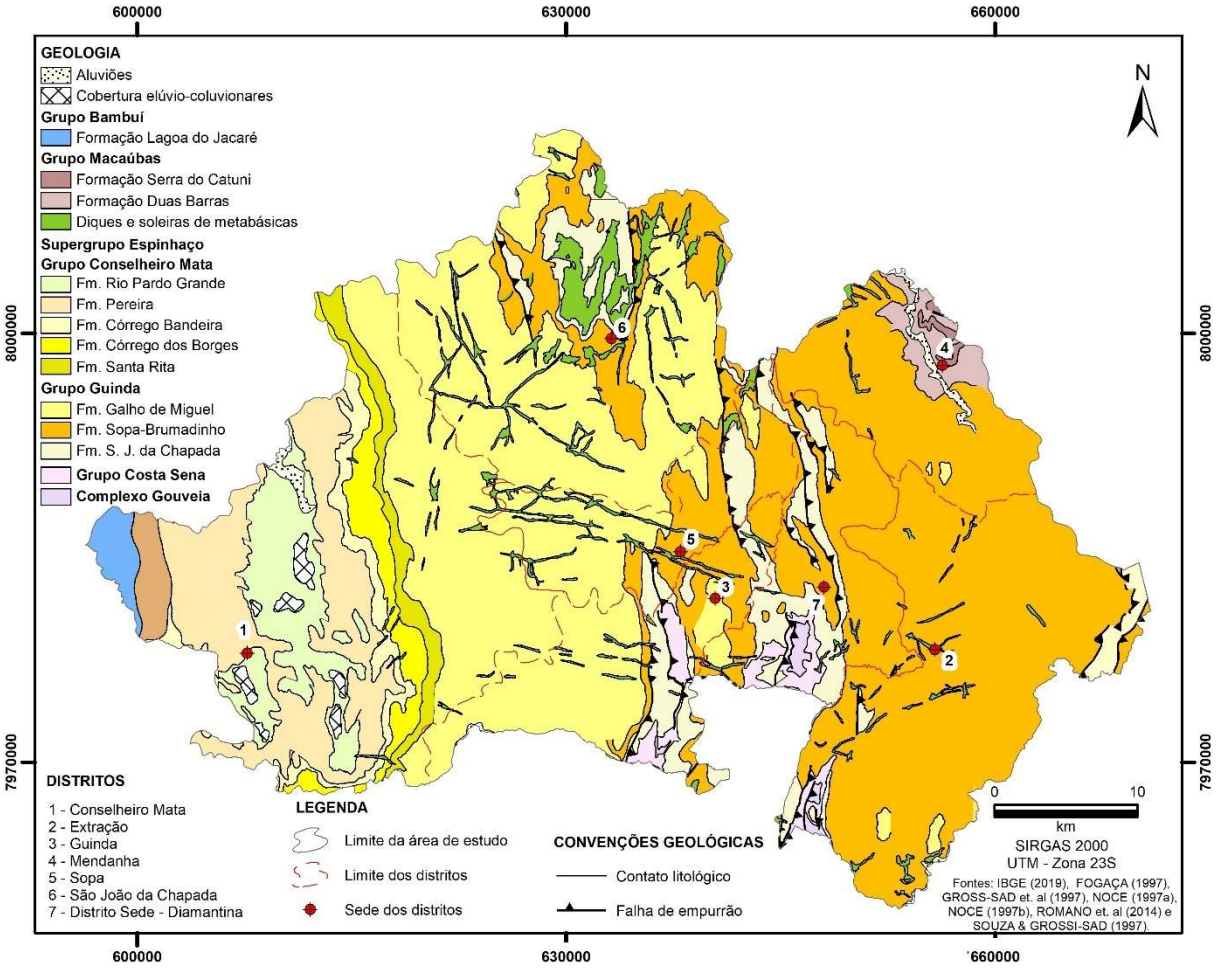
O município de Diamantina se desenvolveu sobre uma grande variedade litológica. Seu arcabouço geológico constitui-se por rochas do Complexo Gouveia, sucedidas por sequências proterozoicas, predominantemente metassedimentares, correspondentes aos supergrupos Rio Paraúna, Espinhaço e São Francisco. Além de intrusões metabásicas pós-Espinhaço e coberturas cenozoicas (Figura 2).

O embasamento cristalino, Complexo Gouveia, ocorre na porção sul do município, sendo composto por granitos, gnaisses, milonitos e migmatitos (Fogaça, 1997). Podem ser distinguidos, petrograficamente, granodioritos, tonalitos e monzogranitos. Bordejando o complexo arqueano, também na porção sul, são descritos quartzo-xistos com variáveis contribuições de micas (Fogaça, 1997) do Grupo Costa Sena (Supergrupo Rio Paraúna). Nessa mesma unidade Lopes-Silva e Knauer (2011) descrevem uma transição desses xistos para uma sequência quartzítica e metaconglomerática à medida que se avança para o topo da unidade.

Os litotipos que constituem o Supergrupo Espinhaço ocorrem na maior parte do município, sendo possível a descrição de suas oito formações definidas por Pflug (1968). As formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho e Galho do Miguel, que compõem o Grupo Guinda (Almeida-Abreu, 1993), ocorrem nas porções central e oriental do município. As formações constituintes do Grupo Conselheiro Mata (Dossin *et al.,* 1985) ocorrem mais a oeste da cidade. Na porção mais a norte o Supergrupo Espinhaço não é subdivido em formações, sendo descrito somente por variações litológicas (Noce, 1997[a]; Grossi-Sad *et al.*, 1997). A Formação São João da Chapada é constituída por quartzitos micáceos, geralmente grossos, associadas a lentes de metaconglomerados polimíticos e metabrechas quartzíticas, filito hematítico e xistos verdes (Fogaça, 1997; Noce, 1997b). Filitos, quartzo-filitos, quartzitos, metaconglomerados polimíticos e xistos verdes (níveis variados de metavulcanitos básicos) compõem a Formação Sopa-Brumadinho. A Formação Galho do Miguel caracteriza-se pela presença de quartzitos finos e bem selecionados com algumas intercalações de metapelitos. As unidades do Grupo Conselheiro Mata ocorrem em faixas N-S, na porção ocidental de Diamantina. A Formação Santa Rita é constituída pela alternância de delgadas camadas de filitos, metassiltitos e quarzitos finos, sericíticos (Fogaça, 1997). A Formação Córrego dos

Borges apresenta quartzitos micáceos, finos a médios (Knauer *et al.,* 2014). A Formação Córrego Bandeira é caracterizada por uma alternância não uniforme de filitos/metassiltitos e quartzitos finos (Fogaça, 1997).

Figura 2 – Mapa geológico simplificado da porção sul do município de Diamantina.



Fontes: Elaborado pelo autor, com base em IBGE (2019); Fogaça (1997); Grossi-Sad *et al.* (1997); Noce (1997a); Noce (1997b); Knauer *et al*. (2014) e Souza & Grossi-Sad (1997).

Os quartzitos da formação subjacente gradam para os quartzitos puros da Formação Córrego Pereira, porém no topo da unidade são descritos quartzitos feldspáticos. As litologias predominantes que constituem a Formação Rio Pardo Grande correspondem a alternância de filitos, metassiltitos e metargilitos. As formações mais antigas do Supergrupo Espinhaço (Grupo Guinda) destacam-se pelos diversos corpos intrusivos de natureza básica, compostos por rochas gabróicas e diabásicas.

O Grupo Macaúbas ocorre mais a nordeste do município, sendo representado na área pelas formações Duas Barras e Serra do Catuni. A Formação Duas Barras é constituída por quartzitos médios a grossos e mal selecionados, às vezes arcosianos, e metarenitos puros e

impuros com intercalações menores de microconglomerados polimíticos (Fogaça, 1997; Grossi-Sad *et al.,* 1997). A formação sobrejacente, Serra do Catuni, constitui-se de metapelitos intercalados a quartzitos e diamictitos, com intercalações subordinadas de filito e quartzito. No extremo oeste da área de estudo, o Grupo Macaúbas é tratado como unidade indivisa, por Knauer *et al.,* (2014).

Na porção extremo oeste do município são descritas rochas da Formação Lagoa do Jacaré (Grupo Bambuí), que é caracterizada pelo predomínio de metacalcários. Subordinadamente ocorrem intercalações de metapelitos e margas (Knauer *et al.,* 2014).

Também são mapeados depósitos aluviais compostos por areias finas a grosseiras estratificadas, siltes e argilas e horizontes de cascalhos diamantíferos/auríferos, além de coberturas detrito-lateríticas, caracterizadas por depósitos arenosos ou coberturas métricas de solos lateríticos com concentrações locais de cangas (Fogaça, 1997).

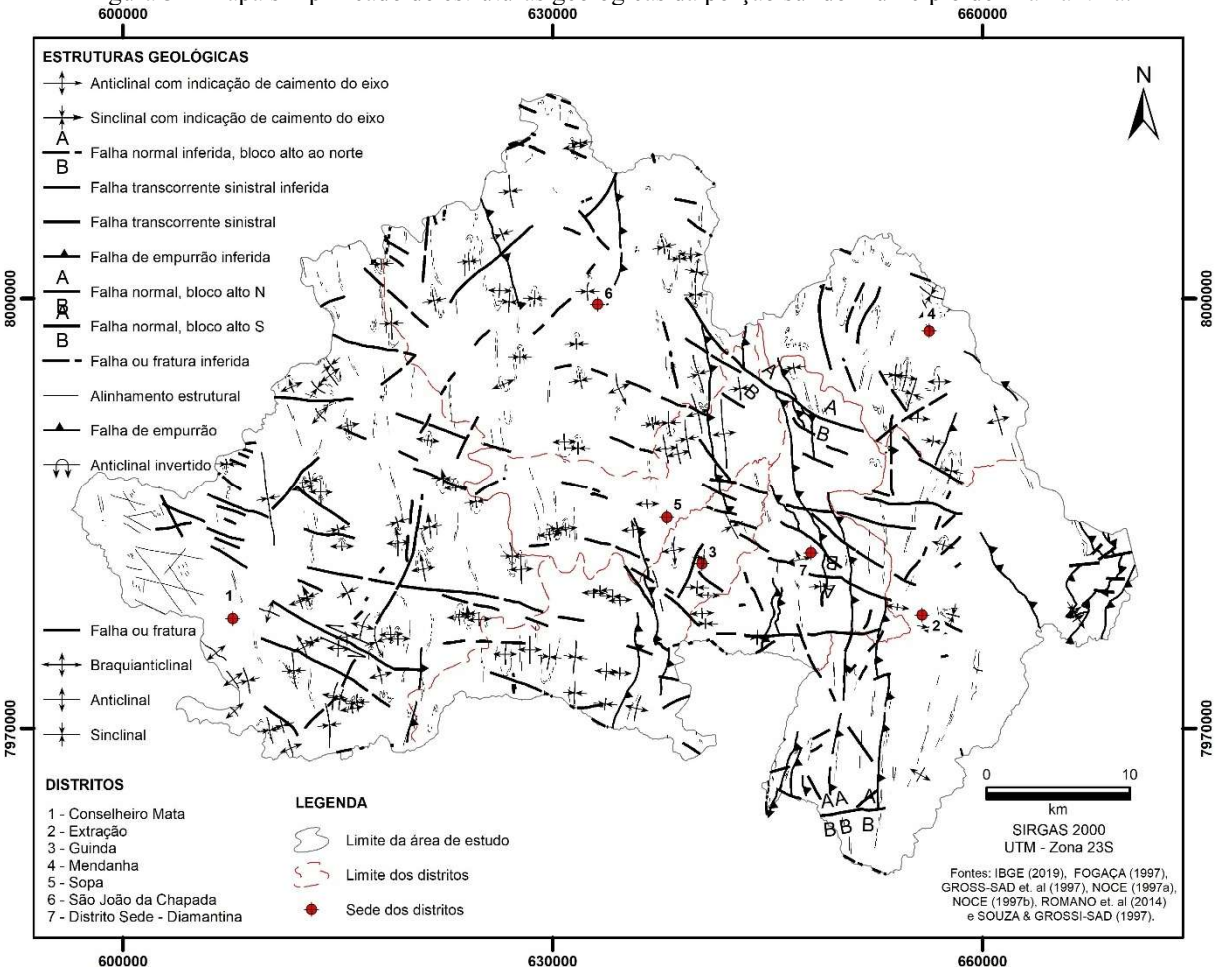
2.1.2 Geologia estrutural

O arcabouço estrutural da região é caracterizado por grande diversidade de padrões, que refletem processos tectônicos de diferentes idades que atuaram na evolução da Serra do Espinhaço. A figura 3 ilustra de maneira simplificada as principais estruturas geológicas e feições estruturais descritas na área de estudo.

O Complexo Gouveia tem como característica estrutural macroscópica mais conspícua zonas de cisalhamento dúctil de extensões quilométricas, em geral, com direções entre N30°-35°W e N0°-10°E. Todas as foliações relacionadas apresentam mergulhos moderados a altos para os quadrantes leste, de caráter milonítico, nas quais é possível observar lineações de crenulação, uma de direção N-S e outra E-W, porém é mais notável uma lineação de estiramento mineral S80°-90°E (Fogaça, 1997).

As rochas do Grupo Costa Sena apresentam um acervo estrutural variado, devido aos graus variáveis de milonitização, conforme observado por Schöll e Fogaça (1979). Fogaça (1997) identifica como estrutura planar mais evidente uma foliação milonítica, com orientação variável entre N10°W e N10°E, e mergulhos moderados para leste, na qual se observa estiramento mineral, com orientação média entre S80°-85°E. Apresenta um padrão de fraturamento N45°W/90°, restrito ao Supergrupo Rio Paraúna. Ainda, são descritas duas outras estruturas planares que se superpõem à foliação milonítica, uma clivagem axial de direção N-S e outra, menos comum e mais discreta, de direção próxima a E-W e mergulhos subverticalizados. Fogaça e Schöll (1984) identifica dobras assimétricas fechadas a isoclinais.

Figura 3 – Mapa simplificado de estruturas geológicas da porção sul do município de Diamantina.



Fontes: Elaborado pelo autor, com base em IBGE (2019); Fogaça (1997); Grossi-Sad *et al.* (1997); Noce (1997ª); Noce (1997b); Knauer *et al.* (2014) e Souza & Grossi-Sad (1997).

O Supergrupo Espinhaço está estruturado, na porção central do município de Diamantina, por um importante sistema de falhas de empurrão/zonas de cisalhamento com direção geral N-S e por amplas dobras, de eixos próximos a N-S, abertas com vergência para W (Fogaça e Schöll, 1984; Noce, 1997b). Dossin *et al.* (1984) descrevem a estruturação, para oeste, em anticlinais e sinclinais abertos sucessivos. Na porção mais oriental, os sistemas de falhas de empurrão/zonas de cisalhamento se apresentam mais desenvolvidos, o que mascara parte dos amplos dobramentos (Fogaça, 1997). Segundo Noce (1997b) são observadas zonas de cisalhamento subverticais entre NE-SW e E-W, cortando as estruturas anteriores.

Destaca-se uma foliação, cuja direção média varia entre N5°W e N10°W, com mergulhos moderados para leste, porém em zonas próximas a falhas inversas é possível observar um incremento progressivo até 70°. Noce (1997b) salienta que as rochas do Supergrupo Espinhaço apresentam mergulhos, em torno de 45°, sobretudo próximo ao contato com o Grupo Macaúbas.

Os quartzitos do Supergrupo Espinhaço evidenciam o sistema de fraturamento da unidade, as fraturas apresentam um máximo no sentido E-W, destacando-se dois máximos de orientação N10°E e N20°E. Fogaça (1997) salienta que, especialmente no setor oriental, predominam fraturas com mergulho para leste.

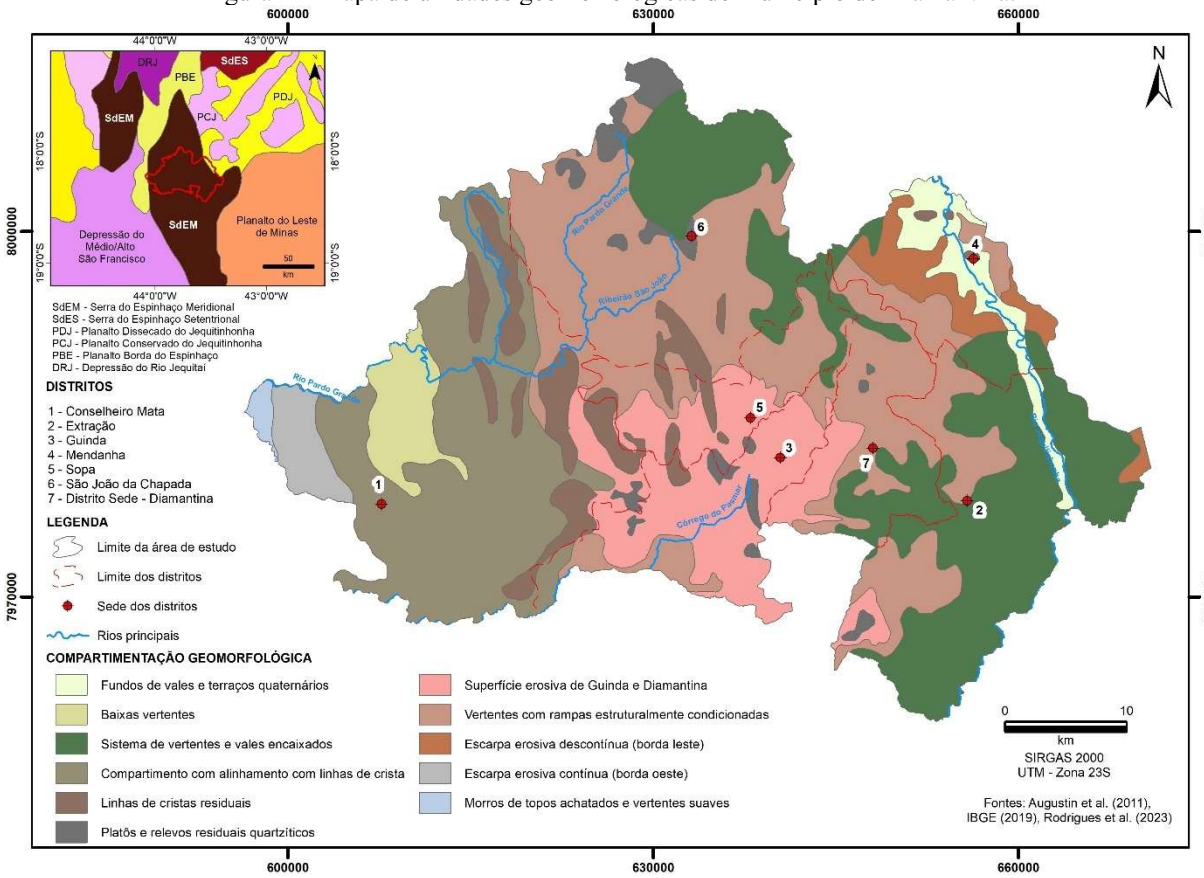
Segundo Noce (1997b) a estruturação do Grupo Macaúbas, na porção ocidental de sua área de afloramento em Diamantina, exibe dobras relativamente abertas, com orientação entre N-S e ENE-WSW. As estruturas planares que caracterizam essas rochas, acamadamentos e foliações, apresentam o máximo para medidas de foliação próxima de N-S, mergulhando para E.

2.2 Geomorfologia

A Serra do Espinhaço pode ser subdividida em dois compartimentos de planaltos, que ocupam as porções sul e norte desta (Saadi, 1995). Uma zona deprimida, que passa por Couto de Magalhães, secciona a feição geomorfológica, individualizando os Planaltos Meridional e Setentrional (Figura 4). O município de Diamantina está inserido no contexto do Planalto Meridional. A altitude média desta superfície situa-se em torno de 1200m. No geral, a análise hipsométrica mostra que se trata de um plano ligeiramente convexo, ao longo de um eixo mediano inclinado de norte para sul (Saadi, 1995).

IBGE (2019) identifica quatro diferentes compartimentos geomorfológicos na região, Patamares das Chapadas do Jequitinhonha, Patamares do Espinhaço, Depressão do Médio Rio São Francisco e as Serras do Espinhaço Meridional. Este último compartimento abrange quase a totalidade da área de estudo. Contudo, Augustin *et al.* (2011) apresentam uma proposta de compartimentação geomorfológica mais detalhada. Nesta área são identificas onze subunidades – Fundos de vales e terraços quaternários, Baixas vertentes, Sistema de vertentes e vales encaixados, Compartimento com alinhamento com linhas de cristas, Linhas de cristas residuais, Platôs e relevos residuais quartzíticos, Superfície erosiva de Guinda e Diamantina, Vertentes com rampas estruturalmente condicionadas, Escarpa erosiva descontínua, Escarpa erosiva contínua e Morros de topos achatados e vertentes suaves (Figura 4) pertencentes às quatros unidades morfoesculturais (Superfícies Erosivas Remanescentes, Superfícies Erosivas Retrabalhadas, Áreas Deprimidas e Áreas de Influência Imediata Fluvial).

Figura 4 – Mapa de unidades geomorfológicas do município de Diamantina.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Augustin *et al*. (2011); IBGE (2019[a]); Rodrigues *et al.* (2023).

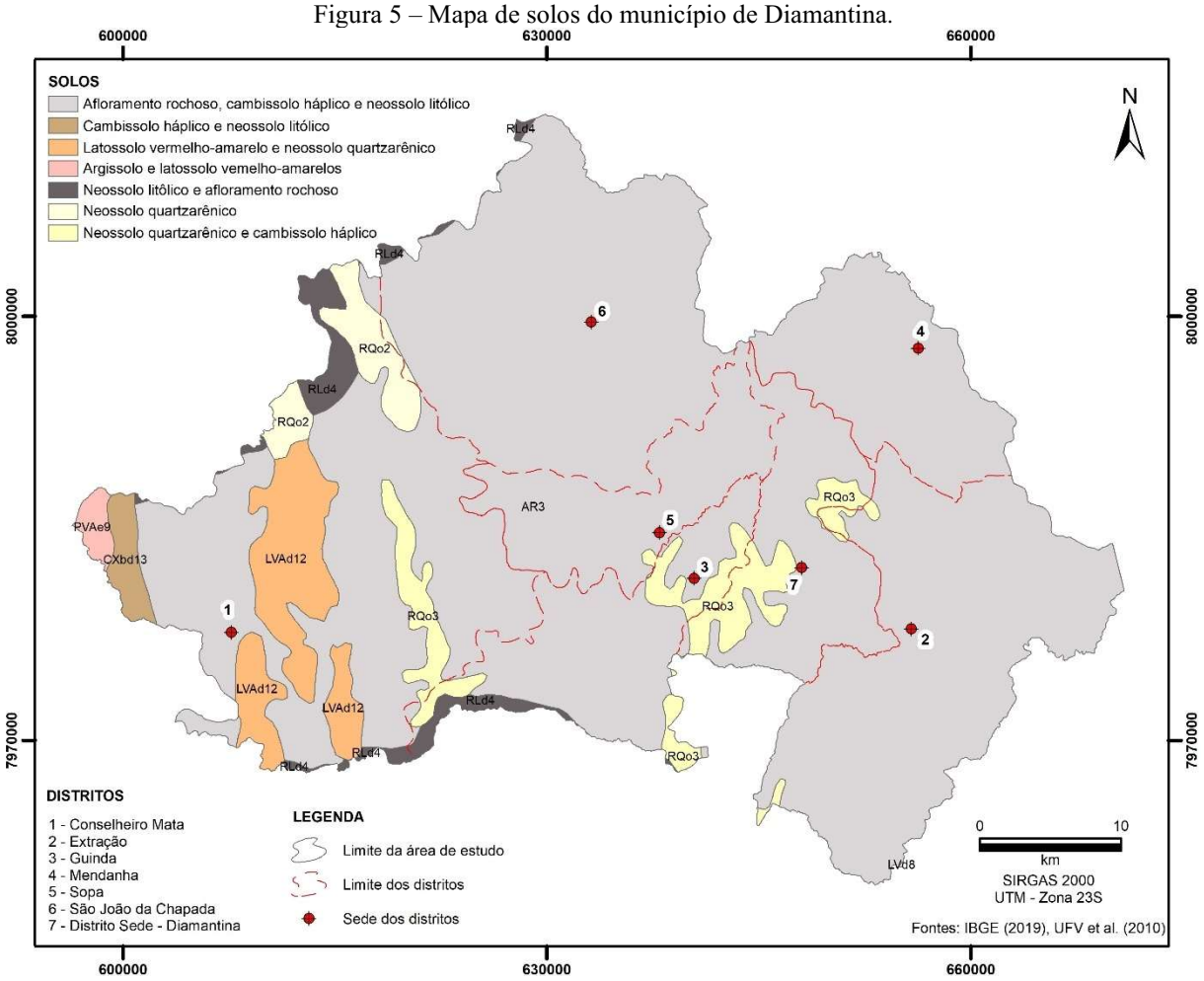
O relevo muito acidentado, caracterizado por elevações e espigões de rochas nuas, constitui uma paisagem com cobertura rígida influenciada pelo predomínio de quartzitos, que se apresenta intensamente fraturada e falhada, que permite a rede de drenagem esculturar a paisagem segundo as direções tectônicas e estruturais, gerando uma ampla ocorrência de formas de relevo, como cristas, escarpas, linhas de cumeada e grandes desníveis topográficos, como vales profundos (Saadi, 1995; Valadão, 1998 *apud* Silva, 2012; Almeida-Abreu *et al.,* 2005).

2.3 Cobertura pedológica

Na cidade de Diamantina são encontrados neossolos, cambissolos, argissolos e latossolos. Estes solos foram mapeados e agrupados nas seguintes unidades (Figura 5), conforme UFV *et al.* (2010): AR3 (Afloramento rochoso, cambissolo háplico e neossolo litólico), CXbd13 (Cambissolo háplico e neossolo litólico), LVAd12 (latossolo 33ermelho-amarelo e neossolo quartzarênico), PVAe9 (Argissolo 33ermelho-amarelo e latossolo 33ermelho-amarelo), RLd4 (nessolo litólico e afloramento rochoso), Rqo2 (Neossolo quartzarênico), Rqo3 (Neossolo quartzarênico e cambissolo háplico).

Os neossolos são solos jovens que apresentam atributos físicos de fraco desenvolvimento, sendo, portanto, unidades ambientais frágeis (Souza, 2006), caracterizam-se pela ausência de horizonte B (IBGE, 2019). De um modo geral há necessidade de uso de práticas conservacionista devido à forte suscetibilidade aos processos erosivos (Santos *et al.,* 2013). São descritos na região neossolos quartzarênicos, litólicos e flúvicos. Os nessolos quartzarênicos ocorrem em relevo plano ou suave ondulado, apresentam textura arenosa ao longo do perfil. Santos *et al.* (2013) salientam que considerando o relevo de ocorrência, a suscetibilidade a processos erosivos não é elevada, contudo deve-se atentar em relação a solos com texturas essencialmente arenosa. Os neossolos litólicos são solos rasos, muito relacionados a relevos mais declivosos e por ser composto, predominantemente, por frações de areia fina e silte, a erodibilidade é favorecida, aumentando assim a suscetibilidade a erosão. Os neossolos flúvicos ocorrem próximos a vales fluviais em relevo plano.

Figura 5 – Mapa de solos do município de Diamantina.



Fontes: Elaborado pelo autor, com base em IBGE (2019[a]); UFV *et al.* (2010).

Os cambissolos apresentam perfis mais espessos que os neossolos, mas também são solos jovens, de evolução ainda incipiente. Sua identidade relaciona-se ao baixo grau de intemperismo, contudo, pode ser diferenciado dos solos supracitados pela ocorrência de um horizonte B de espessura superior a 10 cm (IBGE, 2019). Geralmente caracterizados por elevados teores de areia e silte, tornando-os muito mais suscetíveis a erosão. Na região ocorrem cambissolos háplicos que são caracterizados por ausência de grande desenvolvimento pedogenético, solos de pequena profundidade, elevado teor de minerais primários, presença significativa de fragmentos de rochas (IAC-SP, 2006). Identificados normalmente em relevos forte ondulados ou montanhosos (EMBRAPA, 2011) e profundidades entre 50 e 100 cm. São solos altamente suscetíveis a erosão.

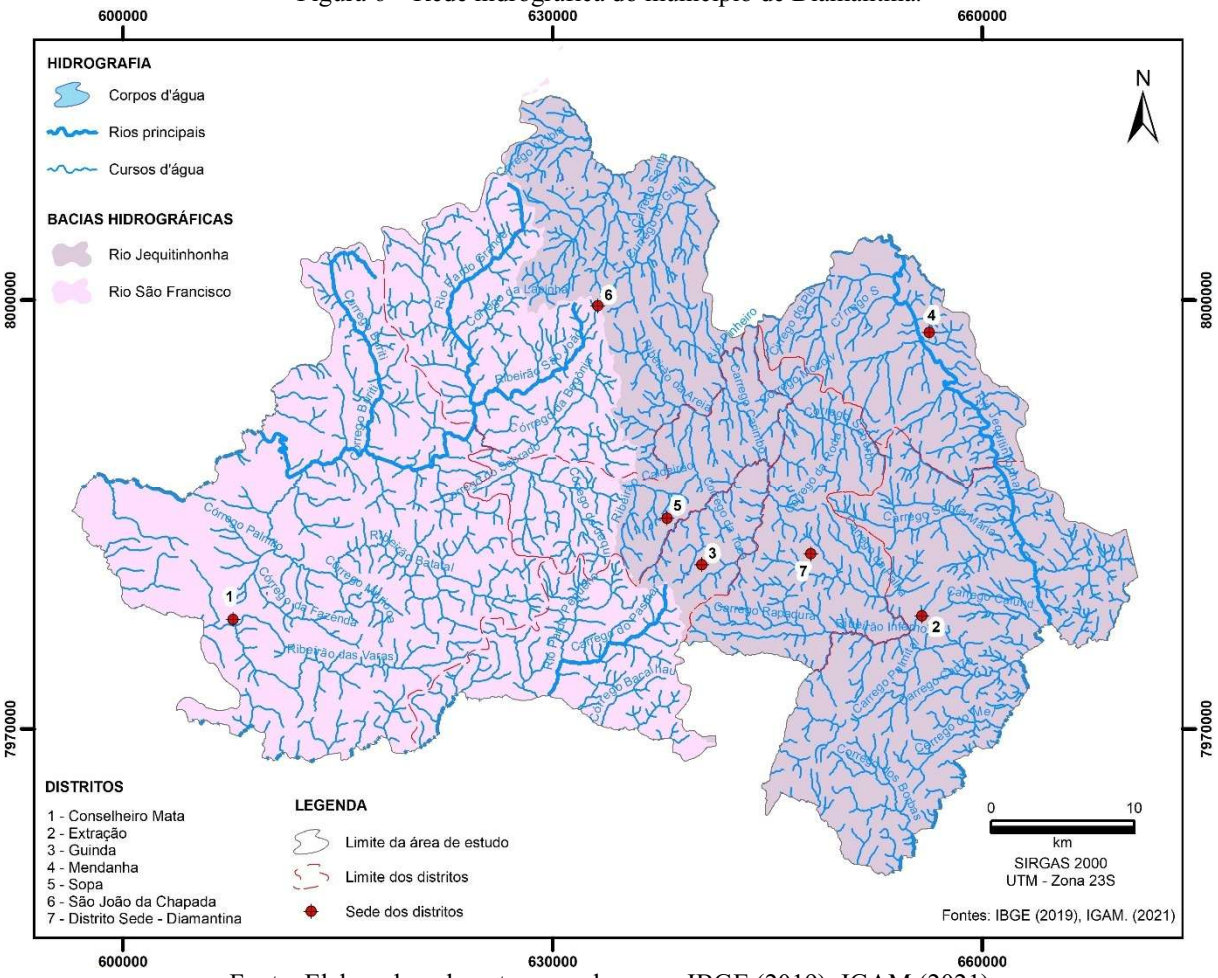
Latossolos vermelho-amarelos são solos profundos e normalmente bem drenados. Texturas argilosas e médias e ocorrem em relevo do plano ao forte ondulado (EMBRAPA, 2004). Apresentam cores avermelhadas devido aos teores muitos altos e natureza dos óxidos de ferro São porosos a muito porosos e suscetíveis a compactação, sobretudo nos de textura muito argilosa (EMBRAPA, 2011). Latossolos vermelhos apresentam cores vermelhas acentuadas devido aos teores muitos altos e a natureza dos óxidos de ferro. Ocorrem em ambientes bem drenados de relevo plano a suave ondulado. Os latossolos apresentam reduzida suscetibilidade erosiva (Guerra e Botelho, 1998).

Os argissolos são solos minerais com nítida diferença entre as camadas, reconhecidamente em campo especialmente pelo aumento, por vezes abrupto, nos teores de argila em profundidade (IAC-SP, 2006). São formados em relevos mais acidentados e dissecados com superfícies menos suaves. Tendem a ser muito suscetíveis aos processos erosivos devido a abrupta mudança textural presente nestes solos, que implica em diferenças de infiltração, favorecendo o escoamento superficial (Carvalho *et al.,* 2005). Entretanto, em texturas mais finas ou média e de menor relação textural são mais porosos, possuindo boa permeabilidade (Santos *et al.,* 2013). Também são solos com teores variáveis de cascalho blocos subangulares e angulares (EMBRAPA, 2011). Os argilossolos vermelho-amarelos apresentam solos de profundidades variadas, ocorrendo ocasionalmente solos rasos (EMBRAPA, 2002). Para IAC-SP (2006) esses solos são de pouca profundidade e apresentam cascalhos e calhaus em superfície, o que lhes conferem elevada suscetibilidade a erosão.

2.4 Clima e hidrografia

O município situa-se entre as bacias hidrográficas do Rio São Francisco e Jequitinhonha e tem como principais cursos d'água o Ribeirão São João, Córrego Buriti, Córrego do Pasmar, Rio Pardo Pequeno, Rio Pardo Grande e Rio Jequitinhonha (Figura 6).

Figura 6 – Rede hidrográfica do município de Diamantina.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em IBGE (2019); IGAM (2021).

O clima da região pode ser classificado como tropical, com período chuvoso entre outubro e março, com precipitações máximas registradas entre novembro e janeiro (Diamantina, 2009; INMET, 2021). Segundo IBGE (2002), em macroescala, Diamantina está inserida na zona climática Tropical do Brasil Central, transicionando entre o Mesotérmico Brando semi-úmido, com temperaturas médias que variam entre 10 e 15°C, e o Quente, com temperaturas superiores a 18°C.

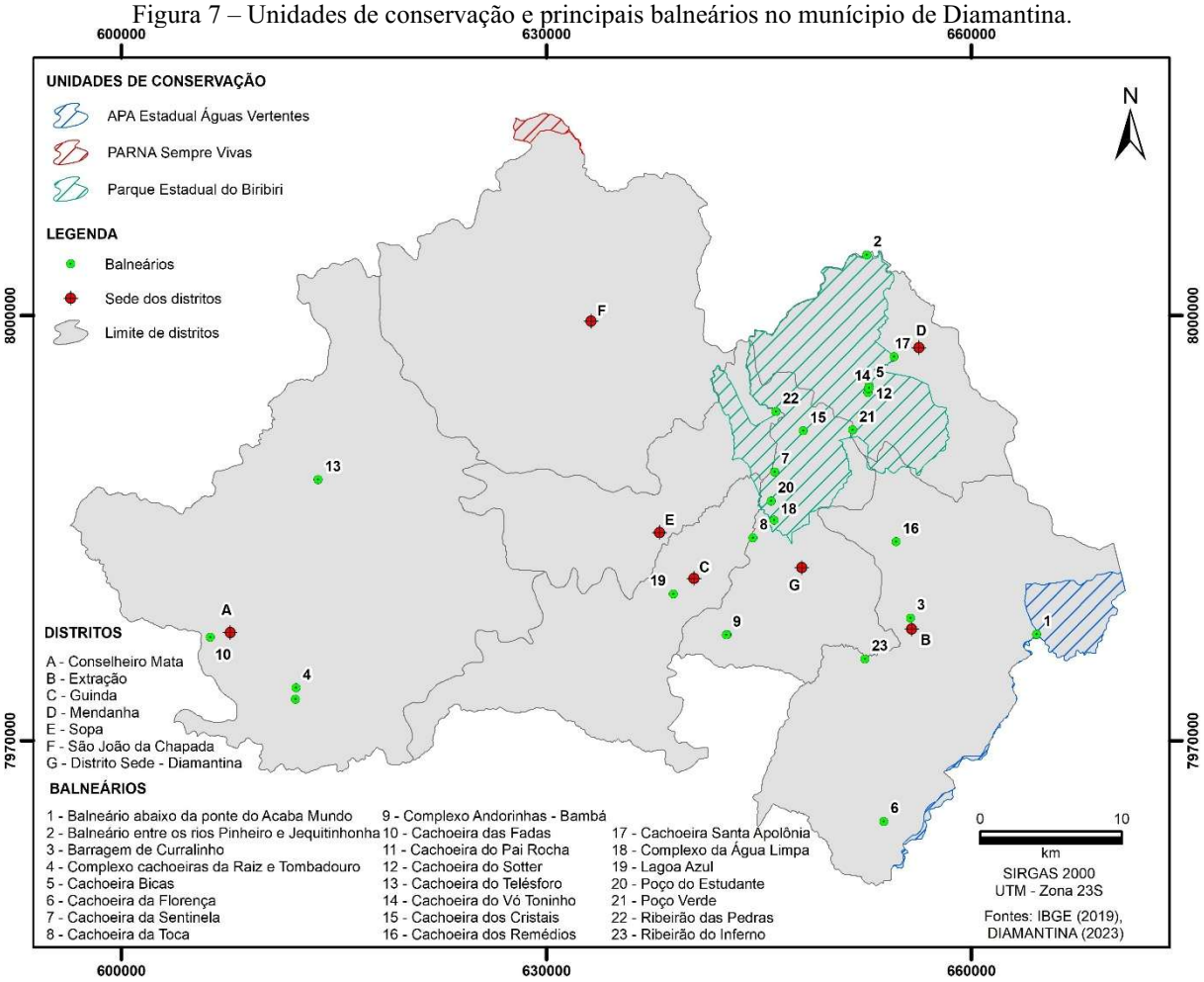
INMET (2021), baseado em dados coletados entre os anos 1991 e 2020, estima uma temperatura média anual variando entre 15,9°C a 20,6°C, com mínima registrada em julho e

máxima em fevereiro. Em relação ao regime de chuvas, a precipitação acumulada anual média corresponde a 1353,8 mm, mínima de 4,6 mm registrada em julho e máxima de 276,7 mm em dezembro.

2.5 Atrativos turísticos naturais

Diamantina conta com grande potencial turístico, seja do ponto de vista histórico ou de suas belezas naturais. Seu contexto regional, inserido na Serra do Espinhaço, é responsável por uma imensa diversidade de belas paisagens e atrativos, como cânions, lagos, rios e cachoeiras. Dessa forma, o município encontra em suas trilhas, parques e balneários a matéria prima necessária para o pleno desenvolvimento do seu potencial, no que tange o ecoturismo e turismo de aventura, que é considerado uma das ramificações mais importantes da atividade turística mundial (Diamantina, 2023). Existem três unidades de conservação, a Área de Preservação Ambiental das Águas Vertentes, o Parque Estadual do Biribiri (PEBi) e o Parque Nacional das Sempre Vivas (Figura 7). Os principais balneários que podem ser encontrados na região se situam no distrito Sede e em suas adjacências, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Unidades de conservação e principais balneários no munícipio de Diamantina.



Fontes: Elaborado pelo autor, com base em IBGE (2019); Diamantina (2023).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Processos geodinâmicos

Os processos que moldam a paisagem estão relacionados às forças atuantes na superfície terrestre, tais como gravidade e marés (Infanti Jr e Fornasari Filho, 1998), sendo a erosão o processo mais importante na modificação do relevo. Seus condicionantes compreendem fatores naturais, como a chuva, cobertura vegetal e fatores artificiais gerados pela influência humana.

A intensificação do intemperismo e erosão durante a evolução das paisagens de uma região, em conjunto com a atuação de outros fenômenos geodinâmicos, modifica constantemente as encostas, alterando também suas condições de estabilidade.

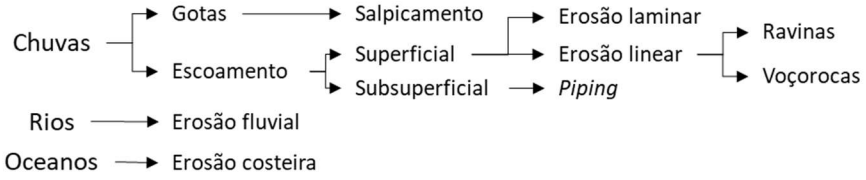
Os principais processos da dinâmica superficial que modificam as paisagens, além da erosão, são assoreamento, inundações, subsidências, colapsos e movimentos de massa (Infanti Jr e Fornasari Filho, 1998), sendo estes os mais frequentes no Brasil (Augusto Filho, 1995).

3.1.1 Erosão

A erosão pode ser definida como o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (IPT, 1986), sendo definidas como erosão hídrica, eólica e glacial, respectivamente.

A água o agente de maior atuação no planeta, sendo mais importante em climas tropicais, como no Brasil, onde os índices pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta. A erosão hídrica é causada pelas chuvas, rios e oceanos (Figura 8). Guerra (2007) salienta que em muitas dessas áreas, as chuvas concentram-se em certas estações do ano, agravando ainda mais a erosão.

Figura 8 – Agentes erosivos e processos erosivos correlatos.



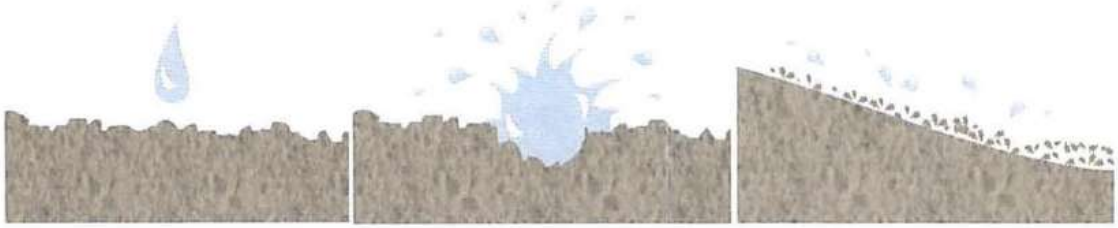
Fonte: Elaborado pelo autor.

A interferência humana pode aumentar a velocidade desses processos, bem como deflagrá-los. Sob essa ótica, dois tipos de erosão são considerados, a natural e a acelerada. A erosão natural ocorre lentamente, mantendo equilíbrio entre remoção de partículas e formação de solos. Por outro lado, a erosão acelerada pode resultar de condições naturais excepcionais e/ou pela influência das ações do homem, sendo também conhecida como erosão antrópica. Nesses casos, a intensidade de retirada de partículas é superior à de formação do solo, não permitindo sua recuperação natural e como resultado tem-se a degradação ambiental. Rotta e Zuquette (2015) ressaltam que, muitas vezes, não é possível distinguir e separar as feições quanto às suas causas.

A intensificação dos processos erosivos devido a ação humana, na maior parte das vezes relaciona-se a uma combinação de atividades, como agropecuária, obras civis, mineração, entre outras. A erosão, sobretudo acelerada, altera componentes ambientais, culminando em perdas econômicas e riscos socioambientais. Boardman (1999 *apud* Guerra *et al.,* 2007) aponta que a degradação dos solos atinge tanto as terras agrícolas como as áreas com vegetação natural e pode ser considerada um dos mais importantes problemas ambientais.

A chuva é o elemento do clima mais importante no processo da erosão (Pires e Souza, 2013). No início das chuvas, as gotas começam a bater nos solos, provocando ruptura de agregados e selando a camada superficial dos solos, posteriormente com a formação do escoamento superficial, tem-se o transporte das partículas desagregadas do solo. Guerra (2007) aponta a erosão por salpicamento ou efeito *splash* como o estágio mais inicial do processo erosivo, produzido pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo (Figura 9).

Figura 9 – Sequência das etapas do processo erosivo a partir do impacto das gotas de chuva no solo.



Fonte: Souza e Pires (2003).

O papel do *splash* varia com a resistência do solo ao impacto e com a energia cinética das gotas de chuva. Os agregados gerados podem preencher os poros da superfície dos solos, provocando a selagem e com a redução da porosidade o escoamento superficial aumenta. Rotta e Zuquette (2015) destacam como o mecanismo fundamental em vertentes de baixa inclinação e em áreas entre canais.

Um dos fatores que influenciam a erosão é a erosividade, que pode ser entendida como a capacidade da chuva em remover e transportar partículas dos solos. A erosividade pode ser determinada pelo total de precipitação, intensidade da chuva, o momento e a energia cinética. Guerra (2007) comenta que a maior parte dos autores têm utilizado a energia cinética, por concluírem que esse parâmetro é melhor para predizer a perda de solo. Quanto maior a energia cinética de uma chuva, maior será a probabilidade em causar a ruptura dos agregados.

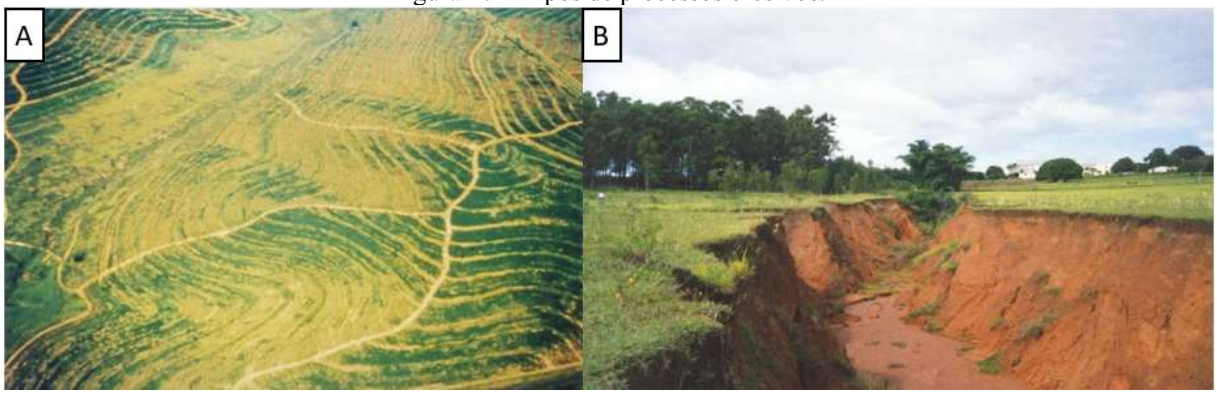
Após a ruptura dos agregados no topo do solo, crostas se formam e eventualmente causarão a selagem dos solos. Portanto, as taxas de infiltração reduzem e em consequência, a densidade aparente do solo e as taxas de escoamento superficial aumentam, podendo aumentar também a perda de solo. A formação dessas crostas é um dos mecanismos mais importantes que antecede o *runoff* (Farres, 1978). Com o aumento da infiltração o solo começa a saturar e poças se formam na superfície, possibilitando o início do escoamento superficial.

Com o desenvolvimento do escoamento superficial as partículas desagregadas pelo efeito *splash* são transportadas e aumentam o poder abrasivo devido a carga de sedimentos que o *runoff* mobiliza. Os dois tipos de erosão hídrica pluvial conhecidos, de acordo com a forma como ocorre o escoamento superficial, são a laminar e a linear.

No início do escoamento superficial o fluxo é difuso, ocorrendo um escoamento em lençol, também conhecido como fluxo laminar, provocando a erosão em lençol ou laminar (Figura 10ª). O fluxo laminar corresponde a um fluxo mais ou menos regular, que desce por uma superfície com poucas irregularidades. Nesse estágio a erosão ainda é incipiente e envolve apenas o transporte individual das partículas mais leves, desde que estejam soltas, sendo em geral pouco visível no início e, portanto, perigosa. Manifesta-se por ligeiras modificações na cor dos solos e pelo afloramento de raízes e rochas, enquanto o material mais fino, é carreado (Pires e Souza, 2013). Essa forma de erosão tem o potencial de provocar enormes perdas de solo. Durante esse estágio, há possibilidade de ocorrência de pequenas incisões no solo, sobretudo onde o fluxo de água começa a se concentrar, podendo dar início aos processos erosivos lineares (Figura 10B) (Guerra, 2007).

A erosão hídrica é condicionada por diversos fatores, tais como clima, erosividade, erodibilidade, substrato rochoso, cobertura vegetal e relevo. O clima e a erosividade já foram bastante discutidas neste texto, abordando a influência da precipitação no processo erosivo, do impacto das gotas de chuva e o poder abrasivo do fluxo concentrado do escoamento superficial.

Figura 10 – Tipos de processos erosivos.



Legenda: Erosão laminar (A); Erosão linear (B)
Fonte: Unesp (2005); IPT (2019).

A erodibilidade diz respeito a resistência apresentada por um solo em ser erodido, indicando seu potencial a erosão. Salienta-se que é uma característica intrínseca do solo, Bertoni e Lombardi Neto (1999) apontam que os atributos do solo que influenciam a erodibilidade do solo são aqueles que afetam a velocidade de infiltração, capacidade total de armazenamento de água, e resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento, ou seja, atributos relacionados à textura, estrutura, profundidade, densidade e características químicas, biológicas e mineralógicas dos solos. O teor de matéria orgânica, conjuntamente com outras propriedades dos solos, afeta diretamente a ruptura dos agregados. Guerra (2007) aponta que muitos estudos sobre 42rosividade indicam que à medida que o teor de matéria orgânica diminui a instabilidade dos agregados aumenta. Wischmeier e Mannering (1969) descobriram que o teor de matéria orgânico tem maior influência sobretudo em solo com maiores teores de silte.

A cobertura vegetal é um dos fatores mais importantes de defesa natural do solo contra a erosão (DAEE e IPT, 1989). A proteção oferecida aos terrenos pela cobertura vegetal incrementa a infiltração pela produção de poros no solo pela ação das raízes, reduzindo o escoamento superficial, dispersa a energia do *runoff,* aumenta a capacidade a retenção de água pela estruturação do solo e incorpora matéria orgânica, reduz o efeito do impacto direto das gotas de chuva.

Os fatores relacionados ao relevo que exercem influência sobre os processos erosivos estão associados, principalmente, a declividade dos terrenos, formas das encostas e ao comprimento das vertentes. Atuam conjuntamente e são determinantes no aumento ou redução da energia cinética do escoamento superficial (Pires e Souza, 2013). Declividades mais acentuadas favorecem a concentração e maiores velocidades de escoamento das águas, aumentando sua capacidade erosiva. Bertoni e Lombardi Neto (1999) afirmam que o volume e

a velocidade do escoamento superficial dependem diretamente da declividade das vertentes, aumentando em 50% a velocidade do fluxo e em 100% a capacidade erosiva, com o aumento do declive dos terrenos. A remoção de partículas é diferente de acordo com a extensão da encosta ou a forma da vertente. À medida que aumenta a distância percorrida pelo fluxo, há um acréscimo no volume de água e aumento progressivo na velocidade de escoamento. Dessa forma, quanto maior o comprimento da vertente, maior será o volume de água escoado e consequentemente aumento da energia cinética, resultando, portanto, em uma maior erosão (Bertoni e Lombardi Neto, 1999). Quanto à forma, encostas convexas promovem a divergência do *runoff,* favorecendo processos erosivos laminares. Já encostas côncavas tendem a favorecer erosão mais localizada, pela convergência do escoamento superficial para sua área central (Pires e Souza, 2013), dando origem a erosão linear.

Os processos erosivos lineares são causados pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em sulcos, ravinas e voçorocas ou boçorocas (Figura 11). Entretanto, deve-se salientar que em muitos casos a literatura trata como erosão linear somente ravinas e voçorocas. Guerra (2007) comenta que à medida que o fluxo se concentra em pequenas incisões, em pontos aleatórios da vertente, a profundidade dos sulcos gerados aumenta e a velocidade do escoamento diminui, devido ao aumento da rugosidade. Concomitantemente, há um incremento na carga de partículas carreadas, provocando forte atrito entre os sedimentos e o fundo desses canais, erodindo os canais que estão se formando.

Figura 11 – Feições erosivas lineares.



Legenda: Erosão em sulco (A); Ravina (B); Voçoroca (C).
Fontes: Pires e Souza (2013); IPT (2019).

Para Silva *et al.* (2003) a remoção de partículas promovida pela erosão em sulcos se dá de maneira pouco seletiva e a área afetada corresponde, em geral, a uma pequena parte da superfície. De acordo com PROIN/CAPES e UNESP/IGCE (1999 *apud* Santoro, 2009) são consideradas sulcos as incisões de até 0,5 m de profundidade e perpendiculares às curvas de nível, desenvolvem-se em áreas nas quais a erosão laminar é mais intensa. Essas feições diferem

de ravinas e voçorocas por serem facilmente eliminados por técnicas convencionais que envolvam a movimentação do solo por equipamentos mecânicos simples.

Com a progressão dos sulcos, o processo erosivo passa para um novo estágio evolutivo, com o surgimento das ravinas (Figura 12), quando o escoamento superficial erode o solo e atinge seus horizontes inferiores e, por vezes o substrato rochoso. São feições retilíneas, alongadas e estreitas na base e pouco mais largas no topo, apresentado perfil transversal em "V". Em geral, ocorrem entre eixos de drenagens, muitas vezes associadas a estradas, trilhas de gado e cercas.

Figura 12. Exemplos de ravinas.



Fontes: IPT (2019); IG.

As voçorocas (Figura 13) representam o estágio mais complexo das feições erosivas lineares, estando associado à aceleração dos processos erosivos, sendo possível sua associação com a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica ou até mesmo a outros elementos construídos que alterem a dinâmica do escoamento superficial (Rotta e Zuquette, 2015), assim como no caso das ravinas.

Em geral, são formadas pelo aprofundamento de ravinas até atingir o nível freático. Nesse cenário é gerado um desequilíbrio hidrogeológico que acelera a evolução do processo erosivo, tanto lateral quanto longitudinalmente, que passa a ser condicionada pelo escoamento superficial e a água subterrânea, desenvolvendo processos como erosão interna ou *piping*. Genericamente, as voçorocas são ramificadas e de grande profundidade, caracterizando-se como canais de paredes íngremes e irregulares, e perfil transversal em "U". Rotta e Zuquette

(2015) salienta o potencial de gerar e permitir o transporte de grandes quantidades de sedimentos. Por serem feições erosivas mais complexas e destrutivas, são de difícil controle.

Figura 13 – Exemplos de voçorocas.



Fonte: IPT (2019).

O *piping* (Figura 14), um dos principais mecanismos relacionados ao desenvolvimento de voçorocas, provoca a remoção das partículas do interior do solo ou maciço, formando canais que evoluem em sentido contrário ao fluxo de água, podendo dar origem a colapsos do terreno e taludes.

Figura 14 – Exemplos de *piping* ou entubamento na cabeceira de voçorocas.



Fontes: IPT (2019).

A erosão fluvial (Figura 15) é causada pelas águas que fluem nos rios e cursos d'água. Apresenta grande potencial de remoção de partículas, devido a velocidade do fluxo e também pela carga de sedimentos presente, aumento assim a capacidade erosiva. Os rios escavam seu leito, deixando-o mais profundos, e erodem suas margens, intensificando os processos de assoreamento e alargando o leito das bacias de drenagem. Com a retirada da vegetação marginal, a erosão pode sofrer incrementos consideráveis. Geralmente, erodem o leito do rio nas regiões de maior velocidade e depositam sedimentos nas áreas de menor velocidade.

Figura 15 – Exemplos de erosão fluvial.



Fontes: Jonas Santos; o autor.

3.1.2 Assoreamento

O assoreamento corresponde ao acúmulo de sedimentos em meio aquoso, quando a força do agente de transporte é sobrepujada pela força gravitacional (Infanti Jr e Fornasari Filho, 1998). O material sedimentar, de modo geral, é oriundo das partículas carreadas pelo vento, escoamento superficial das águas ou erodido das margens de corpos d'água, como rios. Esse processo pode ser intensificado por atividades antrópicas, decorrendo no aumento da erosão pluvial.

3.1.3 Inundação

Inundações, segundo Infanti Jr & Filho (1998), são episódios de extravasamento das águas de um curso d'água em suas áreas marginais. Resultam do aumento de vazão a ser escoada, de modo que ultrapasse a capacidade de descarga da calha. Estes eventos estão diretamente associados ao aumento de chuvas e se intensificam por assoreamento e a impermeabilização dos terrenos, devido ao processo de urbanização, por meio de coberturas asfálticas e construções da infraestrutura urbana.

3.1.4 Subsidência e colapso

Infanti Jr & Filho (1998) descrevem os processos de deformação ou deslocamentos de direção vertical descendente, como subsidências e colapsos. Estes fenômenos provocam abatimentos dos terrenos (Figura 16), sendo diferenciados entre si pela velocidade na qual se manifestam. Os primeiros ocorrem mais lentamente, ao passo que os outros se caracterizam

pelo movimento brusco da superfície do terreno (Nakazawa *et al.,* 1995). A acomodação devido ao próprio peso das camadas e a evolução de cavidades no subsolo estão entre causas de seu desenvolvimento. A intervenção humana pode acelerar a subsidência de terrenos em decorrência do bombeamento de águas subterrâneas, recalques por acréscimo de peso, devido a obras e estruturas, além atividades de mineração em profundidade.

Figura 16 – Dolina gerada por colapso de solo.



Fonte: Prefeitura de Coromandel (2017).

3.1.5 Movimentos de massa

Os processos relacionados a deslocamentos descendentes de solos e rochas em vertentes, por ação gravitacional, são descritos por Patton e Hendron Jr. (1974 *apud* Parizzi, 2004) como movimentos de massa. Outros meios, como a água, podem contribuir com o desenvolvimento do fenômeno por meio da redução da resistência dos materiais que compõem as encostas e/ou pela indução de um comportamento plástico e fluido dos solos (Tominaga *et al.,* 2015).

Existem inúmeras classificações de movimentos de massa. Estas se baseiam na cinemática do movimento, tipo do material mobilizado e a geometria (Augusto Filho, 1995). Os principais tipos de movimentos gravitacionais, segundo Augusto Filho (1992 *apud* Infanti Jr & Filho, *1998;* Augusto Filho, 1995; Tominaga *et al.,* 2015) são rastejo, deslizamento, movimento de blocos e corridas (Quadro 1). Contudo, Fernandes e Amaral (1996 *apud* Tominaga *et al.,* 2015) comentam que qualquer sistema de classificação apresenta limitações, visto que os mecanismos de ruptura tendem a ser mais complexos.

Quadro 1 – Características dos principais tipos de movimentos de massa associados a encostas.

PROCESSOS	*DINÂMICA/GEOMETRIA/MATERIAL*
RASTEJOS (CREEP)	▪ Vários planos de deslocamentos (internos); ▪ Velocidades muito baixas (cm/ano) e baixas e decrescentes com a profundidade; ▪ Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; ▪ Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; ▪ Geometria indefinida.
DESLIZAMENTOS (SLUMPS)	▪ Poucos planos de deslocamento (externos) ▪ Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) ▪ Pequenos a grandes volumes de material ▪ Geometria e materiais variáveis ▫ Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; ▫ Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muita fraturadas; ▫ Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.
QUEDAS (FALLS)	▪ Sem planos de deslocamento; ▪ Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado; ▪ Velocidades muito altas (vários m/s); ▪ Material rochoso; ▪ Pequenos a médios volumes; ▪ Geometria variável: lasca, placas, blocos, etc; ▪ Rolamento de matacão; ▪ Tombamento
CORRIDAS (FLOWS)	▪ Muitas superfícies de deslocamento; ▪ Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; ▪ Desenvolmento ao longo das drenagens; ▪ Velocidades médias a altas; ▪ Mobilização de solo, rocha, detritos e água; ▪ Grandes volumes de material; ▪ Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fontes: Augusto Filho (1992 *apud* Augusto Filho, 1995); Infanti Jr e Filho (1998); Tominaga *et al.* (2015).

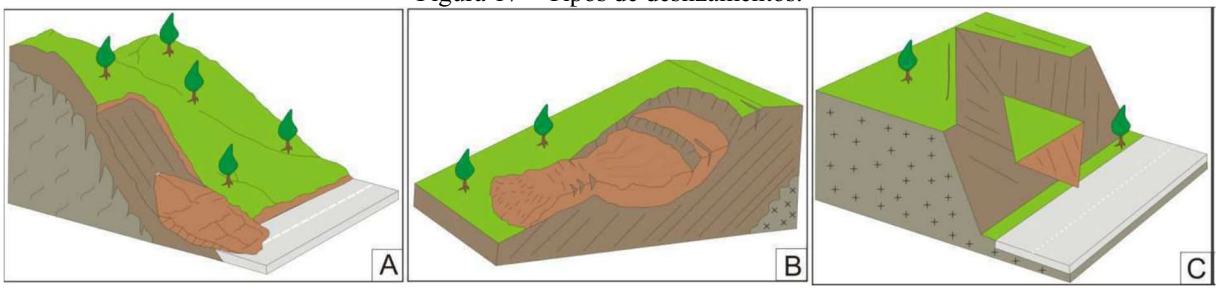
Os rastejos podem ser definidos como movimentos descendentes, lentos e contínuos. Correspondem a uma deformação plástica, cujas geometria e superfície de ruptura não são bem definidas, afetando desde solos a rochas fraturadas (Infanti Jr. E Filho, 1998). Dessa forma, não há uma diferenciação visível entre o material mobilizado e o estacionário (Tominaga *et al.,* 2015). De modo geral, as evidências de sua evolução correspondem a indícios indiretos, como mudança da verticalidade árvores, muros, cercas e postes (Amaral e Gutjahr, 2015).

Os deslizamentos ou escorregamentos são caracterizados pela movimentação de rocha e/ou solo que ocorre de forma rápida, sendo deflagrados a partir de um plano de ruptura definido. Destaca-se o movimento do material para baixo e para fora da vertente (Tominaga *et al.,* 2015). Ocorrem por aumento das pressões atuantes ou queda de resistência, em períodos

relativamente curtos, ou ainda pela combinação desses mecanismos, fazendo com que o processo seja deflagrado quando a força gravitacional supera o atrito interno das partículas (Infanti Jr. E Filho, 1998; Tominaga *et al.,* 2015).

Os escorregamentos são, em geral, classificados com base na morfologia da superfície de movimentação e também no tipo de material movimentado (Fernandes e Amaral, 1996 *apud* Nery, 2011). Os três principais tipos de escorregamentos são os translacionais, rotacionais e em cunha (Figura 17) (Infanti Jr. E Filho, 1998).

Figura 17 – Tipos de deslizamentos.



Legenda: (A) Translacional ou planar (B) Rotacional ou circular (C) Em cunha.
Fonte: modificado de Infanti Jr. & Filho (1998 *apud* Reis Junior, 2016).

Os deslizamentos planares ou translacionais (Figura 17A) são condicionados por descontinuidades planares, representadas por heterogeneidades nos solos e rochas, sendo os mais frequentes de movimentos de massa (Tominga *et al*., 2015).

Os deslizamentos circulares ou rotacionais (Figura 17B) são deslocamentos de massas que se desenvolvem sobre superfícies de deslizamento curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas (Infanti Jr. E Filho, 1998). Para sua ocorrência subsistem condições como solos homogêneos e espessos, mobilizando geralmente o manto de alteração.

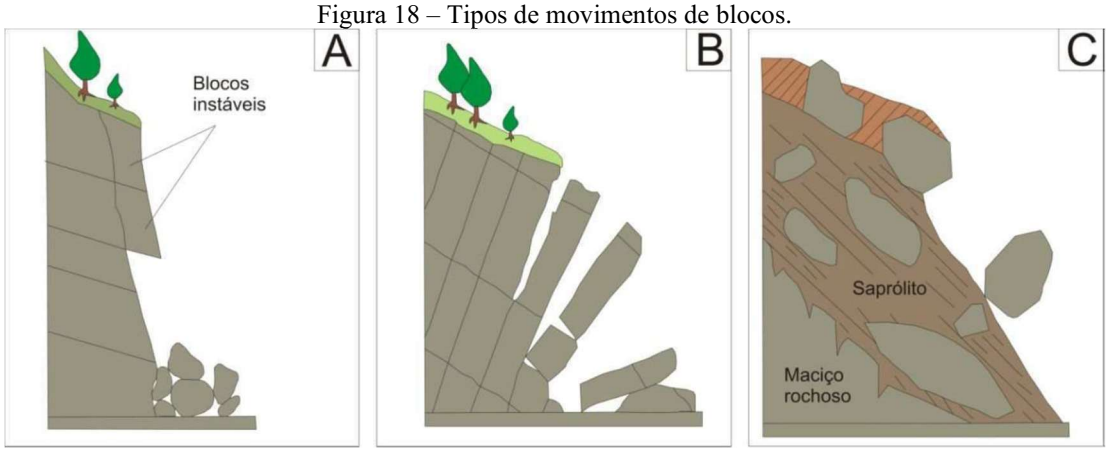
Os deslizamentos em cunha (Figura 17C) são típicos de maciços rochosos e são mais restritos às regiões, cujo relevo é fortemente controlado por estruturas geológicas (Tominaga *et al.,* 2015). Segundo Infantil Jr. & Filho (1998), é deflagrado quando da existência de duas ou mais descontinuidades planas que se interceptam e condicionam a movimentação de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos.

Silva (2009) comenta que os ditos movimentos complexos são mais comuns que qualquer tipo individual de movimento, uma vez que podem ocorrer escorregamentos a partir da combinação de dois ou mais diferentes tipos de deslizamentos.

O deslocamento gravitacional de blocos rochosos é considerado como movimentos de blocos. Estes podem ser classificados com base na característica da ruptura e movimento do

bloco rochoso. Dessa forma, identificam-se as quedas (desprendimento e movimentação em queda livre a partir de encostas muito íngremes), tombamentos (rotação de blocos, devido a descontinuidades com elevado mergulho), rolamentos (deslocamento de bloco ao longo de encostas inclinadas), representados na Figura 18, e desplacamentos (liberação de placas de rochas a partir de estruturas planares, como xistosidade, devido a variações de temperatura ou alívio de pressão).

Figura 18 – Tipos de movimentos de blocos.



Legenda: (A) Quedas (B) Tombamentos (C) Rolamentos.
Fonte: modificado Infanti Jr. & Filho (1998 *apud* Reis Junior, 2016).

As corridas podem ser consideradas formas de escoamento essencialmente hidrodinâmico, causadas pela perda de atrito interno das partículas do solo, devido a excesso de água (Tominaga *et al.,* 2015). A movimentação tem velocidades médias a altas e o fluxo é caracterizado por grande volume de material mobilizado, tendo extenso alcance, mesmo em áreas de baixa declividade e elevado poder destrutivo (Amaral e Gutjahr, 2015). As características do material transportado definem a classificação das corridas. Infanti Jr. & Filho (1998) descrevem três tipos de fluxos: corridas de lama, de terra e de detritos. A mobilização de solo com grande conteúdo de água é denominada corrida de lama (*mud flow*), caso esse material apresente pequenas quantidades de água, pode ser classificado como corridas de terra (*50arth flow).* Contudo, se o material remobilizado se caracterizar por clastos grosseiros e com grande variedade granulométrica sua denominação será corrida de detritos (*debris flow*).

As instabilizações de encostas são controladas por inúmeros eventos que envolvem toda a evolução geológica e geomorfológica de uma área (Augusto Filho e Virgili, 1998). Para Guidicini e Nieble (1976), a causa de um movimento de massa é o modo pelo qual atua determinado agente. Dessa forma, pode-se afirmar que a causa é a expressão de um agente. O quadro 2 sumariza as causas e agentes de movimentos de massa.

Quadro 2 – Agentes e causas de movimentos de massa.

Agentes	Predisponentes	Complexo geológico, morfológico e climático-hidrológico; gravidade, calor solar, vegetação.	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem.
Causas	Internas	Efeito das oscilações térmicas; diminuição dos parâmetros de resistência por intemperismo.	
	Intermediárias	Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas; elevação da coluna d'água em descontinuidade; rebaixamento rápido do lençol freático; erosão subterrânea retrogressiva (piping); diminuição do efeito da coesão aparente.	
	Externas	Mudanças na geometria do sistema; efeitos de vibrações; mudanças naturais na inclinação das camadas.	

Fonte: Guidicini e Nieble (1976).

Os agentes predisponentes estão relacionados às características naturais intrínsecas dos terrenos, já os efetivos relacionam-se diretamente à deflagração de movimentos de massa. Estes podem ser subdivididos como preparatórios e imediatos, a partir da forma de atuação destes antes da ruptura (Guidicini e Nieble, 1976). Já as causas podem ser classificadas como internas, intermediárias e externas. Tal sistematização está baseada na natureza da instabilização das encostas.

3.2 Conceitos básicos utilizados em gestão de riscos naturais

Os processos geodinâmicos, como os supracitados, estão relacionados à evolução natural da superfície terrestre, contudo, sua deflagração pode ser induzida pela ação antrópica, de modo, que sua ocorrência pode afetar diretamente o homem e suas atividades. Esses fenômenos geológicos podem ser classificados com base no registro de consequências sociais e econômicas quando de sua deflagração. São considerados acidentes aqueles processos nos quais registram-se perdas e danos na área afetada, caso contrário, serão tratados como eventos.

A possibilidade de ocorrência de um algum fenômeno geodinâmico em determinada área, sem que haja o registro de perdas, pode ser considerada como suscetibilidade. Em outras

palavras, trata-se da probabilidade de se registrar um evento geológico (Cerri e Amaral, 1998). Dessa forma, corresponde a avaliação quantitativa ou qualitativa da tipologia, volume e distribuição espacial de processos geodinâmicos que potencialmente podem ser deflagrados em uma região, sem que seja levado em conta, nesta análise, um período de tempo ou frequência (Macedo e Bressani, 2013).

Uma condição potencial ou a possibilidade de ocorrência de um fenômeno natural causar uma consequência danosa dentro de um certo período de tempo é considerada perigo (Macedo e Bressani, 2013*;* Tominaga *et al*., 2015). Este conceito é um dos elementos essenciais na definição de risco (Tominaga *et al*., 2015). UM-ISDR (2004) classifica os riscos quanto à sua origem: geológicos, hidrometeorológicos e biológicos.

Risco pode ser considerado como uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso em decorrência do registro de um processo geológico (Macedo e Bressani, 2013). Em outras palavras, segundo Tominaga *et al.* (2015), o risco é um perigo calculável. Sendo que um risco existirá quando existir um perigo e um elemento ou sistema socioeconômico que pode ser afetado. UM-ISDR (2009) sintetiza o termo como "a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento e suas consequências negativas", a partir da definição adotado por UM-ISDR (2004) que conceitua risco como a probabilidade de consequências prejudiciais ou, ainda, perdas esperadas, como mortes, feridos e danos às propriedades e meios de subsistência, oriundos das interações de perigos naturais ou induzidos por atividade antrópica e a vulnerabilidade, que corresponde as condições geradas por fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a suscetibilidade da comunidade aos impactos dos perigos. Tominaga *et al.* (2015) comentam que a vulnerabilidade contempla tanto aspectos físicos, como resistência das construções e proteções de infraestrutura, quando fatores humanos de diversas ordens, como econômicos, sociais, políticos, técnicos, culturais educacionais e institucionais.

Embora existam várias proposições a respeito de como se mensurar o risco, de uma forma ampla, pode-se dizer que risco é função do perigo, vulnerabilidade e dano potencial.

3.3 Cartografia geotécnica

3.3.1 Histórico

Um mapa geotécnico pode ser entendido como um tipo de mapa geológico que fornece uma representação de todos os componentes do meio físico de relevância significativa para o

planejamento do uso do solo, bem como a elaboração e execução de projetos aplicados a engenharia civil e de minas (IAEG, 1976).

Dearman (1991) lembra que a utilização de informações geológicas em intervenções de engenharia tem uma longa história, mesmo tendo adquirido um certo grau de sofisticação somente a partir da década de 1970. O autor relata a descrição detalhada de um maciço rochoso, realizada pelo engenheiro John Smeaton, em 1756, para obtenção de informações para construção de um farol em Plymouth. Também comenta sobre a preocupação de se registrar detalhes geológicos das condições dos solos encontradas em grandes obras de engenharia, como a construção de barragens de água no século XIX. Nesse contexto, Zuquette e Nakazama (1998) e Zuquette e Gandolfi (2004) ainda citam o exemplo da publicação pelo Serviço Geológico dos EUA, em 1902, de um relato geológico com a finalidade de um planejamento urbano para a cidade de Nova Iorque.

Zuquette e Gandolfi (2004) comentam que a importância das informações do meio físico vinha sendo discutida desde o século XIX, porém, uma das questões sempre presentes estava relacionada a melhor maneira de representar suas variações quanto aos componentes e em espaço tridimensional.

Peter (1966 *apud* Dearman, 1991; Zuquette e Gandolfi, 2004) em sua revisão sobre o desenvolvimento de mapas, relata a apresentação dos primeiros documentos gráficos em Leipzig, Alemanha, em 1913, que relacionavam tanto a estrutura de engenharia quanto as condições de fundação. Os planos geotécnicos foram feitos para as cidades de Erfurt, Frankfurt e Danzing, com o objetivo de orientar construções nestas cidades. Esses produtos cartográficos utilizaram padrões de cores e símbolos para evidenciar áreas propensas a inundações.

Zuquette e Gandolfi (2004) salientam que os trabalhos apresentados a partir de 1913 têm em comum ações que incluem aquisição, avaliação, análise e classificação de dados do meio físico de interesse direto para variados usos, seja para engenharia, planejamento ou ainda meio ambiente.

Pejon e Ferreira (2015) analisam que a maior preocupação, até a década de 1950, era com a forma de representação gráfica e o tipo de informação que os produtos cartográficos deveriam conter. Somente, a partir de então, uma fase de maior consideração ao desenvolvimento metodológico se inicia.

Dearman (1991) cita diversos trabalhos relevantes no desenvolvimento da cartografia geotécnica na Europa, como Moldenhauer (1919), Stremme (1932), Muller (1938), Zebera (1947), Gwinner (1956). Zuquette & Gandolfi (2004) acrescentam à lista trabalhos como Groschopf (1951), Benz (1951), o sistema de Graupner e Wawser *et al.* (1956).

São diversas as metodologias propostas para o mapeamento geotécnico. A metodologia proposta por IAEG (1976) foi resultado de uma comissão criada pela Unesco, com o intuito de sugerir procedimentos metodológicos para a elaboração de mapas geotécnicos. Segundo o documento, devem ser representadas nesses produtos cartográficos as características de solos e rochas, condições hidrogeológicas e geomorfológicas, além de informações relacionadas a dinâmica de processos superficiais. Para 54plica-la é necessária a compatibilização de um determinado número de informações com as exigências da metodologia, bem como estipular a escala e o tipo de documento desejado, ordenar os componentes do meio físico, feições e atributos que sejam relevantes e definir como obter estes atributos e suas classes (Canil *et ale.* 2018).

Para Zuquette (1981 *apud* Wolki, 1997) sua aplicabilidade é reduzida em países pouco desenvolvidos e com carência de dados. O autor ainda salienta que é mais viável para finalidades específicas, tais como barragens e túneis, do que propriamente para a geologia ambiental. Tominaga (2007) ressalta que essa metodologia propõe uma ampla classificação dos mapas quanto à finalidade, ao conteúdo, à escala e à litogênese, sendo por isso adotada por muitos pesquisadores que trabalham com mapeamento geotécnico, inclusive no Brasil.

Vários países desenvolveram metodologias próprias que, posteriormente, se transformaram em base para outras técnicas. Zuquette e Gandolfi (2004) destacam a antiga Tchecoslováquia, França, Canadá, Suíça, Espanha e Estados Unidos. Estes autores consideram que um dos países mais representativos na contribuição ao desenvolvimento do mapeamento geotécnico foi a antiga Tchecoslováquia. Os trabalhos tiveram início com Zebera (1947), cuja característica básica foi a representação dos materiais geológicos pelo sistema de bandas, em termos da profundidade e não da espessura das camadas, sendo pioneiro na representação da terceira dimensão, e ainda é muito usado na atualidade, após modificações feitas por Pasek (1968) (Zuquette e Gandolfi, 2004).

Destacam-se ainda, em um panorama internacional, metodologias apresentadas por Grant (1970), Sanejouand (1972), Chazan (1974), Aitchson e Grant (1976), Dearman e Matula (1976), Humbert (1977), Antonie (1977) Dearman e Eyles (1982) e Burnett e Styles (1982) (Zuquette e Gandolfi, 2004; Canil *et al.,* 2018).

Andrade (2005) aponta a necessidade de adequação de procedimentos à realidade de cada país. Nesse contexto, foram desenvolvidas diversas metodologias, sobretudo na Europa. Segundo o mesmo autor, no Brasil, duas correntes de trabalho exerceram grande influência, a de língua francesa e a dos países de língua inglesa, induzindo as denominações de cartografia geotécnica e mapeamento geotécnico, respectivamente. Mesmo com as devidas adaptações os

trabalhos de mapeamento geotécnico, que até 1987 seguiram os procedimentos metodológicos estrangeiros, não conseguiram atender às condições ambientais brasileiras.

Zuquette (1987) apresenta uma metodologia proposta para as condições brasileiras, privilegiando meios alternativos de obtenção de informações do meio físico mais adequados às condições socioeconômicas, à extensão territorial e a baixa densidade de informações pré-existentes. Contudo, foca na manutenção da qualidade das informações (ANDRADE 2005).

Tominaga *et al*. (2004), Andrade (2005) e Tominaga (2007) comentam que os trabalhos de mapeamento geotécnico brasileiro, em geral, estão relacionados aos núcleos de pesquisa em geotecnia ou de geologia de engenharia das universidades. Destaca-se neste contexto a Escola de Engenharia de São Carlos – USP, com diversos trabalhos realizados nas regiões de São Carlos, Rio Claro, Piracicaba, Campinas, Araraquara, Araras, Pirassununga e Lindóia; UFOP, UFRJ, UNESP, UNB e UFV, dentre outras. Institutos de pesquisas também vêm atuando nessa linha, como o IPT em São Paulo, a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC em Minas Gerais, a Minerais do Paraná S/A – MINEROPAR no Estado do Paraná, a Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM e o Instituto Geológico (IG) em São Paulo. Sobreira & Souza (2012) comentam que com o desenvolvimento tecnológico e, consequente, criação da cartografia digital e sistemas de informações geográficas, nos últimos anos, tornou-se mais rápida a elaboração de produtos cartográficos, facilitando a integração e atualização destes, bem como a reprodução de cartas e mapas em diversas escalas e a custos baixos.

Em âmbito nacional as metodologias que apresentam registros consideráveis de trabalhos executados, segundo Zaine (2000), são as metodologias utilizadas pela EESC-USP (Zuquette, 1987; Zuquette, 1993) e pelo IPT (Nakazawa *et al.,* 1991 e Prandini *et al.,* 1995 *apud* Zaine, 2000; Tominaga, 2007). A primeira é caracterizada por uma abordagem analítica, ao passo que a segunda se caracteriza como uma abordagem sintética (Abreu e Augusto Filho, 2009).

3.3.2 Conceitos básicos

Os termos cartografia e mapeamento geotécnico são muitas vezes utilizados de maneira indistinta. Zuquette e Nakazawa (1998) comentam sobre a origem de tais denominações, bem como a influência das correntes metodológicas de línguas inglesa e francesa como balizadoras destas atividades no Brasil. Os autores ressaltam, ainda, a existência de diversas outras denominações.

O mapeamento geotécnico pode ser entendido como o processo que visa levantar, caracterizar, classificar, avaliar e analisar os diversos atributos do meio físico, como geologia, hidrogeologia, hidrologia, entre outros, em termos de suas características de interesse a implementação de formas de ocupação (Zuquette, 1987; Zuquette e Gandolfi, 1992; Zuquette e Nakazawa, 1998). Os produtos gerados são mapas geotécnicos e cartas geotécnicas, cuja diferença se encontra na precisão dos dados medidos ou ainda na interpretação dos dados representados. Mapas geotécnicos são documentos menos rigorosos, contendo informações dos atributos do meio físico sem análises interpretativas, já as cartas geotécnicas são consideradas documentos cartográficos que apresentam os resultados de uma análise e geralmente são mais utilizadas para o ambiente urbano (Oliveira, 1983; Vedovello, 1993; Zuquette, 1993; Zuquette e Nakazawa, 1998).

A distinção entre mapeamento e cartografia geotécnica baseia-se no entendimento que o mapeamento geotécnico consiste em todo o processo de aquisição de informações para a elaboração de uma carta geotécnica e a cartografia geotécnica compreende a representação gráfica dos produtos do mapeamento (Wolski, 1997; Wolski *et al.,* 1998).

Cerri (1990) considera que as cartas geotécnicas podem ser reunidas em três grupos: cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e de risco. As denominadas cartas geotécnicas clássicas são documentos cartográficos mais genéricos e expõem limitações e potencialidades do terreno frente a sua utilização. As cartas de suscetibilidade representam a relação entre os diversos atributos do meio físico e a deflagração de processos geodinâmicos. Já as cartas de risco evidenciam a relação entre as cartas de suscetibilidade e as possíveis consequências sociais e econômicas oriundas da ocorrência de fenômenos da dinâmica superficial.

Para Bittar *et al.* (1992), com enfoque na utilização urbana dos solos, podem ser designadas como cartas geotécnicas dirigidas, convencionais, de suscetibilidade e cartas de risco geológico. Os dois primeiros tipos se diferenciam por um aspecto interpretativo, sendo que as cartas geotécnicas dirigidas além de expor as limitações e potencialidades de terrenos, também indicam diretrizes de expansão da ocupação urbana e sugere possíveis soluções para os problemas, enquanto as cartas geotécnicas convencionais, apresentam somente a distribuição geográfica dos atributos do meio físico e parâmetros geológico-geotécnicos dos terrenos, sem analisar as interações existentes entre o meio físico e o uso do solo. Prandini *et al.* (1995) reconhecem tais produtos cartográficos, como cartas geotécnicas propriamente ditas e cartas de atributos ou parâmetros, respectivamente.

Sobreira e Souza (2012) sintetizam que:

> "As cartas geotécnicas são os produtos cartográficos que retratam a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos, considerando suas características mecânicas e hidráulicas no contexto do meio físico com intuito de se definir as limitações, potencialidades e necessidades de intervenções para a consolidação do uso urbano e rural".

Zuquette (1993) sumariza, de acordo com Pejon (1992), que o mapeamento geotécnico deve estar estruturado, obedecendo a uma lógica científica, por meio da combinação de três métodos (dedutivo, indutivo e experimental), como defendido por Vargas (1985 *apud* Zuquette, 1993), em três fases sequenciais. A fase dedutiva consiste na esquematização do problema a ser investigado, a definição de uma hipótese de trabalho ou conjectura. Ou seja, para o mapeamento geotécnico, devem ser definidos os atributos do meio físico que serão analisados, de acordo com sua importância, considerando sua interrelação com outros atributos, bem como a finalidade do estudo. A fase seguinte deve ser indutiva e criativa, na qual elabora-se a teoria por meio de hipóteses indutivas. Dessa forma, para o mapeamento geotécnico, é nesta fase que ocorre a divisão da área em unidades de acordo com as propriedades e relações entre os atributos escolhidos, em um processo classificatório. Zuquette (1993) salienta, ainda, que este pode ser considerado o princípio básico do zoneamento geotécnico geral, amplamente utilizado em vários países do mundo. Na última etapa são utilizados os métodos experimentais, na qual as hipóteses devem ser comprovadas. No tocante do mapeamento geotécnico, as zonas delimitadas na etapa anterior devem ser confirmadas por meio de ensaios envolvendo, quando necessário, métodos estatísticos.

Os produtos cartográficos gerados dependem da metodologia utilizada. Zuquette e Gandolfi (2004) comentam que para que uma metodologia seja eficiente os atributos considerados, sua heterogeneidade e classificação devem estar compatíveis com a escala estabelecida, ordem de obtenção das informações do meio físico, procedimentos de amostragem, critérios de estabelecimento do nível de generalização das informações, bem como sua representação.

3.3.3 Tipos de documentos cartográficos

Zuquette e Gandolfi (2004) consideram o processo de hierarquização de documentos cartográficos relevante no mapeamento geotécnico, pois requer a definição de tipos de documentos e uma ordem de elaboração, permitindo dessa forma, a obtenção de mapas e cartas em uma sequência lógica, cuja finalidade consiste no detalhamento das informações.

Zuquette (1987; 1993) propõe que no processo de mapeamento geotécnico se elabore uma sequência hierarquizada de mapas e cartas. Podem ser identificados oito níveis de documentos cartográficos (Zuquette 1993; Zuquette e Gandolfi, 2004):

- Nível 1 – Fundamental básico: documenta as características dos diversos componentes dos meios físico, biológico e antrópico.
- Nível 2 – Fundamental de síntese: sintetiza as informações de uma área sem uma análise para finalidade específica, reunindo em um único mapa os atributos geotécnicos de uma região.
- Nível 3 – Carta derivada e interpretativa: resulta de uma análise específica da qual as unidades delimitadas são classificadas quanto ao comportamento de cada atributo diante determinado cenário de uso, como mapas de zoneamento especiais, ou ainda, cartas de aptidão.
- Nível 4 – Carta analítica básica: baseada na análise das informações dos componentes básicos de um meio, permitindo a avaliação da probabilidade de ocorrência de um ou mais processos naturais.
- Nível 5 – Carta de prognósticos de risco, de problemas e de limitações: reflete a interação entre as características dos componentes do meio ambiente, retratando as condições de determinada região frente à ocorrência de acidentes.
- Nível 6 – Carta de procedimento: leva em conta a ocupação e o controle dos riscos, associando dados descritivos e numéricos, de forma que tal produto cartográfico subsidie a tomada de decisões.
- Nível 7 – Carta de visibilidade potencial para os usuários: tem como base todas as informações do meio ambiente, fatores antrópicos e socioeconômicos, ou seja, são geradas com base em diferentes cartas de procedimentos e documentos de outros níveis hierárquicos anteriores, tendo como finalidade a orientação de um específico vetor de ocupação.
- Nível 8 – Carta de orientações conclusivas: baseia-se em documentos das fases anteriores e estudo das demandas futuras, como ocupação urbana, assim como em análises que subsidiem decisões que considerem custo/benefício e devem conter informação conclusivas sobre os objetos em análise.

A produção dos documentos cartográficos classificados em cada uma das oito classes hierárquicas sempre demanda informações das classes anteriores, o quadro 3 relaciona alguns mapas e cartas referentes ao meio físico, biológico e socioeconômicos.

Quadro 3 – Classificação hierárquica e correspondentes documentos cartográficos.

Nível hierárquico	Meio físico	Meio biológico	Meio socioeconômico
I	Mapa de subtrato rochoso Mapa de feições do terreno Carta de declividade Mapa de bacias hidrográficas Mapa de relevo Mapa de feições de processos geodinâmicos Mapa de materiais inconsolidados	Mapa de vegetação	Mapa de equipamentos urbanos existentes Mapa de densidade populacional
II	Carta de zoneamento geotécnico geral (CZGG); Mapas de condições geológico-geotécnicas (MCGG); Cartas de restrições.	Mapa de ecossistemas	Mapa de áreas públicas Mapa dos diferentes tipos de ocupação: a. tipos que podem provocar eventos perigosos; b. ocupações comuns; c. ocupações futuras.
III	Cartas para fundações; Cartas para escavabilidade; Cartas para erosividade e erodibilidade; Cartas de potencial de escoamento superficial e infiltração; Cartas de zonas de recarga; Carta para disposição de rejeitos e resíduos; Carta para exploração de águas; Carta de potencial para minerais e materiais para a construção civil; Cartas para estradas.	Carta de hierarquização quanto à preservação.	Mapa de índices socioeconômicos.
IV	Carta de probabilidade de ocorrência de eventos naturais; Carta de áreas degradadas; Carta de possibilidade de ocorrência de eventos perigosos; Carta de passivos ambientais; Carta de potencial a erosão.	Vulnerabilidade dos elementos de ocupação diante de eventos perigosos e outras limitações; Carta de passivos ambientais.	
V	Cartas com as áreas que apresentem restrições para um tipo de ocupação específica; Carta de zoneamento geoambiental; Carta de riscos específicos e totais.	Carta de níveis de risco para as diferentes zonas ambientais.	
VI	Carta que retrata os procedimentos construtivos e os cuidados para implementar as formas de ocupação.	Carta com os procedimentos para cada zona ambiental.	
VII	Viabilidade para aeroportos, barragens e captação de água; Viabilidade para construção de residências; Viabilidade para aterros sanitários; Viabilidade para parques industriais; Vaibilidade para obras lineares.	Viabilidade para proteção ambiental ou para exploração de recursos naturais.	
VIII	Hierarquização das unidade considerando somente os atributos do meio físico; Priorização das áreas para diferentes finalidades (específica ou global).		Cartas que retratem as estimativas da relação custo/benefício; Cartas de zoneamento das condições globais do meio ambiente e problemas futuros.

Fonte: Modificado de Zuquette e Gandolfi (2004).

3.3.4 Cartas de risco geológico

As cartas de risco geológico correspondem a instrumentos cartográficos que apresentam a distribuição, o tipo e o grau dos riscos geológicos e têm como objetivo a definição de medidas de prevenção de acidentes (Cerri e Amaral, 1998). Canil *et al.* (2018) comentam que estas cartas avaliam, em área urbana, os danos potenciais à ocupação oriundos de processos geodinâmicos naturais ou induzidos pelo uso do solo. Salientam, ainda, a necessidade de hierarquização de unidades, setores e pontos quanto ao grau ou iminência de perda, buscando propor medidas corretivas e de erradicação das situações de risco. Reitera-se, que risco pode ser considerado como a relação entre a possibilidade de ocorrência de um acidente geológico e suas consequências sociais e/ou econômicas potenciais (Macedo e Maríndola, 2018).

O desenvolvimento urbano, evidenciado, sobretudo nas últimas décadas, modifica as paisagens naturais e intensifica a interferência antrópica sobre os diversos elementos do meio físico. Desde os primeiros agrupamentos humanos, o homem está submetido a diversos fenômenos da natureza, como tempestades, movimentos de massa, terremotos, entre outros. Estes fenômenos podem provocar inúmeros desastres naturais, sendo intensificados pelo acelerado processo de urbanização, ocupação em áreas impróprias e a variabilidade climática atual, associada a um aumento de extremos climáticos (Tominaga *et al.,* 2009).

Souza (2015) comenta que o conhecimento dos riscos se compõe da identificação, avaliação e mapeamento da suscetibilidade, vulnerabilidade, perigos e riscos propriamente ditos, a partir da análise e monitoramentos dos processos morfodinâmicos e de seus condicionantes.

A avaliação de riscos deve incluir uma detalhada compreensão quantitativa e qualitativa do risco, seus fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais e suas consequências (UNO, 2004), que envolve o uso sistemático de informações para determinar a probabilidade de ocorrência de certos eventos e a magnitude de suas possíveis consequências.

Existem inúmeras metodologias para análise de risco, porém, na prática possuem aplicações localizadas, ou cujos resultados não possibilitem uma gestão efetiva dos problemas, devido a escala de análise (Souza, 2015). E, apesar do número expressivo de trabalhos produzidos, nota-se que os métodos de estudo e a interpretação de conceitos sobre riscos geológicos ainda apresentam controvérsias (Tominaga, 2007). Souza (2015) reflete sobre os procedimentos necessários para a avaliação de risco e salienta que o grande desafio dessa tarefa se encontra no confronto das características físicas, geológicas e geotécnicas das áreas, com os indicadores de instabilidade e as ações antrópicas como desencadeadores de situações de risco.

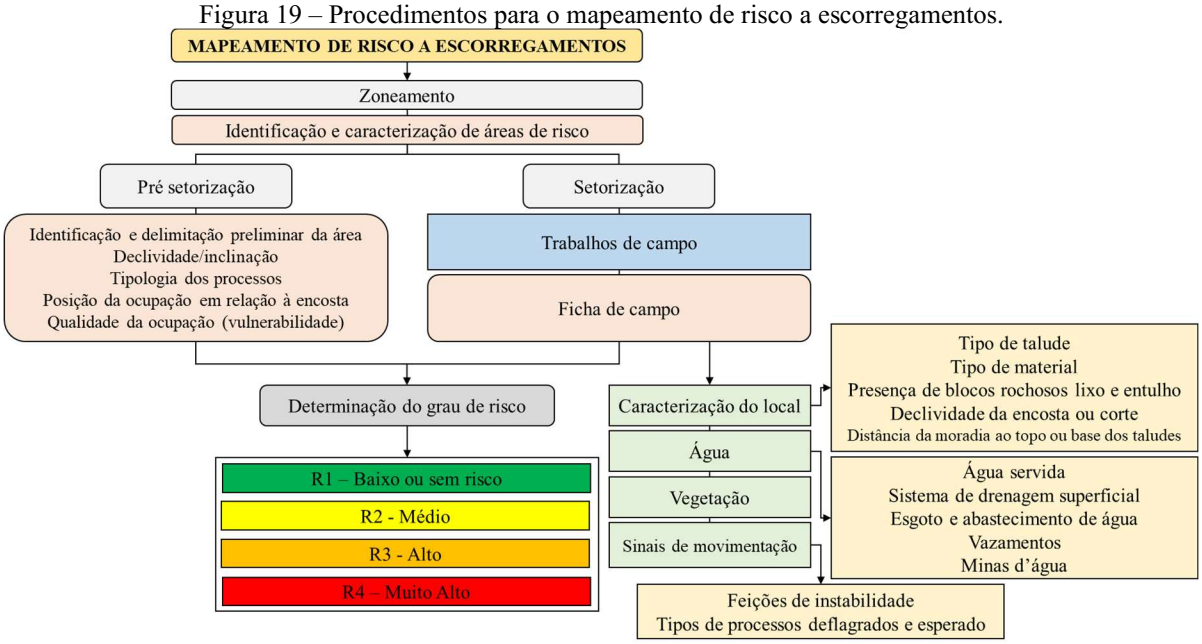
Pimentel e Santos (2018) salientam que a falta de uma proposta metodológica nacional padrão, que permita a uniformização da cartografia de risco e perigo, dificulta a compatibilidade e compilação dos dados gerados.

Um modelo de abordagem para ao enfrentamento a desastres naturais, elaborado pela Agência de Coordenação das Nações Unidas para o Socorro em Desastres (UNDRO), em 1991. Este sustenta-se em duas ações: prevenir e preparar. As atividades relacionadas a prevenção consistem em estudos de natureza técnica-científica, como análise da fenomenologia dos processos geodinâmicos, análise de risco e estabelecimento de métodos, técnicas e ações para a prevenção de acidentes, na determinação da magnitude de um desastre e no estabelecimento de medidas que permitam a proteção da população e seus bens. Aquelas atividades que se relacionam a preparação têm caráter logístico, visando auxiliar o enfrentamento de cenários de emergência ligadas, sobretudo, às ações de defesa civil.

Dentre os diversos trabalhos realizados em consonância com as orientações da ONU, destacam-se Ministério das Cidades e IPT (2004) e Brasil (2007), que apresentam um método de análise de risco adaptado à realidade das cidades brasileiras, de baixo custo de execução e que permite comparar as situações de risco nas diversas regiões do país, culminando na elaboração de cursos de capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco, objetivando o treinamento de técnicos municipais de diversas áreas do conhecimento. A proposta metodológica visa a identificação, análise e avaliação de riscos geológicos com o enfoque em áreas de assentamentos precários. Lana *et al.* (2021) comentam os procedimentos propostos pelos autores supracitados adotam uma abordagem heurística, oferecendo grandes vantagens com relação a larga aplicabilidade a nível nacional, em regiões cujas características naturais e antrópicas podem variar consideravelmente. A metodologia proposta para o zoneamento de risco a escorregamentos e solapamentos de margens de cursos d'água preconiza o desenvolvimento de duas grandes etapas, sumarizadas na figura 19.

Ministério das Cidades e IPT (2004) e Brasil (2007) propõem, ainda, procedimentos para o mapeamento e análise de áreas de risco de enchentes e inundações em áreas urbanas, qual também definem quatro classes de risco (R1 a R4). Para tanto, os autores consideram em sua avaliação três parâmetros, (1) cenários de risco e potencial destrutivo do processo hidrológico, (2) Vulnerabilidade da ocupação urbana e (3) distância das moradias ao eixo da drenagem.

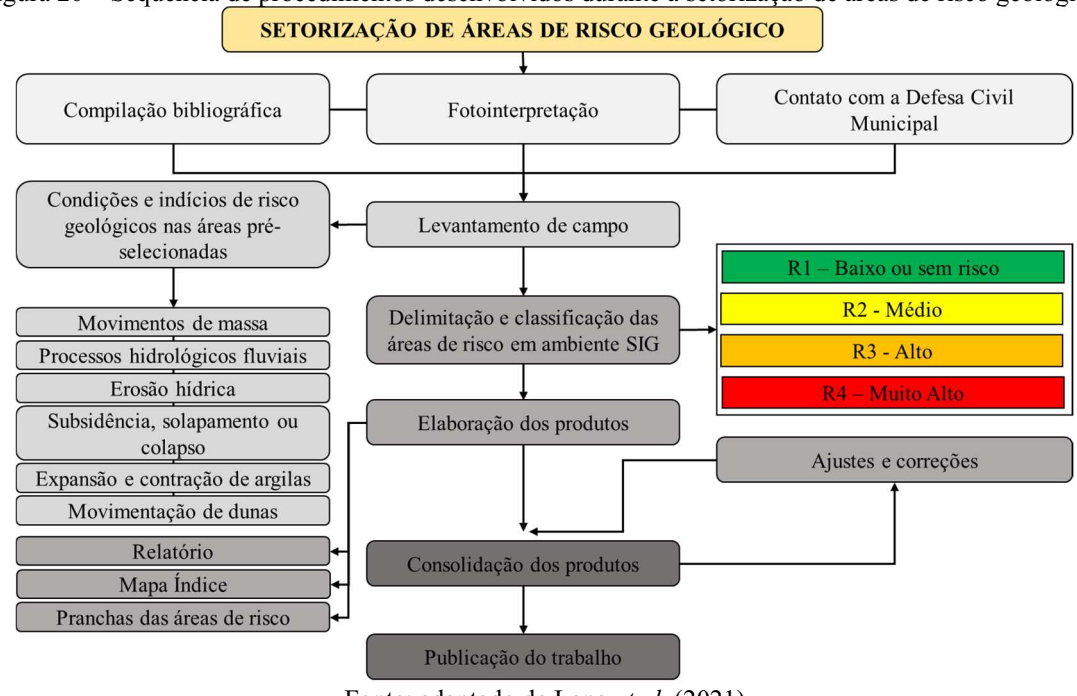
Figura 19 – Procedimentos para o mapeamento de risco a escorregamentos.



Fontes: Adaptado de Ministério das Cidades e IPT (2004); Brasil (2007).

Esta metodologia tem sido o procedimento mais difundido na identificação de riscos geológicos nos últimos tempos, sendo utilizados em dezenas de município para a elaboração de planos municipais de redução de risco (Brasil, 2007; Souza, 2015). Lana *et al.* (2021) basearam-se nesta para o estabelecimento de parâmetros para a setorização de áreas de risco geológico, sumarizados na figura 20, visando o atendimento das determinações da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei nº 12.608/2012.

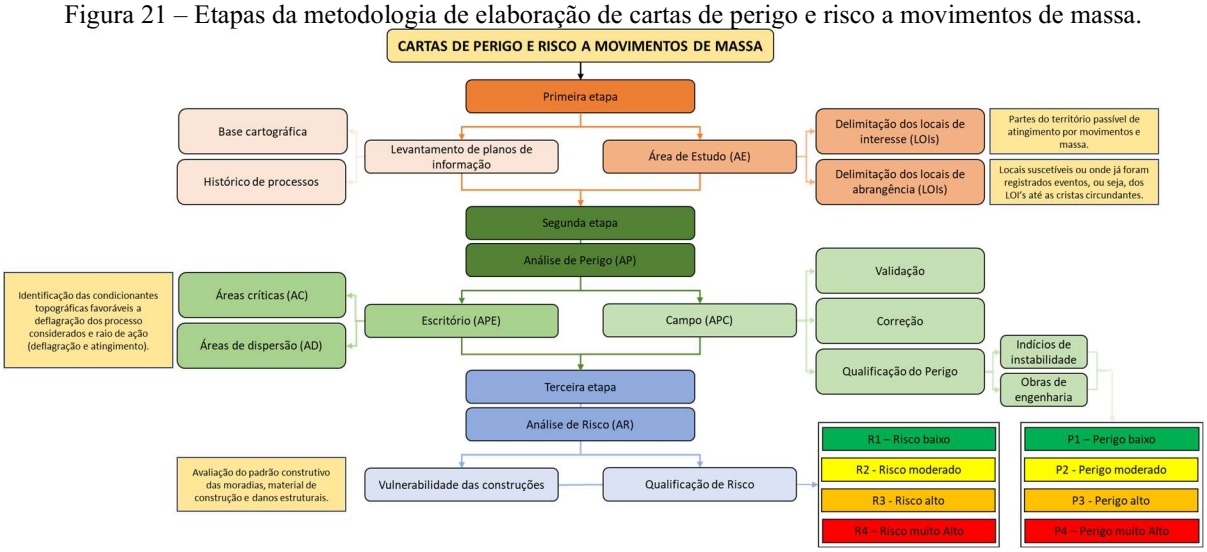
Figura 20 – Sequência de procedimentos desenvolvidos durante a setorização de áreas de risco geológico.



Fonte: adaptado de Lana *et al.* (2021)

Pimentel e Santos (2018) apresentam uma metodologia para elaboração de cartas de perigo e risco baseada em critérios topográficos e estatísticos para a identificação das áreas mais passíveis de deflagração de movimentos de massa (escorregamentos, fluxo de detritos e quedas de blocos), bem como as distâncias de atingimento, figurando como subsídio necessário à espacialização da gestão em âmbito municipal e regional. Os autores orientam a aplicação da sequência metodológica, sumarizada na figura 21.

Figura 21 – Etapas da metodologia de elaboração de cartas de perigo e risco a movimentos de massa.

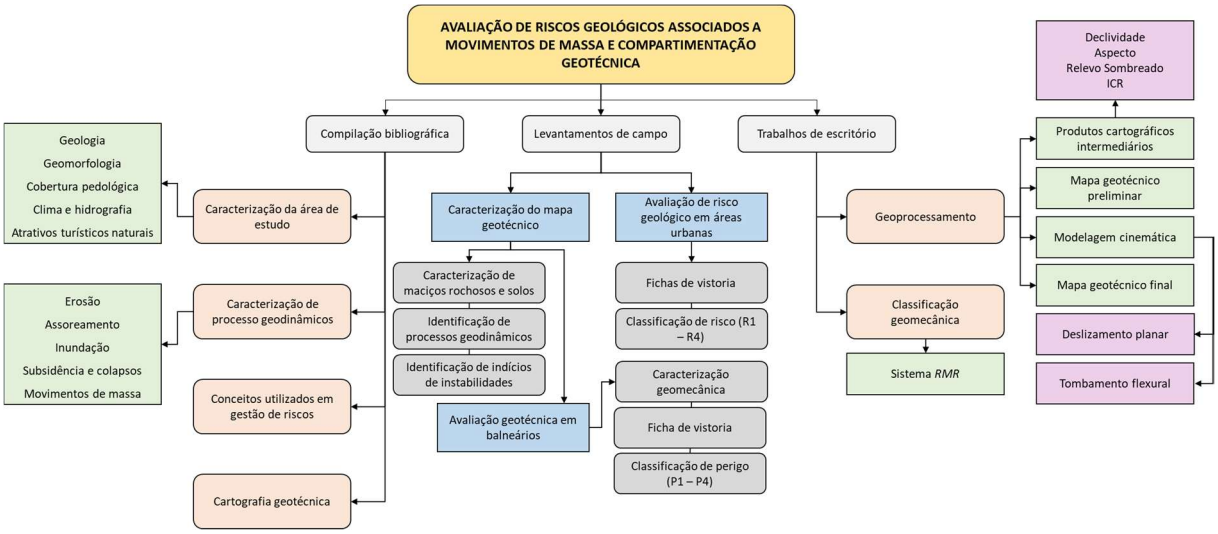


Fonte: adaptado de Natália Dias e Larissa Montadon (2017 *apud* Pimentel e Santos 2018); Pimentel e Santos (2018).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Durante a execução do presente projeto de pesquisa as atividades executadas são descritas em três grandes fases: compilação bibliográfica, levantamentos de campo e trabalhos de escritório. Conforme organograma apresentado na figura 22. Salienta-se que inúmeras atividades foram desenvolvidas concomitantemente.

Figura 22 – Etapas da metodologia empregada durante o desenvolvimento desta pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.1 Compilação bibliográfica

Inicialmente, foram inventariadas informações para a caracterização do município de Diamantina, como arcabouço geológico, geomorfologia (Fogaça, 1997, Grossi-Sad *et al*., 1997; Noce, 1997ª; Noce, 1997b; Souza e Grossi-Sad, 1997; Knauer *et al*., 2014; Saadi, 1995; Almeida-Abreu *et al.*, 2005), entre outras características fisiográficas da área de estudo (Diamantina, 2009; UFV *et al*., 2010; IBGE, 2019b; INMET, 2021; IGAM, 2021). Posteriormente, definiu-se os processos geológicos que podem oferecer riscos a população, como erosão, movimentos de massa, colapsos, entre outros (Infanti Jr e Fornasari Filho, 1998; Augusto Filho ,1995), bem como os conceitos básicos relacionados a gestão de acidentes naturais (Tominaga *et al*., 2015, UM-ISDR, 2004). Por fim, discorreu-se sobre cartografia geotécnica, desde seu histórico a metodologias empregadas (Zaine, 2000, Tominaga *et al.,* 2004; Ministério das Cidades e IPT, 2004; Zuquette e Gandolfi, 2004; Brasil, 2007; Tominaga,

2007; Sobreira e Souza, 2012; Macedo e Bressani 2013; Bitar, 2014; Souza, 2015; Pimentel e Santos, 2018).

Registros de ocorrência de processos geodinâmicas no município foram cedidos pela Defesa Civil Municipal e o Corpo de Bombeiros Militar. Estes dados correspondem aos atendimentos prestados por estas instituições e foram atualizadas em 2023. Agregou-se, ainda, registros inventariados no Plano Municipal de Saneamento Básico, publicado em 2021.

De forma concomitante, foram obtidos diversos documentos, que compõem a base cartográfica desta pesquisa. Estes estão elencados abaixo:

- Mapas geológicos das folhas Carbonita (SE.23-X-D-IV), Corinto (SE.23-Z-A-II), Curimataí (SE.23-X-C-VI), Diamantina (SE.23-Z-A-III), Itacambira (SE.23-X-D-I), Rio Vermelho (SE.23-Z-B-I), em escala 1:100.000 (projetos CPRM e CODEMIG);
- Mapa de unidades geomorfológicas, em escala 1:250.000 (IBGE 2019);
- Mapa de solos, em escala 1:650.000 (UFV/UFLA 2010);
- Base hidrográfica ottocodificada, em escala 1:100.000 (IGAM 2021);
- Imagem de satélite Alos Palsar (MDE), de resolução de 12,5m (ASF 2011);
- Imagens de satélite disponíveis no *Google Earth Pro*.

4.2 Elaboração de produtos cartográficos intermediários

O zoneamento e a elaboração de produtos cartográficos, que avaliem as potencialidades dos terrenos frente à sua ocupação, bem como as suscetibilidades aos processos geodinâmicos, e os perigos e riscos geológicos a eles associados, requerem uma gama de informações que descrevam aspectos fisiográficos da área de estudo. Contudo, inúmeros municípios não contam com uma base cartográfica em escalas e resoluções adequadas, caso do município de Diamantina. Nesse cenário, alguns atributos do meio físico foram extraídos a partir do modelo digital de elevação (MDE) *Alos Palsar*, de resolução espacial de 12,5m e escala equivalente igual a 1:62.500, adquiridas pelo banco de dados do *Alaska Satellite Facility* (*ASF*). Este foi tratado, com a aplicação da ferramenta *fill (Hidrology)* no *software ArcGis 10.3,* para o preenchimento das imperfeições do modelo. A fim de gerar produtos derivados com melhor consistência.

Para obtenção de características morfométricas, como orientação de encostas e declividade, empregou-se, no mesmo *software*, as ferramentas de análises de superfície (*Surface Analysis*), *Aspec*t e *Slope* (*degrees* e *percent*), respectivamente.

Para a geração das imagens multidirecionais de relevo sombreado, que posteriormente, foram utilizadas na extração automática dos lineamentos, produziu-se inicialmente oito imagens, com diferentes azimutes de iluminação (0º, 45º, 90º, 135º, 180º, 225º, 270º e 315º), por meio da ferramenta *Hillshade* (*Surface Analysis*). O procedimento foi realizado utilizando a altitude solar de 30º, 45º e 60º, para avaliação do melhor realce das estruturas, e exagero vertical (1,0). Na sequência, como resultados da álgebra de mapas (*Raster Calculator*), na qual se aplicou as Equações 1 e 2, obteve-se duas imagens multidirecionais, uma com base nos azimutes 0º a 135º, para ressaltar as feições positivas, e outra nos demais, para enfatizar as negativas. Para comprovar a eficácia da aritmética utilizada, foi escolhido um ponto em comum nas imagens utilizadas para a produção da imagem direcional e no produto gerado. Em seguida, utilizou-se a ferramenta *Add Surface Information* (*Functional Surface*) de modo que se consiga obter o valor do pixel do mesmo ponto nas cinco imagens.

$$Multidirecional_{135^\circ}^{0^\circ} = \frac{(Az^{0^\circ} + Az^{45^\circ} + Az^{90^\circ} + Az^{135^\circ})}{4} \qquad \text{Equação 1}$$

$$Multidirecional_{315^\circ}^{180^\circ} = \frac{(Az^{180^\circ} + Az^{225^\circ} + Az^{270^\circ} + Az^{315^\circ})}{4} \qquad \text{Equação 2}$$

Os lineamentos foram extraídos automaticamente no *software CATALYST Professional*, com a utilização do módulo *Line*. Este é capaz de detectar feições lineares a partir de imagens de relevo sombreado. O algoritmo usa diferentes valores atribuídos aos parâmetros de detecção de limites (*edge detection*), de limiares (*thresholding*) e da extração de segmentos (*curve extraction*) (Goulart, 2021), que se desdobram em seis parâmetros que determinam a sensibilidade da detecção e são referentes as seguintes características: (i) raio do filtro de detecção de borda; (ii) limiar para gradiente de borda; (iii) limiar para comprimento da curva; (iv) limiar de erro para ajuste de linha (polilinha a uma curva); (v) limiar de diferença angular e (vi) distância limite para conexão de linhas (Locatelli, 2014; Goulart, 2021). Foram adotados, respectivamente, os seguintes valores: 10,100, 30, 3, 30 e 20.

4.3 Elaboração do mapa geotécnico

O zoneamento geotécnico tem como principal finalidade a compilação de diversos atributos de uma região em um mesmo produto cartográfico, de modo, que sejam delimitadas unidades com mínima heterogeneidade possível, indicando as relações funcionais e espaciais

dos atributos básicos considerados (Zuquette & Gandolfi, 2004). Nesta pesquisa, este é traduzido como mapa geotécnico (Documento cartográfico fundamental de síntese – nível II), visto que busca um melhor entendimento do comportamento natural destes, com objetivo de direcionar os trabalhos de caracterização geotécnica na cidade para fins de planejamento urbano e indicação de potencialidades para o uso e ocupação do solo. Salienta-se que agentes antrópicos podem exercer influência sobre a dinâmica dos processos superficiais.

Para o desenvolvimento desta análise, elaborou-se um zoneamento geotécnico preliminar, para orientar os procedimentos seguintes. Posteriormente, foram realizadas as atividades de caracterização das unidades (trabalhos de campo, inventário de feições erosivas e avaliação geotécnica de balneários), previamente, definidas.

4.3.1 Elaboração do mapa geotécnico preliminar

Zuquette e Gandolfi (2004) elencam diversos atributos que podem ser considerados no processo de mapeamento geotécnico e produção de mapas e cartas nos diferentes níveis hierárquicos, como aqueles relacionados à água, geomorfologia, geologia, clima, biologia, entre outros. Aqui, foram considerados atributos de natureza geológica (substrato rochoso) e geomorfológica (declividade).

Os dados relacionados aos aspectos geológicos (litologias, falhas, alinhamentos estruturais, foliações e acamamentos) foram obtidos a partir de mapas geológicos das folhas Corinto (SE.23-Z-A-II), Curimataí (SE.23-X-C-VI), Diamantina (SE.23-Z-A-III) e Rio Vermelho (SE.23-Z-B-I), em escala 1:100.000 (Fogaça, 1997; Gross-Sad *et al.,* 1997; Noce, 1997a; Noce, 1997b; Knauer *et al.,* 2014; Souza e Grossi-Sad, 1997). Para a análise de relevo utilizou-se o mapa de declividades, com resolução espacial de 12,5m e escala compatível a 1:62.500, gerado na etapa anterior, por meio do processamento do modelo digital de elevação.

As unidades geológicas que ocorrem no município de Diamantina foram agrupadas, em nove classes, de acordo com as rochas que as constituem (Quadro 4), baseando-se em suas características geotécnicas. Este procedimento teve como norte, diversos trabalhos científicos que versam sobre o comportamento geomecânico de diferentes litologias, entre eles destacam-se Nonato (2002), Parizzi (2004), Parizzi *et al.* (2010), Reis Junior (2016) e Reis Junior e Parizzi (2018). Porteriormente, converteu-se este agrupamento em arquivo *raster*. Em seguida, reclassificou-se as imagens (Quadro 4).

Quadro 4 – Agrupamentos de unidades geológicas de acordo com suas características geotécnicas e novos valores utilizados na reclassificação do *raster*.

Classe	Descrição	Unidades geológicas	Novo valor
G1	Rochas metassedimentares clásticas e químicas, de granulometria predominantemente fina, e associação carbonática.	***NP3lj*** : Fm. Lagoa do Jacaré (Grupo Bambuí) ***pEerp*** : Fm. Rio Pardo Grande (Grupo Conselheiro Mata)	1000
G2	Metaconglomerados com matriz quartzítica.	***pEesb(mc)*** : Fm. Sopa-Brumadinho (Grupo Guinda)	2000
G3	Metadiamictitos com matriz quarzosa a micácea.	***pEm*** : Grupo Macaúbas Indiviso ***pEmsc*** : Fm. Serra do Catuni (Grupo Macaúbas)	3000
G4	Associação de rochas graníticas.	***pEcg*** : Complexo Gouveia	4000
G5	Coberturas inconsolidadas.	***Qal*** : Aluvião ***TQdl*** : cobertura detrito-laterítica	5000
G6	Quartzitos.	***pEecb*** : Fm. Córrego dos Borges (Gr. Conselheiro Mata) ***pEecp*** : Fm. Córrego Pereira (Gr. Conselheiro Mata) ***pEegm*** : Fm. Galho do Miguel (Grupo Guinda) ***pEesj*** : Fm. São João da Chapada (Grupo Guinda) ***pEmdb*** : Fm. Duas Barras (Gr. Macaúbas)	6000
G7	Associação de quartzitos e rochas metamórficas foliadas.	***pEeqf*** : Supergrupo Espinhaço indiviso ***pEesb*** : Fm. Sopa-Brumadinho (Grupo Guinda) ***pEesb(cs)*** : Fm. Sopa-Brumadinho (Grupo Guinda) ***pEeba*** : Fm. Córrego Bandeira (Grupo Conselheiro Mata)	7000
G8	Rochas intrusivas e ultrabásicas.	***pEB*** : Diques e soleiras de metabasito;	8000
G9	rochas metamórficas foliadas.	***pEcs*** : Grupo Costa Sena ***pEesb(xv)*** : Fm. Sopa-Brumadinho (Grupo Guinda) ***pEesr*** : Fm. Santa Rita (Grupo Conselheiro Mata)	9000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o tratamento das características morfométricas, usou-se proposições de Sampaio (2008) e Sampaio e Augustin (2014), que introduzem o Índice de Concentração de rugosidade (ICR), como parâmetro para o mapeamento de quantificação da dissecação do relevo. O ICR permite que o relevo seja compartimentado e quantificado, por meio de análise de padrões de distribuição espacial da declividade (Sampaio e Augustin, 2014).

Os graus de declividade são diretamente relacionados aos aspectos de dissecação do relevo, em que as concentrações de classes maiores ou menores de declividade definem o ICR local de muito baixos a muito altos, de modo proporcional. Os autores explanam os valores medidos e distribuídos de forma contínua ou descontinua são analisados em conjunto, fornecendo padrões morfométricos de dissecação, seja em escalas locais ou regionais, diferindo assim dos valores de declividade em análise individual pixel a pixel. Esta distinção ocorre, a depender de escala e ou largura do pixel, devido ao fato de que as unidades de relevo de uma região, desde as planas até as escarpadas, podem apresentar locais com valores de declividade elevados ou baixos. Sampaio e Augustin (2014) elencam diversos trabalhos que empregam o índice propostos e relatam excelentes resultados com a aplicação do ICR como subsídio ao mapeamento geomorfológico.

O primeiro passo para a obtenção do ICR foi a conversão da declividade em porcentagem, no formato *raster*, para arquivo vetorial (pontos), armazenando-se como atributo os valores de declividade. Posteriormente, foi aplicado o Estimador de Densidade por Kernel (*Kernel density*), o que gerou um novo arquivo matricial. Este método estatístico de estimação não-paramétrico é considerado uma alternativa para análise geográfica do comportamento de padrões (Medeiros, 2016 *apud* Nazar, 2018). Os valores adotados para os parâmetros de processamento foram, 1 km^2 para área base, 564 metros para raio de busca, 12,5m para célula de saída (mesma resolução espacial que o MDE) e m^2 para unidade de área. Em seguida, os valores de ICR foram normalizados (*Raster Calculator*), dividindo o produto gerado pelo número de pixels computados (24900021). Sampaio & Augustin (2018) citam a necessidade de tal procedimento, visto que a resolução espacial do MDE afeta os valores o ICR Global em função do número de pontos somados por unidade de área. Por fim, classificou-se (Tabela 1), por meio do método de *quantis*, os valores em seis classes, conforme sugerido por Sampaio e Augustin (2014). Em seguida, reclassificou-se a imagem, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 – Unidades de relevo de acordo com valores de ICR e novos valores utilizados na reclassificação.

Classe	**Relevo**	**ICR**	**Novo valor**
ICR1	Plano	$< 2,5$	100
ICR2	Suavemente ondulado	$2,5 \leq ICR < 6$	100
ICR3	Ondulado	$6 \leq ICR < 14$	200
ICR4	Fortemente ondulado	$14 \leq ICR < 30$	300
ICR5	Escarpado	$30 \leq ICR < 45$	400
ICR6	Fortemente escarpado	≥ 45	400

Fonte: Adaptado de Sampaio e Augustin (2014).

A delimitação das unidades geológico-geotécnicas preliminares baseou-se no método de sobreposição simples, por meio de soma algébrica (*Raster Calculator*) dos dados em formato matricial.

4.3.2 Caracterização do mapa geotécnico preliminar

Após a elaboração do zoneamento geotécnico preliminar, as unidades delimitadas foram caracterizadas, por meio de inventário de processos erosivos lineares, trabalhos de campo e avaliação geotécnica de balneários.

4.3.2.1 Elaboração de Inventário de Processos Erosivos

A identificação e mapeamento dos processos erosivos ocorreu por meio de uma análise qualitativa com base nas características de feições identificadas nas imagens disponíveis no *software Google Earth Pro* e as disponibilizadas pelo *Microsoft Bing*. O foco das análises se deu nos vales, terrenos de maior declividade e margens fluviais. Porém, áreas perturbadas pela ação antrópica, como locais de atividade garimpeira, zonas urbanas em crescimento, cortes de estradas e áreas rurais também foram avaliadas, devido a influência de tais intervenções no desencadeamento dos processos geodinâmicos mapeados.

4.3.2.2 Modelagem cinemática

Baseando-se na influência de estruturas planares, como acamamento e foliação, na deflagração de deslizamentos translacionais e na ampla ocorrência destas no município de Diamantina, aplicou-se metodologia proposta por Souza (2015) para a elaboração de modelos cinemáticos aplicados na análise de suscetibilidade a escorregamentos planares, com estudo de caso em Mariana e Ouro Preto, em Minas Gerais, e aplicada por Reis Junior (2016) na Região Metropolitana de Belo Horizonte, para complementação da setorização efetuada. Considera-se, portanto, que para a deflagração de deslizamentos translacionais tem-se como condições *sine qua non* o subparalelismo entre as encostas e as descontinuidades, bem como o desconfinamento das mesmas.

A execução da modelagem cinemática consistiu em dois processos, no primeiro foram interpoladas duas superfícies a partir do método do Inverso do Quadrado da Distância (*IDW*) com o auxílio do *software ArcGis 10.3*. Os dois produtos gerados foram obtidos a partir da atitude das descontinuidades, separadamente, interpolou-se o sentido do mergulho das estruturas e o ângulo de mergulho das mesmas (Tabela 2). Estes produtos apresentam porções sem informações nas extremidades da área de estudo, devido a fato de que as dimensões das superfícies geradas durante a interpolação são definidas pela distribuição dos pontos que foram interpolados. Na segunda etapa de processamento, utilizou-se as ferramentas *aspec*t e *slope* (*Surface Analysis*) para a elaboração de mapas de direções das encostas e declividades, respectivamente, a partir do MDE *Alos Palsar*, de resolução de 12,5m. Posteriormente, os produtos gerados foram associados para determinar suas relações angulares. Para isso, reclassificou-se (*Reclassify*) os produtos gerados, conforme as tabelas 2 e 3. Salienta-se que os valores atribuídos para cada classe nestas tabelas não apresentam caráter hierárquico nem

quantitativo. Em seguida uma soma algébrica (*Plus*) foi executada, relacionando a direção de encostas com a superfície interpolada a partir do sentido de mergulho das estruturas e a declividade com a interpolação dos ângulos de mergulho. O primeiro produto tem como função a determinação dos cenários de paralelismo entre as encostas e as descontinuidades. Já o segundo, tem como objetivo a identificação das áreas de desconfinamento das estruturas, ou seja, as situações nas quais as descontinuidades apresentam mergulho inferior a declividade dos taludes.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados na reclassificação do mapa de direção de encostas (1) e a interpolação do sentido de mergulho das estruturas (2).

Arco			**Direção**	**Classe (1)**	**Classe (2)**
0	-	22,5	Norte	100	1
22,5	-	67,5	Nordeste	200	2
67,5	-	112,5	Leste	300	3
112,5	-	157,5	Sudeste	400	4
157,5	-	202,5	Sul	500	5
202,5	-	247,5	Sudoeste	600	6
247,5	-	292,5	Oeste	700	7
292,5	-	337,5	Noroeste	800	8
337,5	-	360	Norte	900	9

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados na reclassificação do mapa de declividade (1) e a interpolação dos ângulos de mergulho (2).

Arco			**Denominação**	**Classe (1)**	**Classe (2)**
0	-	10	Suave	100	1
10	-	25	Inclinado	200	2
25	-	45	Íngreme	300	3
45	-	90	Muito íngreme	400	4

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

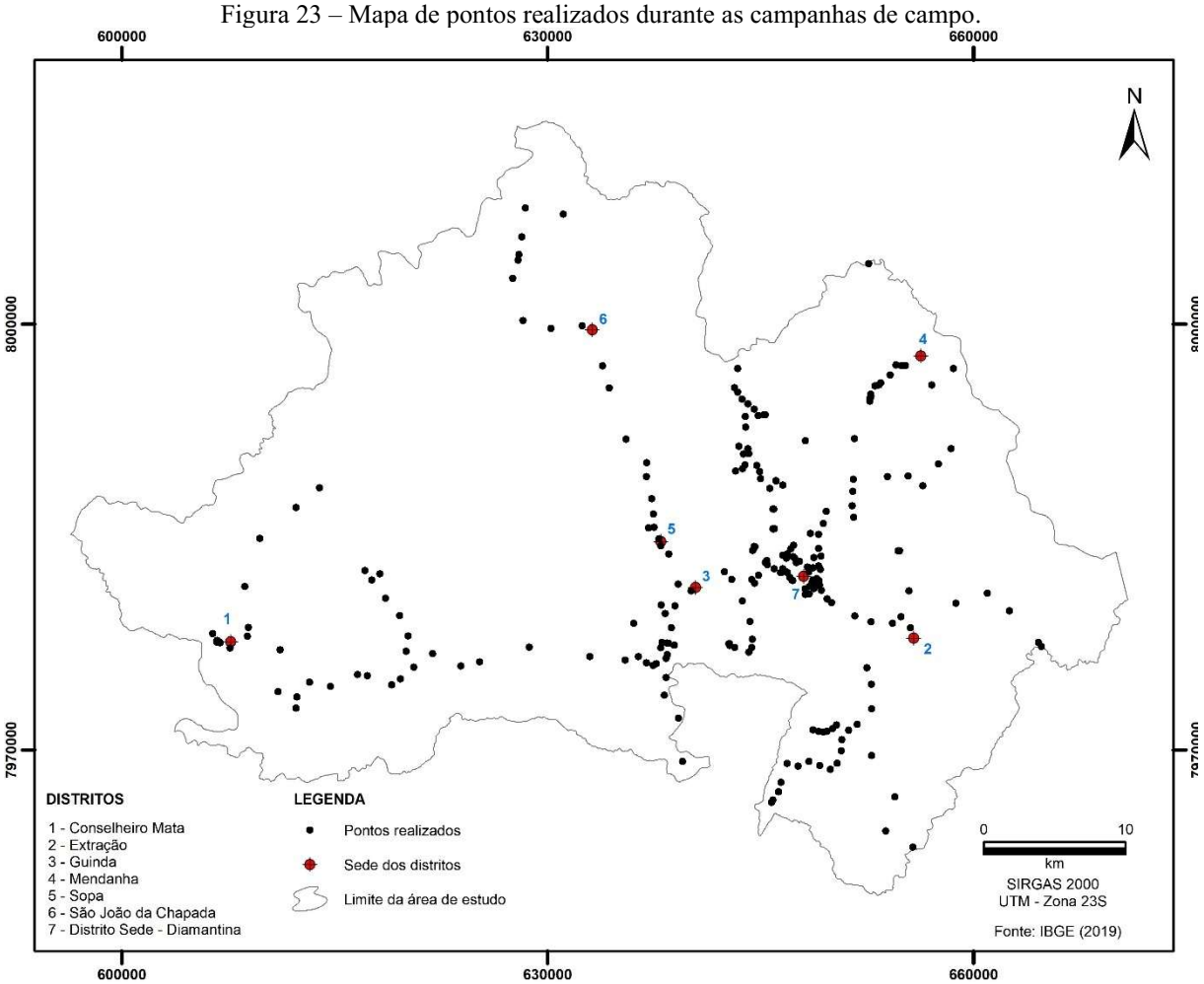
Por fim, os resultados foram somados para a obtenção de um modelo cinemático para escorregamentos translacionais. Este indica as áreas suscetíveis a esse processo geodinâmico, ou seja, regiões que atendem as condições de paralelismo entre encostas e sentido de mergulho e maciços desconfinados (ângulos de mergulho inferiores ou paralelos à declividade das encostas). Um modelo cinemático para tombamentos flexurais também foi gerado. Para tanto, determinou-se as áreas nas quais as descontinuidades mergulhassem com forte ângulo e sentido contrário às vertentes. A modelagem cinemática considerou somente a relação angular entre sentido e ângulo de mergulho das descontinuidades, declividade e direção das encostas.

Tratando-se então, puramente de uma análise geométrica, na qual não são relevados parâmetros geomecânicos, como coesão e ângulo de atrito interno.

4.3.2.3 Campanhas de Campo

Durante os trabalhos de campo realizados no município de Diamantina, registrou-se 249 pontos (Figura 23), nos quais foram descritos afloramentos, maciços rochosos e solos. Os maciços rochosos foram caracterizados para a verificação de suas propriedades mecânicas, bem como a geometria das descontinuidades. Observou-se, também, as características dos solos, indícios de instabilidade e processos geodinâmicos deflagrados.

Figura 23 – Mapa de pontos realizados durante as campanhas de campo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2.3.1 Caracterização Geomecânica das Rochas

A caracterização dos maciços rochosos levou em consideração a descrição do grau de intemperismo, fraturamento e resistência das litologias analisadas, bem como as propriedades das descontinuidades geomecânicas que o seccionam.

As descrições dos parâmetros seguiram as orientações propostas pela ISRM (2007), considerando como atributos a orientação das descontinuidades e dos cortes/taludes, espaçamento (Anexo A – Quadro 1), persistência (Anexo A – Quadro 2), abertura (Anexo A – Quadro 3), rugosidade (Anexo A – Quadro 4), preenchimento, percolação de água (Anexo A – Quadro 5), estado de alteração (Anexo A – Quadro 6), resistência das paredes/rocha intacta e *RQD* (*Rock Quality Designation*).

Para mensurar a resistência das paredes das descontinuidades/rocha intacta foram utilizados dois testes *in situ*, um com o emprego do martelo de geólogo, com percussão manual, e outro com o esclerômetro de *Schmidt*. Nos testes manuais, com o uso do martelo de geólogo, a resistência pode ser obtida por meio da resposta da rocha ao ser percutida (Anexo A – Quadro 7). O esclerômetro de *Schmidt* é utilizado para se obter uma medida mais expedita da resistência das paredes de descontinuidades/rocha intacta. Este equipamento fornece um valor conhecido como índice esclerométrico (IE) ou número de rebotes (HR). Posteriormente, os dados obtidos em campo são tratados com a aplicação da Equação 3, proposta por Katz *et al.* (2000), que relaciona tais valores à resistência a compressão (σc). Salienta-se que esse procedimento foi adotado, pois não foi determinado o peso volúmico ou densidade das rochas analisadas.

$$In(\sigma_c) = 0{,}067HR + 0{,}792 \qquad \text{Equação 3}$$

O último atributo mencionado, o *RQD*, corresponde a um índice proposto por Deere (1964) e reflete a qualidade (Anexo A – Quadro 9) da rocha em relação à frequência das descontinuidades e o espaçamento entre elas, representando o grau de fraturamento do maciço. Em sua proposição, Deere (1964), determina esse parâmetro a partir de testemunhos de sondagem. Entretanto, em 1976, Priest & Hudson apresentaram uma nova proposta metodológicas para o cálculo do *RQD* para situações em que houvesse disponibilidade de testemunhos. Portanto, a partir da frequência de descontinuidades por metro linear (λ) é possível mensurar o valor para esse índice através de Equação 4. Sugere-se que sejam determinadas

frequências em diversas direções no maciço rochoso, visto que a frequência pode variar com a porção descrita.

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda}(0,1\lambda + 1) \qquad \text{Equação 4}$$

4.3.2.4 Classificação Geomecânica das Rochas

Para a classificação e comparação da qualidade dos maciços rochosos descritos foram utilizados os sistemas RMR (Bieniawski, 1989). Esta classificação corresponde a estimativa do comportamento dos maciços com base na avaliação de seus parâmetros de qualidade.

Inicialmente, estes sistemas foram desenvolvidos para auxiliar reforços em túneis, por meio de dados quantitativos provenientes desses sistemas. Contudo, Bieniawiski (1990) salienta a vantagem dos sistemas de classificação, visto que são aplicáveis para outras estruturas, como fundações e taludes. Ainda, são correlacionáveis a parâmetros mecânicos, como coesão, atrito interno e módulo de deformação.

As caracterizações e classificações geomecânicas utilizadas neste trabalho tiveram como função elucidar as variações tanto em algumas propriedades geomecânicas de rochas aflorantes em diversos pontos, quanto na qualidade desses maciços rochosos, devido à baixa densidade de pontos na área de estudo.

O sistema de classificação RMR publicado em 1989 por Bieniawski, complemento das publicações de 1973 e 1979, baseia-se no princípio de atribuição de pesos a parâmetros que influenciam o comportamento dos maciços rochosos (González De Vallejo e Iglesias, 2002). O índice que representa a classe do maciço, ou seja, indica a qualidade do maciço, é determinado pelo somatório de pesos atribuídos a seis parâmetros, que Bieniawski (1989) considera mais significativos no controle do comportamento mecânico dos maciços: resistência a compressão uniaxial da rocha intacta, RQD (*Rock Quality Designation*), espaçamento entre as descontinuidades, condição das descontinuidades, influência da água e orientação das descontinuidades.

O índice RMR pode ser então obtido através da somatória dos pesos determinados propostos por Bieniawski (1989) (Anexo B). A tabela 4 relaciona as cinco classes de qualidade de maciços rochosos e seus parâmetros geomecânicos: coesão, ângulo de atrito interno e o tempo médio de estabilidade em túneis de vãos livres.

Tabela 4 – Classes de maciços rochosos de acordo com a classificação RMR.

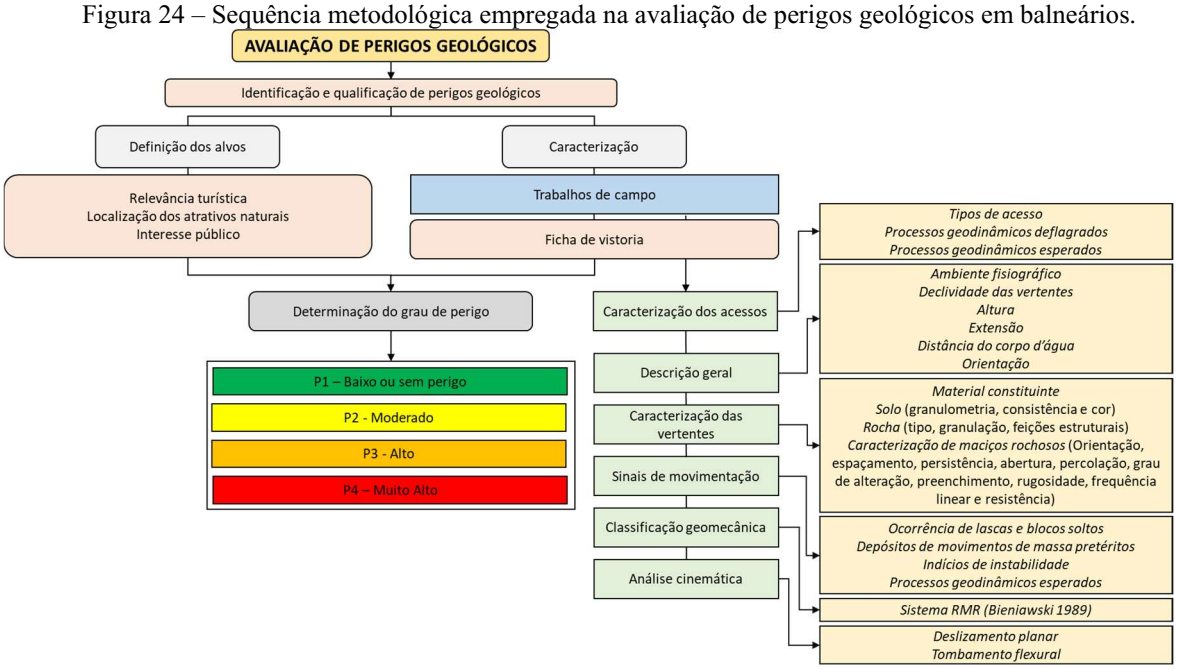
Classe	Índice RMR	Descrição	Tempo médio para aguentar sem suporte	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito interno (°)
I	< 21	Maciço rochoso muito fraco	30 minutos (1 m de vão)	< 100	< 15
II	21 - 40	Maciço rochoso fraco	10 horas (2,5 m de vão)	100 - 200	15 - 25
III	41 - 60	Maciço rochoso razoável	1 semana (5 m de vão)	200 - 300	25 - 35
IV	61 - 80	Maciço rochoso bom	1 ano (10 m de vão)	300 - 400	35 - 45
V	> 80	Maciço rochoso muito bom	20 anos (15m de vão)	> 400	> 45

Fonte: Bieniawski (1989).

4.3.2.5 Avaliação Geotécnica de Balneários

A avaliação geológico-geotécnica dos balneários na porção sul do município foi realizada em parceria com a Secretaria de Turismo de Diamantina (SECTUR), no âmbito do projeto intitulado "Estudo de risco e qualificação turística dos balneários de Diamantina". Vinte e três balneários foram visitados, entre os meses de outubro de 2022 e abril de 2023, de acordo com a relevância turística e local dos atrativos. A sequência metodológica empregada nesta avaliação é apresentada na figura 24.

Figura 24 – Sequência metodológica empregada na avaliação de perigos geológicos em balneários.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A caracterização envolveu a descrição das propriedades geomecânicas dos maciços rochosos, identificação de indícios de ocorrência de processos geodinâmicos e cenários de iminente deflagração de movimentos de massa. Esses parâmetros estão elencados na ficha de vistoria (Apêndice A) para balneários proposta a partir das análises de perigo.

Na elaboração deste formulário de vistoria buscou-se setorizar a caracterização de acordo com o elemento descrito e parâmetros utilizados para essa descrição. Seis blocos foram estabelecidos: (1) caracterização dos acessos, (2) descrição geral, (3) caracterização das vertentes, (4) sinais de movimentação, (5) classificação geomecânica e (6) análise cinemática.

O primeiro bloco é muito relevante, uma vez que em diversas situações o acesso a cachoeiras e outros tipos de balneários se dá por meio de trilhas, que também podem se inserir em cenários que submetam visitantes a perigos geológicos. Em sequência o bloco relacionado a descrição geral desses atrativos turísticos naturais visa a caracterização quanto suas dimensões, estruturação, quantidade de vertentes no entorno dos corpos d´água, bem como a distância entre esses elementos. Estes dois últimos parâmetros são, especialmente, importantes, visto que a proximidade entre as encostas e corpos d'água aumenta a possibilidade de atingimento de banhistas, caso ocorra a deflagração de algum processo de vertente em seu entorno. Este bloco é responsável pela organização do preenchimento dos próximos, visto que estes são específicos para a descrição individual de cada vertente, por isso a orientação de replicabilidade, caso haja mais de uma.

O bloco relacionado a caracterização das encostas tem como objetivo a obtenção de parâmetros (orientação, espaçamento, persistência, abertura, percolação, grau de alteração, preenchimento, rugosidade, frequência linear e resistências das descontinuidades geomecânicas) que podem indicar o comportamento geomecânico dos maciços rochosos que estruturam os balneários e suas vertentes. A interação entre os parâmetros apresentados, bem como o número de famílias de descontinuidades geomecânicas, condiciona o grau de fraturamento dos maciços rochosos. De um modo geral, quanto maior for a quantidade de sistemas de descontinuidades e persistência, e menor o espaçamento, maior será o grau de fraturamento. Ou seja, maior será a quantidade de blocos rochosos formada e menores serão estes, além de tornar o comportamento do maciço cada vez mais isotrópico.

No quarto bloco são registrados os sinais de movimentação das encostas, focando em indícios de instabilidade (cicatrizes de escorregamentos, degraus de abatimento), cenários de suscetibilidade a erosão e movimentos de massa, depósitos de materiais já movimentados, que para estes volumes de material geológico se descreveu dimensão, grau de arredondamento e imbricamento. Ainda, identificou-se a ocorrência de lascas e blocos soltos. Um aspecto importante no condicionamento de processos geodinâmicos e formação de blocos rochosos é a relação angular entre a orientação das descontinuidades e dos paredões que compõem os balneários. A interseção destas estruturas planares pode gerar condições geométricas para a

deflagração de movimentos de massa, como deslizamentos, quedas e tombamentos de blocos. Sendo os dois últimos de ampla ocorrência na região.

Os dois últimos blocos referem-se a análises posteriores à caracterização, que podem ser executadas ainda em campo. Para tanto, o formulário é complementado com tabelas e ábacos. A classificação geomecânica é embasada no sistema RMR (*Rock Mass Rating*), de Bieniawski (1989), e indica o estado geral do maciço rochoso analisado, além de fornecer estimativa de parâmetros mecânicos, como ângulo de atrito interno e coesão. Por fim, o último bloco corresponde a análise cinemática para deslizamentos planares e tombamentos flexurais. Esta é avaliada com base na relação angular entre as descontinuidades geomecânicas e as vertentes. Atendidas as condições geométricas essenciais para a deflagração dos citados processos geodinâmicos, são considerados, nesta análise, os parâmetros mecânicos estimados no bloco anterior. Concluindo, assim, o estabelecimento de um cenário de suscetibilidade a estes movimentos de massa.

Para a classificação de perigo geológico associado a cada balneário se utilizou parcialmente e com algumas modificações a metodologia proposta pelo Projeto GIDES (Pimentel e Santos, 2018). Os procedimentos são empregados na elaboração de cartas de perigo e risco a movimentos gravitacionais e se baseiam em critérios topográficos e indícios de instabilidade na determinação dos tipos de movimentos gravitacionais passíveis de ocorrência em uma área de estudo, uma vez que os mecanismos de ruptura em diferentes processos geodinâmicos são distintos. A primeira etapa se relaciona a levantamentos da base de dados e definição da área de estudo. Já na fase seguinte são aplicados os critérios topográficos para a identificação de perigo potencial e delimitação de áreas suscetíveis a deflagração (área crítica – AC) e/ou atingimento relativas (área de dispersão – AD) a deslizamentos planar e circular, fluxo de detritos e queda de blocos. São atribuídas quatro classes de perigo a movimentos de massa: P1 (perigo baixo), P2 (perigo moderado), P3 (perigo alto) e P4 (perigo muito alto). Em síntese, tal qualificação está baseada na intensidade e dimensão de registros de depósitos de movimentos de massa anteriores e dos indícios de instabilidade dos terrenos. A etapa final corresponde a análise do risco, na qual se deve relacionar os resultados da fase anterior ao grau de vulnerabilidade das edificações suscetíveis a serem atingidas pelos processos geodinâmicos analisados.

Faz-se necessário esclarecer o conceito de perigo geológico, que pode ser definido como a possibilidade de ocorrência de um processo geodinâmico que possa gerar dano financeiro, humano e/ou material em um determinado período de tempo. Embora as definições de perigo e risco sejam muito semelhantes, salienta-se que ao se tratar de risco, os danos possíveis devem

ser mensurados. Contudo, essas áreas por não apresentarem ocupação permanente, a circulação de turistas cria uma situação de risco temporário e variável, de acordo com a quantidade de visitantes, uma vez, que o risco geológico é função do perigo e dos prováveis danos. Sob essa ótica, quanto maior o volume de frequentadores, maior será o grau de risco associado ao atrativo natural.

Diante à diferença entre a ocupação e finalidade do uso das áreas dos balneários e seu caráter mais pontual, as etapas relacionadas a delimitação das áreas críticas e de dispersão não foram executadas, dessa forma, não se justifica o emprego dos critérios topográficos, bem como a qualificação de risco, que se baseia em ocupações urbanas. Portanto, levou-se em consideração como diretrizes apenas as orientações relacionadas a qualificação de perigo baseadas em indícios de instabilidade nos balneários, além de algumas características das famílias de descontinuidades geomecânicas descritas. Dessa forma, estabelece-se os seguintes cenários de perigo geológico:

- ***Baixo*** – Os balneários não apresentam feições de instabilidade e embora possa haver raros e pequenos depósitos gerados por antigos movimentos de massa, a possibilidade de futura deflagração é baixa. Nesses locais, espera-se observar maciços rochosos com descontinuidades fechadas, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal, grau de fraturamento baixo e com mergulhos contrários aos taludes. Esta condição geométrica permite que os possíveis blocos formados estejam assentados sobre estrutura planar confinante, impossibilitando movimentação. Podem estar relacionadas a áreas sem grandes quebras topográficas e ocorrência de maciços rochosos em seu entorno, reduzindo a probabilidade de outros processos geodinâmicos.
- ***Moderado*** – Estes atrativos naturais não apresentam conspícuas feições de instabilidade e ainda que ocorram depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa pretéritos, a suscetibilidade a tais processos geodinâmicos é moderada. Mesmo que possam ser observados blocos rolados, estes são muito angulosos e, de modo geral, bastante imbricados, reduzindo a probabilidade de rolamento. Nesses locais, podem ser observadas famílias de descontinuidades com aberturas variadas, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal. Contudo, pode haver cenários isolados suscetíveis a movimentação de blocos rochosos em áreas de difícil acesso aos visitantes.
- ***Alto*** – Nestes locais são observados relevantes indícios de instabilidade e depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa anteriores, a suscetibilidade a movimentos de massa é alta. Observam-se descontinuidades abertas, intensa percolação de água e

colonização vegetal, além de um elevado grau de fraturamento. Podem ser identificados inúmeros blocos rochosos que já sofreram movimentação e/ou estão em situação de iminente queda, contudo, podem estar assentados em descontinuidades com mergulho contrário aos paredões das cachoeiras. De modo geral, estão relacionados a vales encaixados.

- ***Muito alto*** – As feições de instabilidade são patentes, observam-se depósitos gerados por movimentos de massa anteriores e cicatrizes de escorregamentos. A probabilidade de ocorrência desses processos geodinâmicos é muito alta. Comumente, as estruturas que seccionam os maciços rochosos são muito abertas, caracterizadas por elevado grau de fraturamento, colonização vegetal e intensa percolação, apresentando sinais de surgência de água. De modo geral, estão relacionados a paredões rochosos verticalizados. Podem ser descritos inúmeros blocos caídos e/ou em situação de movimentação iminente, como calhaus sem sustentação e blocos assentados em descontinuidades desconfinadas, cujo plano de base mergulha no mesmo sentido que as paredes do balneário.

Os 23 atrativos turísticos naturais avaliados apresentam áreas de visitação muito distintas, alguns muito restritos, devido a grandes quebras topográficas e vales muito encaixados, e outros abrangendo áreas mais amplas. Dessa forma, para os balneários de maior extensão, optou-se por indicar pontualmente as situações de perigo geológico mais elevado em um contexto geral de perigo mais baixo.

Posteriormente, outras visitas foram realizadas nos balneários classificados como de perigo alto e muito alto, visando a indicação de intervenções nestes atrativos, quando possível, e orientação para a utilização segura dos visitantes a esses locais.

Embora esse procedimento tenha se embasado em alguns conceitos como perigo, as avaliações deram-se em caráter pontual e não estão associadas a áreas urbanizadas. Dessa forma, secundariamente, os dados obtidos tiveram como função, a indicação das potencialidades dos terrenos nos quais os balneários estão inseridos, compondo o arcabouço de informações para a caracterização das unidades delimitadas.

Posteriormente, entre os meses de novembro e dezembro de 2024, novas visitas foram realizadas nos balneários qualificados como de perigo alto e muito alto, com a finalidade de verificar a manutenção das condições nessas áreas.

4.3.3 Elaboração do mapa geotécnico final

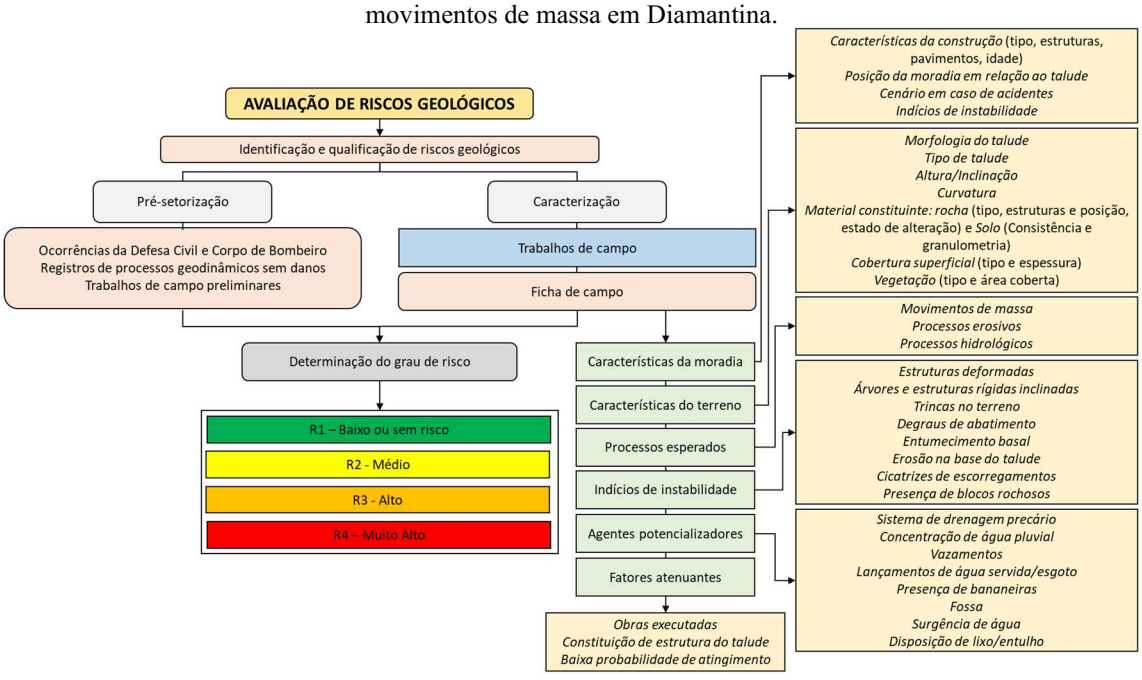
Para a finalização desta etapa da pesquisa foram utilizadas as informações relacionadas a caracterização dos terrenos associadas ao mapa geotécnico preliminar. Dentre os dados

obtidos estão as características geomecânicas de rochas e maciços rochosos, indícios de processos geodinâmicos deflagrados e feições de instabilidade. Nesta fase, baseado na análise dos dados supracitados as unidades delimitadas no mapa geotécnico preliminar foram reagrupadas de acordo com similaridades de comportamento geomecânico e suscetibilidade a processos geodinâmicos. O produto gerado corresponde ao Mapa Geotécnico, em escala 1:100.000, para a porção sul do município de Diamantina.

4.4 Avaliação de riscos geológicos urbanos

A avaliação de riscos geológicos associados a movimentos de massa correspondeu a última etapa da caracterização dos terrenos da porção sul do município de Diamantina. Pretendeu-se com este trabalho focar na classificação dos riscos geológicos nos setores mais críticos da cidade, incluindo os identificados nos outros distritos inseridos na área de estudo. Conforme sintetizado na figura 25.

Figura 25 – Sequência de procedimentos executados para avaliação de riscos geológicos associados a movimentos de massa em Diamantina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para tanto, durante o planejamento dos levantamentos de campo, foram selecionados setores com base no inventário de processos geodinâmicos e lavras garimpeiras, além dos registros obtidos pela Defesa Civil Municipal e o Corpo de Bombeiros Militar. Posteriormente,

vistorias foram realizadas para identificação e cadastro de riscos, e por fim, a delimitação e classificação dos cenários de risco geológico associados a movimentos de massa.

Os levantamentos de campo tiveram como finalidade a caracterização dos setores selecionados na fase anterior. As atividades contemplaram as análises da vulnerabilidade das ocupações (infraestrutura e características construtivas), a intensidade dos possíveis danos (destruição potencial de infraestrutura) e descrições das condições das áreas analisadas (indícios de instabilidade, cicatrizes de movimentos de massa pretéritos e características das encostas, dente outros), conforme elencados na ficha de vistoria (Apêndice B) elaborada com base nas metodologias propostas por Ministério das Cidades e IPT (2007), Pimentel e Santos (2018), Lana *et al.* (2021) e Menezes (2021).

Posteriormente, com base na vulnerabilidade, danos possíveis e probabilidade de deflagração, o risco foi qualificado em uma das quatro classes propostas (R1 a R4) por Ministério das Cidades e IPT (2007), que abaixo são descritas por Lana *et al.* (2021). A metodologia aplicada para classificação foi proposta por Campos (2011). A delimitação das situações de risco ocorreu em ambiente SIG, com o auxílio do *software QGis 3.34.14*.

- ***Baixo ou inexistente (R1)*** – 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. Não são observadas evidências de instabilidade e não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. Caso sejam mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
- ***Médio (R2)*** – 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. É observada a presenção de evidências de instabilidade (encostas e margens de drenagens, porém incipientes. Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. Em caso de manutenção das condições existentes a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos é reduzida durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
- ***Alto (R3)*** – Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção antrópica no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Podem ser

observadas presença significativa de evidência de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, mas ainda sendo possível o monitoramento da evolução do processo. 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.

- ***Muito alto (R4)*** – 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. As 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, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. O processo de instalibização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. Caso sejam 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.

As fichas de vistoria (Apêndices A e B) elaboradas para a realização das avaliações de perigo e risco geológico associadas a áreas turísticas naturais e urbanas foram, ao fim do processo, analisadas e comparadas, resultando no artigo intitulado "*AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS EM ÁREAS URBANAS E EM ATRATIVOS TURÍSTICOS NATURAIS: UMA COMPARAÇÃO ENTRE ASPECTOS METODOLÓGICOS*", apresentado no apêndice I.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Mapa geotécnico

5.1.1 Mapa geotécnico preliminar

Foram individualizadas, preliminarmente, 24 unidades (Quadro 5 e Figura 26) diferenciadas entre si pelo índice de concentração de rugosidade (ICR) e o agrupamento litológico, baseado no comportamento geotécnico das rochas.

Quadro 5 – Características gerais das unidades geotécnicas preliminares.

Unidade geotécnica	Litologias dominantes	Índice de concentração de rugosidade
1	Coberturas inconsolidadas	Terrenos planos a suavemente ondulados
2	Rochas sedimentares químicas	Relevo ondulado
3	Coberturas inconsolidadas	Relevo ondulado
4	Quartzitos	Relevo ondulado
5	Quartzitos e rochas metamórficas foliadas	Relevo ondulado
6	Rochas intrusivas ultrabásicas	Relevo ondulado
7	Rochas metamórficas foliadas	Relevo ondulado
8	Rochas sedimentares químicas	Relevo forte ondulado
9	Metadiamictitos	Relevo forte ondulado
10	Rochas graníticas	Relevo forte ondulado
11	Coberturas inconsolidadas	Relevo forte ondulado
12	Quartzitos	Relevo forte ondulado
13	Quartzitos e rochas metamórficas foliadas	Relevo forte ondulado
14	Rochas intrusivas ultrabásicas	Relevo forte ondulado
15	Rochas metamórficas foliadas	Relevo forte ondulado
16	Rochas sedimentares químicas	Relevo escarpado a fortemente escarpado
17	Metaconglomerados	Relevo escarpado a fortemente escarpado
18	Metadiamictitos	Relevo escarpado a fortemente escarpado
19	Rochas graníticas	Relevo escarpado a fortemente escarpado
20	Coberturas inconsolidadas	Relevo escarpado a fortemente escarpado
21	Quartzitos	Relevo escarpado a fortemente escarpado
22	Quartzitos e rochas metamórficas foliadas	Relevo escarpado a fortemente escarpado
23	Rochas intrusivas ultrabásicas	Relevo escarpado a fortemente escarpado
24	Rochas metamórficas foliadas	Relevo escarpado a fortemente escarpado

Fonte: Elaborado pelo autor.

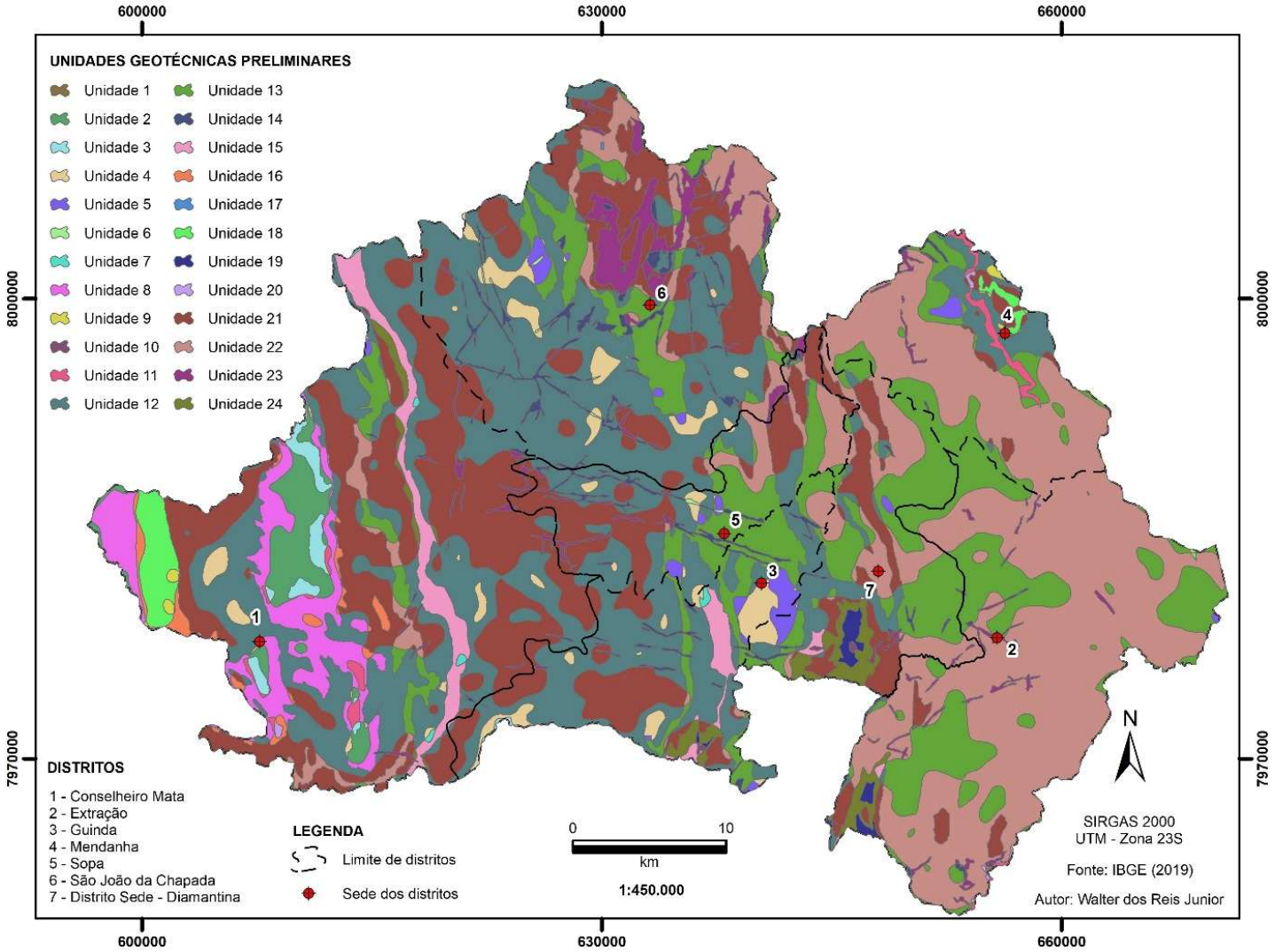
Dentre estas, uma ocorre em terrenos planos a suavemente ondulados (Unidade 1), seis são caracterizadas pela ocorrência de classes de relevo ondulado (Unidades 2 a 7), oito em terrenos forte ondulado (Unidades 8 a 15) e nove unidades em terrenos escarpados a fortemente escarpados (Unidades 16 a 24). Do ponto de vista de sua composição litológica são constituídas por rochas sedimentares químicas (Unidades 2, 8 e 16), metaconglomerados (Unidade 17),

metadiamictitos (Unidades 9 e 18), associação de rochas graníticas (Unidades 10 e 19), coberturas inconsolidadas (Unidades 1, 3, 11 e 20), quartzitos (Unidades 4, 12 e 21), associação de quartzitos e rochas metamórficas foliadas (Unidades 5, 13 e 22), rochas intrusivas ultrabásicas (6, 14 e 23) e rochas metamórficas foliadas (7, 15 e 24).

A declividade exerce grande influência na deflagração de processos geodinâmicos, seja no controle da velocidade do escoamento superficial interferindo no desenvolvimento de erosões lineares e em lençol, ou na relação angular com as estruturas geológicas e ângulo de atrito interno de rochas e solos, condicionando movimentos de massa, como escorregamentos.

No que diz respeito as rochas que constituem a região, a grande variedade litológica e estrutural possibilita a ocorrência de inúmeros processos geodinâmicos. Afloramentos rochosos de quartzitos, metaconglomerados, metadiamictitos e rochas graníticas apresentam, quando pouco intemperizados, maior estabilidade frente a movimentos de massa, porém quando muito fraturados podem gerar blocos rochosos, condicionando rolamentos e quedas de blocos, sobretudo em relevos escarpados. Já as rochas foliadas, como filitos e xistos, podem condicionar escorregamentos translacionais e quando associadas a outras estruturas geológicas, também são responsáveis por outros tipos de escorregamentos e formação de blocos de rochosos. Tratando-se de rochas carbonáticas, como dolomitos e calcários, a resistência mecânica é elevada, porém sua alta solubilidade pode influenciar a deflagração de colapsos e processos correlatos, devido a processos de carstificação.

Figura 26 – Mapa geotécnico preliminar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2 Caracterização do mapa geotécnico preliminar

5.1.2.1 Inventário de processos geodinâmicos

A partir da análise das imagens de satélite foram inventariadas (Figura 27) 1170 feições de processos erosivos lineares. É possível notar uma maior densidade de ravinas e voçorocas no entorno das áreas urbanizadas, sobretudo na região do distrito Sede, bem como nas adjacências de estradas, pavimentadas ou não, e garimpos e minerações de rochas ornamentais.

Salienta-se a forte interferência antrópica com o avanço da urbanização, com a realização de cortes para ampliação da infraestrutura urbana. Ainda, esses processos podem estar relacionados a pretérita e desordenada atividade garimpeira, que culminou em diversas catas abandonadas, que eventualmente ainda são exploradas ilegalmente. Por meio desse procedimento não foi possível a identificação de movimentos de massa, devido a resolução das imagens disponíveis para a região.

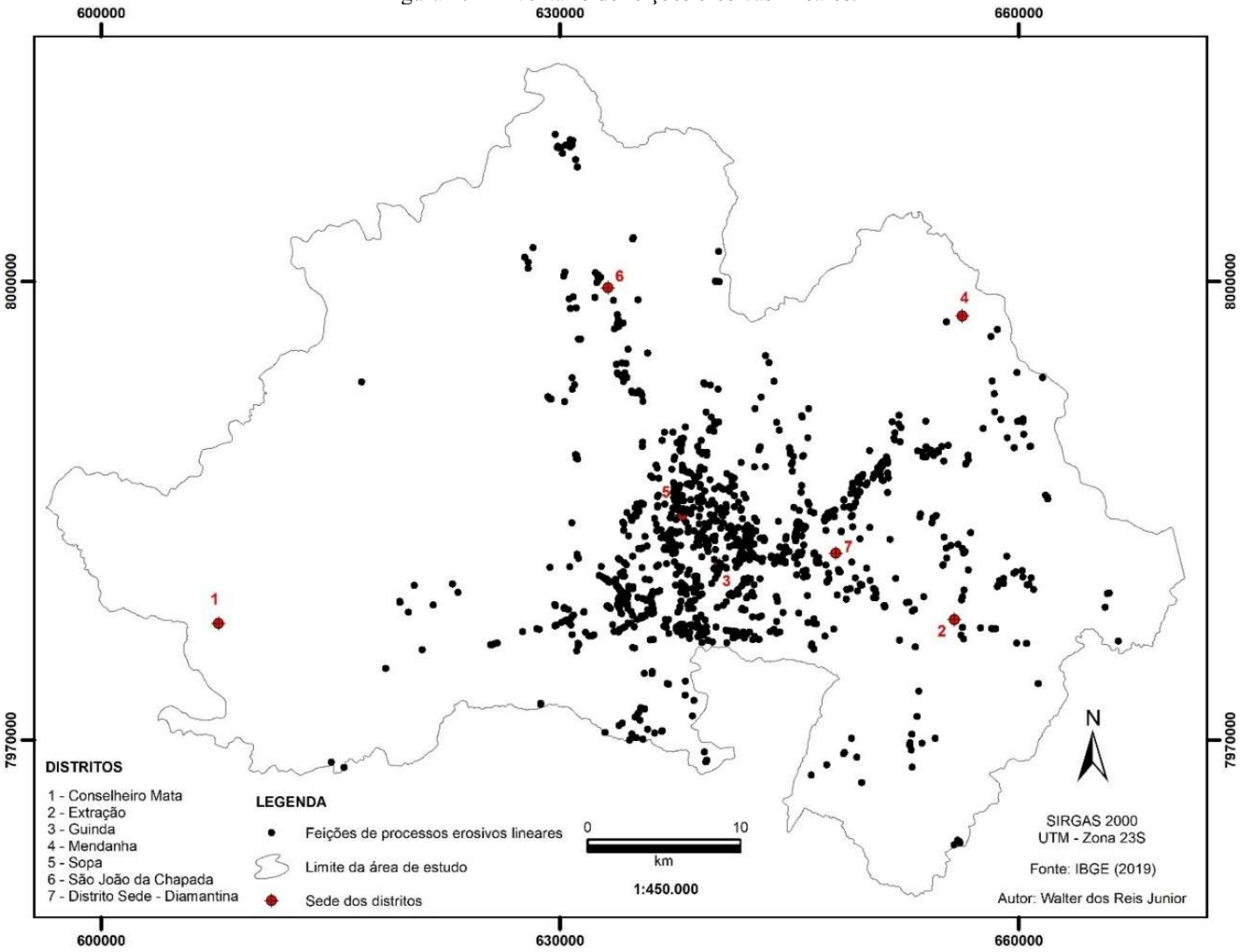
Outros fenômenos da dinâmica superficial foram inventariados (Figura 28) a partir registros de ocorrências atendidas pela Defesa Civil Municipal e Corpo de Bombeiros Militar. Salienta-se, portanto, que esta base de dados é reduzida. Adicionalmente, foram catalogados cicatrizes e indícios de movimentos de massa registrados durante as campanhas de campo realizadas e, eventuais, informações disponibilizadas nas mídias. Foram registradas um total de 178 ocorrências, desde 2019, sendo 48 movimentos de massa e 130 inundações e enchentes.

5.1.2.2 Extração de lineamentos estruturais

A partir da análise das imagens multidirecionais geradas com base em dois conjuntos de relevos sombreados com diferentes azimutes de iluminação (0°/45°/90°/135°) e (180°/225°/270°/315°) foram identificados, respectivamente, 1758 (Figura 29A) e 1583 lineamentos estruturais (Figura 29B).

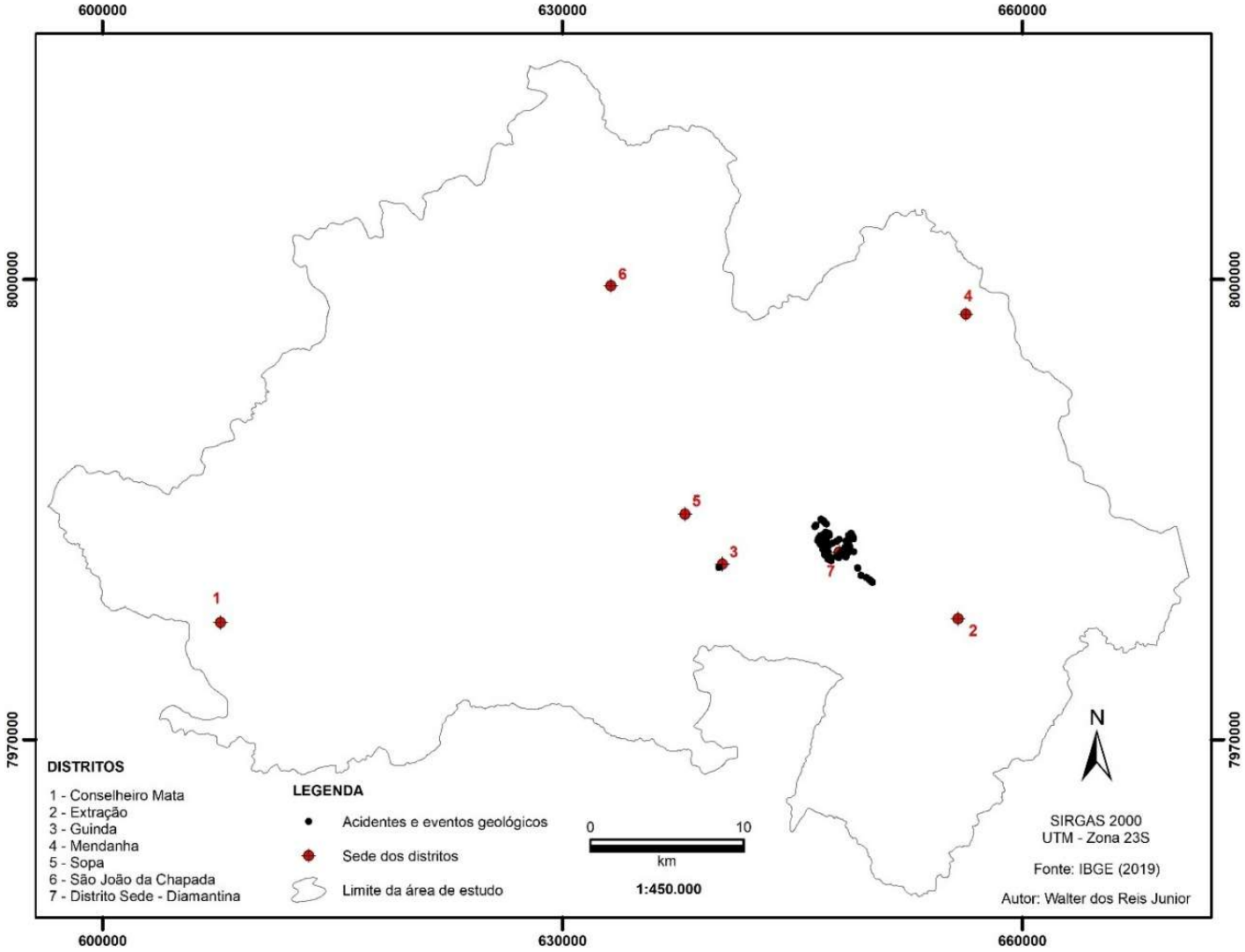
As orientações preferenciais são N-S (34,81% e 36,51%), NNW-SSE (33,39% e 31,52%) e àquelas NW-SE (16,67% e 15,48%), para as imagens multidirecionais A e B, respectivamente (Tabela 5 e Figura 30).

Figura 27 – Inventário de feições erosivas lineares.



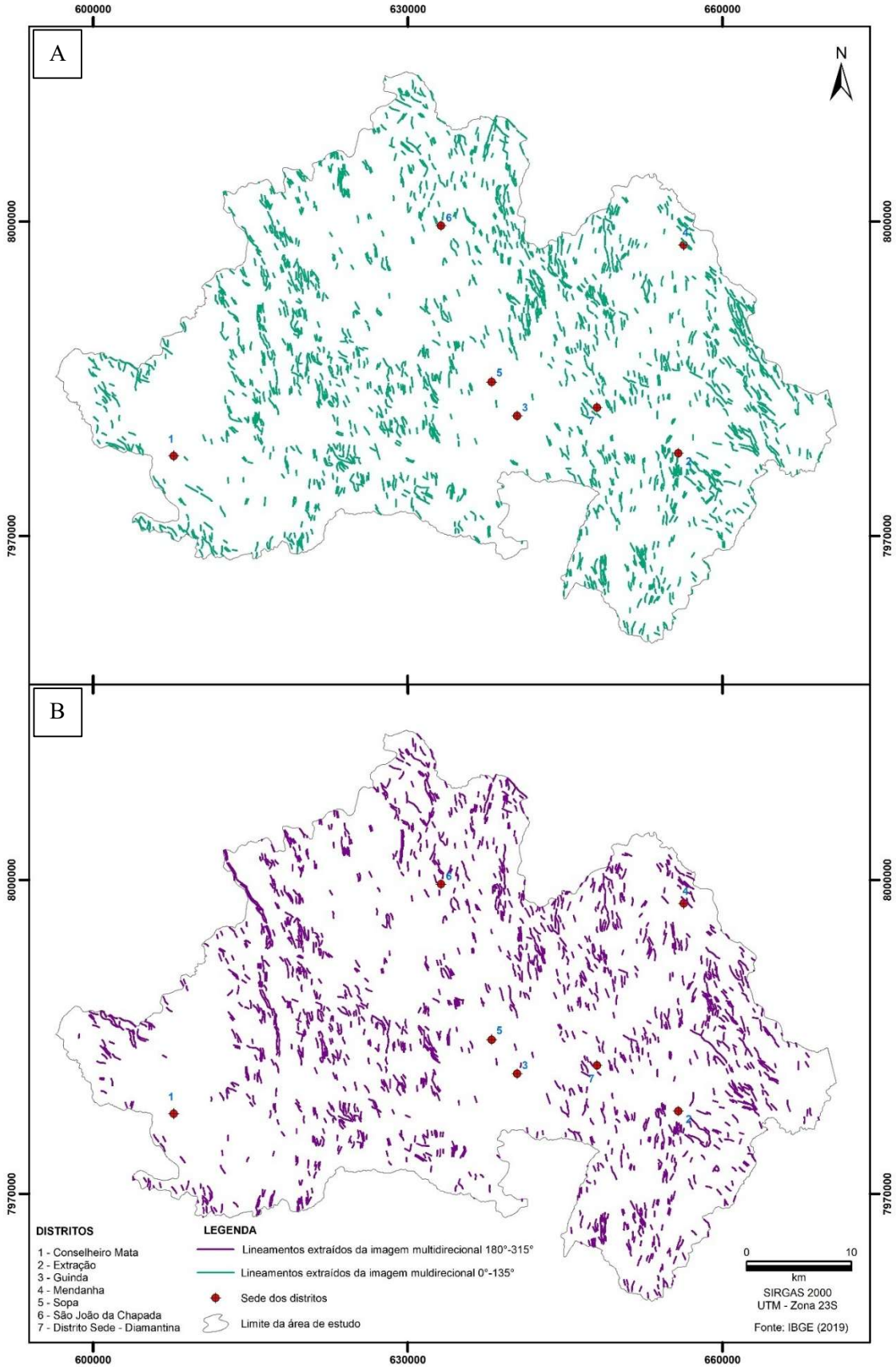
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 – Processos geodinâmicos registrados pela Defesa Civil e Corpo de Bombeiros Militar.



Fontes: Corpo de Bombeiros Militar e Defesa Civil Municipal de Diamantina.

Figura 29 – Lineamentos estruturais.



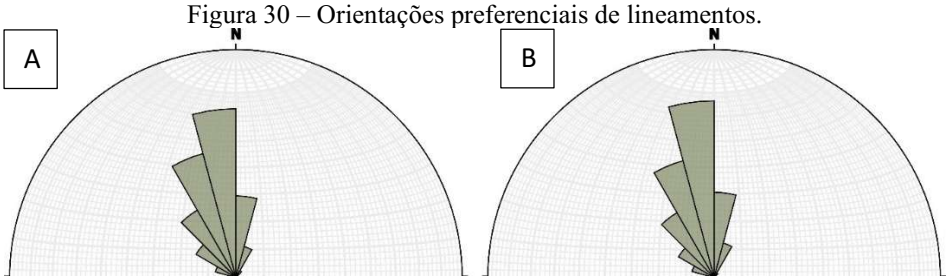
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 – Orientações preferenciais dos lineamentos.

Direção de lineamentos	Imagem multidirecional (0° - 135°)		Imagem multidirecional (180° - 315°)	
	Número de lineamentos	Porcentagem	Número de lineamentos	Porcentagem
N-S	612	34,81%	578	36,51%
NNE-SSW	140	7,96%	147	9,29%
NE-SW	14	0,80%	8	0,51%
ENE-WSW	0	0,00%	0	0,00%
W-E	9	0,51%	12	0,76%
WNW-ESE	103	5,86%	94	5,94%
NW-SE	293	16,67%	245	15,48%
NNW-SSE	587	33,39%	499	31,52%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 – Orientações preferenciais de lineamentos.

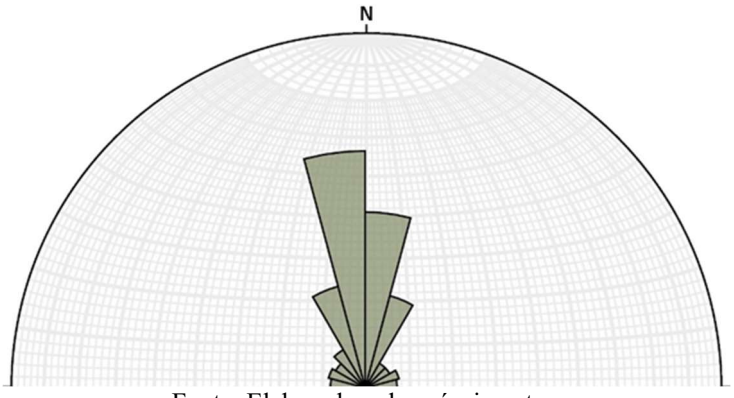


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2.3 Compilação de dados estruturais de mapas geológicos regionais

Obteve-se nos trabalhos de Fogaça (1997), Grossi-Sad *et al.* (1997), Noce (1997a), Noce (1997b), Souza e Grossi-Sad (1997), Knauer *et al.* (2014) e Saadi (1995) informações relacionadas a estruturas geológicas (acamamentos e foliações) e lineamentos. Respectivamente, nesta análise, foram utilizadas 379 e 1193 feições estruturais. Identificou-se as orientações preferenciais N-S (37,22 %), NNW-SSE (19,28%) e NNE-SSW (15,26%), em termos de lineamentos estruturais (Figura 31).

Figura 31 – Esterograma dos dados de estruturas lineares.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.1.2.4 Trabalhos de campo

Foram identificados quatro grupos litológicos principais que compõem o substrato geológico do município de Diamantina, a partir de 249 pontos descritos: quartzitos, metaconglomerados, filitos e xistos, que eventualmente afloram associados.

5.1.2.5 Avaliação de Perigo de Balneários em Diamantina

Os atrativos geoturísticos vistoriados se desenvolveram em substrato rochoso composto por quartzitos, metaconglomerados e filitos, controlados por diferentes sistemas de descontinuidades geomecânicas, todas de caráter regional. As estruturas geológicas consideradas são responsáveis por compartimentar os maciços rochosos. Observam-se falhas de empurrão de direção, aproximadamente, N-S e falhas ou fraturas de direção NW-SE e NE-SW.

A compartimentação estrutural condicionada pelas descontinuidades descritas intensifica a fragmentação dos maciços rochosos, visto que estas correspondem à planos de fraqueza estrutural. A relação entre os sistemas de descontinuidades influencia a formação de blocos de rocha, aumentando, assim, a permeabilidade do maciço, o que permite uma intensificação nos processos de intemperismo, o que reduz alguns parâmetros geomecânicos, como coesão e ângulo de atrito interno do maciço, levando à deflagração de movimentos de massa, ou seja, a sua instabilidade.

Nos balneários inseridos no contexto de quartzitos e metaconglomerados, as supracitadas estruturas são bastante relevantes e podem interagir com estruturas metassedimentares, como acamadamento, que também representam descontinuidades geomecânicas. As vertentes associadas aos atrativos, quando nesse cenário, comumente possuem elevada suscetibilidade à movimentos de massa, como quedas e tombamentos de blocos, sobretudo em regiões com vales fechados e paredões rochosos íngremes. Contudo, nas áreas de ocorrência de filitos, a foliação metamórfica característica de tal litologia pode condicionar escorregamentos planares, quando estas estruturas estiverem desconfinadas.

Os principais processos geodinâmicos identificados durante as vistorias foram rolamento, tombamento e queda de blocos e, subordinadamente, escorregamentos. O quadro 6 sintetiza a classificação de perigo dos balneários vistoriados. Os resultados desta etapa também são apresentados no artigo publicado na Revista Espinhaço (Apêndice H).

Quadro 6 – Classificação de perigo geológico nos balneários vistoriados.

Balneário	Localização	Grau de perigo	Unidade geológica
Cachoeira da Sentinela	Distrito Sede - Parque Estadual do Biribiri	**Baixo a inexistente**	Formação São João da Chapada
Cachoeira dos Cristais	Distrito Sede - Parque Estadual do Biribiri	**Baixo a inexistente**	Formação São João da Chapada
Complexo da Água Limpa	Distrito Sede - Parque Estadual do Biribiri	**Baixo a inexistente**	Formação Sopa-Brumadinho
Cachoeira Pai Rocha	Mendanha (Caminho dos Escravos)	**Alto**	Formação Sopa-Brumadinho
Cachoeira Vó Toninho	Mendanha (Caminho dos Escravos)	**Baixo a inexistente**	Formação Sopa-Brumadinho
Cacheira Sotter	Mendanha (Caminho dos Escravos)	**Alto**	Formação Sopa-Brumadinho
Cachoeira Bicas	Mendanha (Caminho dos Escravos)	**Baixo a inexistente**	Formação Sopa-Brumadinho
Poço do Estudante	Distrito Sede - Parque Estadual do Biribiri	**Baixo a inexistente**	Formação Sopa-Brumadinho
Poço Verde	Mendanha (Caminho dos Escravos)	**Baixo a inexistente**	Formação Sopa-Brumadinho
Ribeirão das Pedras	Sopa (Vila do Biribiri)	**Baixo a inexistente**	Formação São João da Chapada
Cachoeira das Fadas	Conselheiro Mata	**Alto**	Formação Córrego Pereira
Cachoeira do Telésfero	Conselheiro Mata	**Baixo a inexistente**	Formação Córrego Bandeira
Complexo Cachoeiras da Raiz e Tombadouro	Conselheiro Mata	**Baixo a inexistente**	Formação Córrego Pereira
Cachoeira dos Remédios	Extração	**Alto**	Formação Sopa-Brumadinho
Barragem de Extração/Curralinho	Extração	**Baixo a inexistente**	Formação Sopa-Brumadinho
Cachoeira Santa Apolônia	Mendanha	**Médio**	Fm. Duas Barras (Gr. Macaúbas)
Balneário entre o Rio Pinheiro e Jequitinhonha	Mendanha	**Baixo a inexistente**	Fm. Duas Barras (Gr. Macaúbas)
Cachoeira da Florença	Extração (Povoado do Vau)	**Médio**	Formação Sopa-Brumadinho
Lagoa Azul	Guinda	**Baixo a inexistente**	Formação Sopa-Brumadinho
Balneário sob a Ponte do Acaba Mundo	Extração	**Baixo a inexistente**	Formação Sopa-Brumadinho
Balnéario Ribeirão do Inferno	Extração	**Baixo a inexistente**	Formação Sopa-Brumadinho
Cachoeira da Toca	Distrito Sede	**Muito alto**	Formação Sopa-Brumadinho
Cachoeiras Bambá e Andorinhas	Distrito Sede	**Muito alto**	Formação Sopa-Brumadinho

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.1.2.5.1 Cachoeira da Sentinela – Parque Estadual do Biribiri

O complexo está esculpido em quartzito e é composto por três níveis, separados por duas quedas d'água (Figura 32). O poço inferior (Figura 33) é alimentado por uma por uma cachoeira, cuja parede tem aproximadamente 10 metros de altura e forma escalonada. A

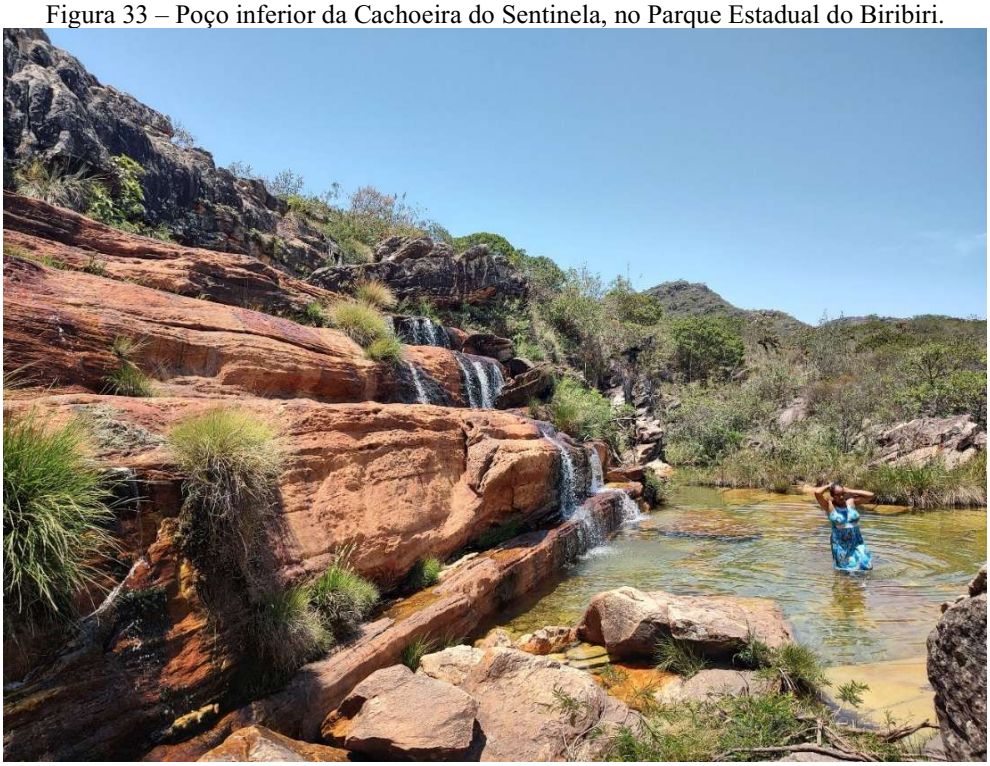
estrutura metassedimentar mais proeminente corresponde ao acamamento ainda preservado, contudo este mergulha em sentido contrário a orientação do paredão.

Figura 32 – Imagem de satélite da Cachoeira do Sentinela e posicionamento das fotografias.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em *Google Satellite* (2024).

Figura 33 – Poço inferior da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Na porção superior desta cachoeira, três sistemas de fraturas se tornam mais evidentes, portanto, o grau de fraturamento é maior, entretanto, blocos rochosos individualizados são raros. É possível observar um bloco individualizado no topo à esquerda da parede, delimitado por descontinuidades abertas e com colonização vegetal (Figura 34). Neste cenário, há possibilidade de rolamento de blocos, caso ele se desprenda do maciço rochoso.

Figura 34 – Bloco delimitado (indicado por seta vermelha) na porção superior esquerda com baixo perigo de rolamento na parede do poço inferior da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri.



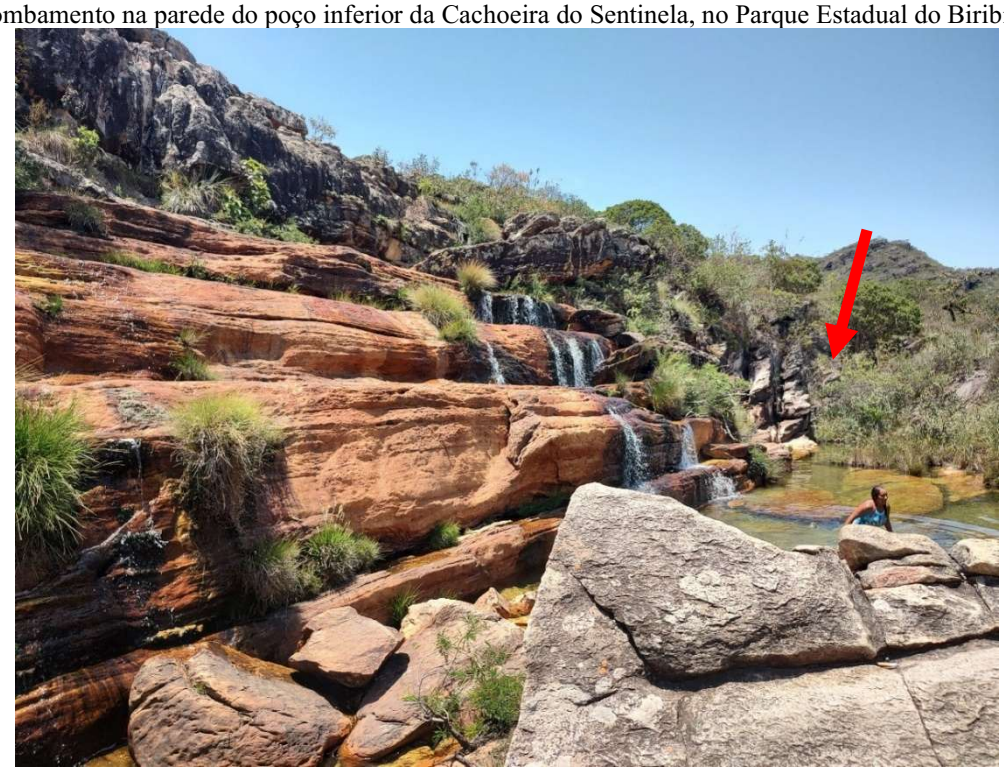
Fonte: Autor.

No lado direito da cachoeira, embora não estejam delimitados blocos rochosos, um sistema de fratura, subparalelo à orientação da parede, condiciona a formação de prismas de rochas (Figura 35), que podem sofrer tombamento, entretanto, caso haja a deflagração do processo, a área atingida é pouco acessível aos turistas.

O poço principal (Figura 36) possui um paredão verticalizado com cerca de 3 metros de altura. Parte do poço está encaixado em um pequeno “vale”, formado entre a parede da cachoeira e um grande bloco rochoso, já movimentado. Acima deste, são observados diversos blocos soltos (Figuras 37 e 38) que podem se movimentar em direção ao poço, entretanto estão repousados sobre planos sub-horizontais a levemente inclinado em direção ao poço. Nos poços superiores da Cachoeira do Sentinela (Figura 39) não foram identificadas situações que gerem risco aos visitantes.

Este balneário, portanto, é classificado como de perigo baixo a inexistente, embora haja cenários pontuais de perigo geológico mais elevado, conforme identificados acima.

Figura 35 – Lascas de rochas (indicado por seta vermelha) na porção inferior direita com baixo perigo de tombamento na parede do poço inferior da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Figura 36 – Vista frontal do poço principal da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri.



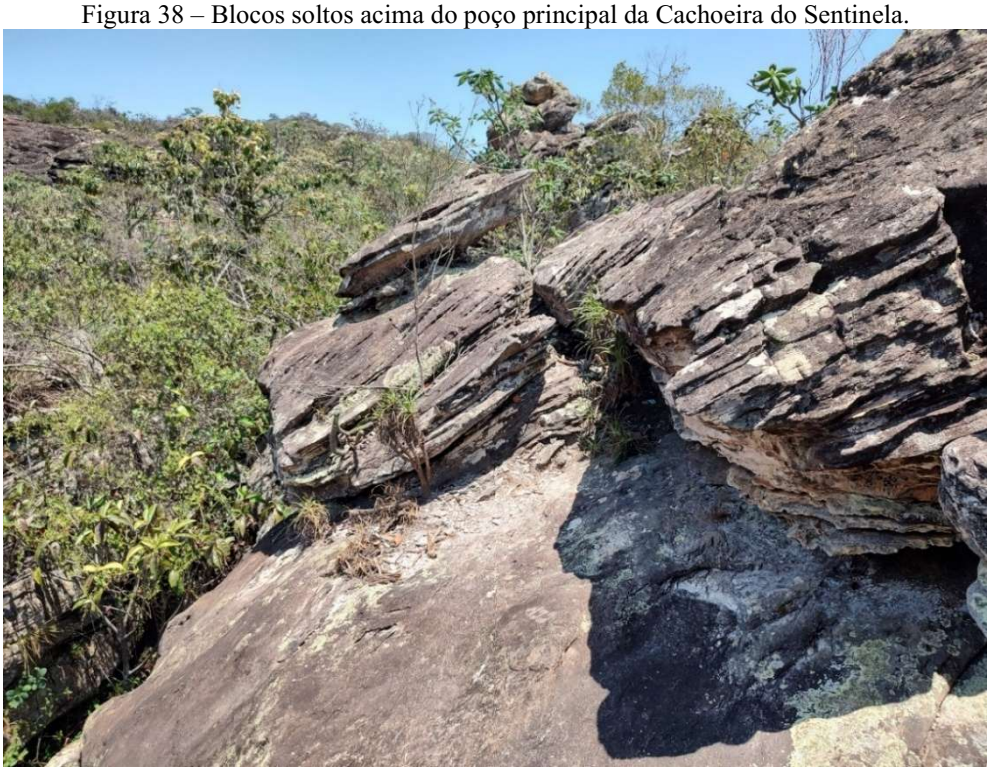
Fonte: Autor.

Figura 37 – Blocos soltos (indicado por seta vermelha) acima do poço principal com perigo de rolamento, vista a partir do poço superior.



Fonte: Autor.

Figura 38 – Blocos soltos acima do poço principal da Cachoeira do Sentinela.



Fonte: Autor.

Figura 39 – Vista panorâmica do patamar superior da Cachoeira do Sentinela, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.2 Cachoeira dos Cristais – Parque Estadual do Biribiri

O balneário é composto por três níveis (Figura 40), um poço bem restrito na porção mais elevada da área, o poço principal, mais frequentemente visitado, e uma sequência de pequenas quedas d'água que seguem o curso da drenagem (Figura 41). O acesso a estes locais não apresenta situações de perigo aos turistas.

Na porção superior (Figura 42), um pequeno poço está encaixado em quartzito bastante recristalizado com muitos veios de quartzo, características que conferem a rocha uma elevada resistência mecânica e ao intemperismo.

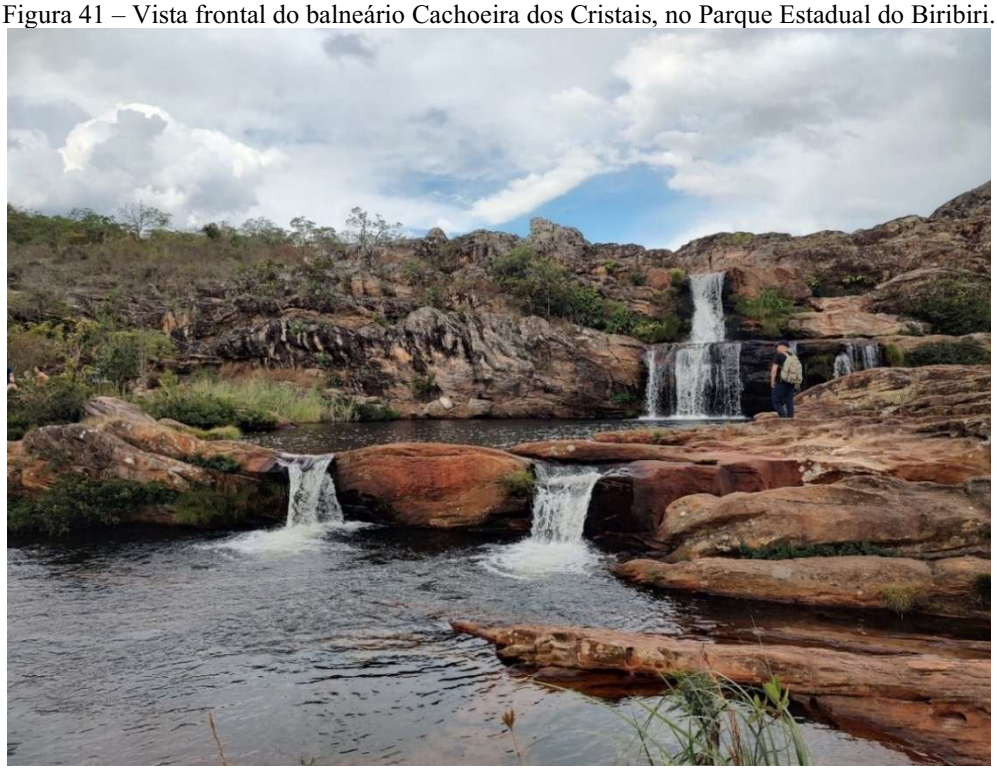
Nas paredes mais ocidentais, as principais estruturas, que compartimentam o maciço, são foliações e planos de acamamento que mergulham em sentido contrário a estas paredes. Estes sistemas de descontinuidades são pouco persistentes e bem fechados, portanto, não são verificados blocos rochosos delimitados que possam se movimentar.

Figura 40 – Imagem de satélite do balneário Cachoeira dos Cristais e posicionamento das fotografias.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em *Google Satellite* (2024).

Figura 41 – Vista frontal do balneário Cachoeira dos Cristais, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Figura 42 – Poço superior do balneário Cachoeira dos Cristais, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Em algumas áreas, bem restritas, o maciço é muito fraturado, individualizando pequenos blocos (Figura 43), que não ultrapassam 12 cm de extensão, porém, ocorrem em paredes com cerca de 1 metro de altura, representando um cenário de perigo basicamente inexistente.

Na porção superior esquerda das paredes da queda d'água (Figura 44) que alimenta o poço principal, são identificados pequenos blocos soltos, cujo tamanho é condicionado pela interação dos sistemas de descontinuidades geomecânicas (fraturas, foliações e acamamento). Contudo, não há potencial de atingir áreas frequentadas do balneário.

Na porção inferior esquerda, é possível observar um bloco, superior a um metro extensão, porém ainda preso (Figura 45), entretanto, caso haja desprendimento do maciço, este cairá de pequena altura. Já na porção direita da queda d'água não há indicações de perigo de queda de blocos ou outros movimentos de massa.

Observa-se, contudo, na porção logo abaixo da queda d'água um elevado potencial de desplacamento de lascas rochosas (Figura 46), condicionadas pela foliação/acamamento das rochas que compõem este maciço e influenciada por intensa percolação de água e eventual colonização vegetal.

Figura 43 – Blocos rochosos condicionados por grau de fraturamento elevado.



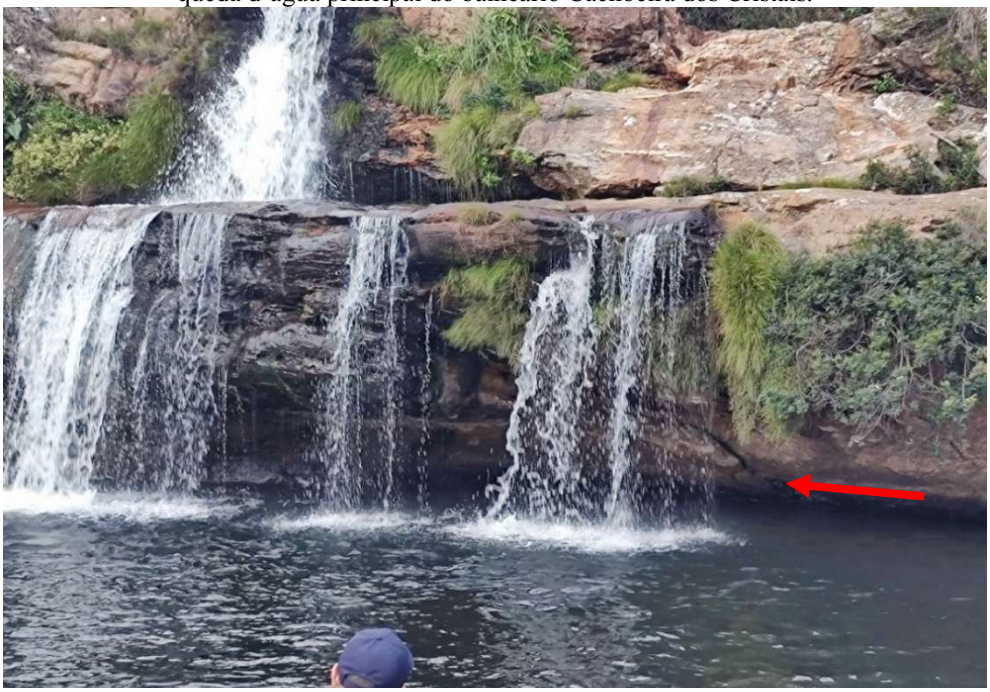
Fonte: Autor.

Figura 44 – Área de ocorrência de blocos soltos (indicado por seta vermelha) na porção superior esquerda e bloco rochoso delimitado (indicado com círculo vermelho) na porção inferior esquerda da queda d'água principal do balneário Cachoeira dos Cristais, vista a partir do poço principal.



Fonte: Autor.

Figura 45 – Placas rochosas (indicado por seta vermelha) com elevado perigo a desplacamento e queda atrás da queda d'água principal do balneário Cachoeira dos Cristais.



Fonte: Autor.

Figura 46 – Vista dos poços inferiores que bordejam o novo acesso ao balneário Cachoeira dos Cristais, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Nos níveis inferiores ao poço principal, na margem norte da drenagem é possível identificar sistemas de descontinuidades geomecânicas que condicionam a formação de blocos,

contudo a possibilidade de rolamento é baixa, visto que os fragmentos rochosos formados estão assentados sobre uma descontinuidade sub-horizontal.

Existem dois acessos para a Cachoeira dos Cristais, contudo não apresentam situações de perigo aos turistas. Este atrativo turístico natural é classificado como de perigo baixo a inexistente.

5.1.2.5.3 Complexo da Água Limpa – Parque Estadual do Biribiri

O acesso para o Complexo da Água Limpa (Figura 47) apresenta diversos sulcos e pequenas ravinas, em algumas é possível observar estruturas de contenção para barramento de sedimentos (Figura 48).

Figura 47 – Imagem de satélite do Complexo da Água Limpa e localização das fotografias.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em *Google Satellite* (2023).

O poço principal, de acessos mais fácil, é alimentado por uma drenagem, não apresentando assim, afloramentos rochosos ou fragmentos a seu entorno que possam condicionar processos geodinâmicos. Sua borda oeste corresponde a uma queda d'água que corre sobre uma vertente não muito inclinada. As estruturas mais persistentes que compartimenta o maciço mergulham em sentido contrário a este elemento geomorfológico. Não são observados nessa vertente blocos rochosos delimitados, nem condições para deflagração de outro tipo de movimento de massa (Figura 49).

Figura 48 – Estruturas de contenção de sedimentados para retardar processos erosivos lineares na trilha de acesso ao Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Figura 49 – Vertente que limita o poço principal do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

No patamar inferior, alimentado pela corredeira supracitada, as condições geológica-geotécnicas se mantem. Entretanto, observa-se intenso processo de erosão fluvial nas margens (Figuras 50 e 51). Essa situação gera perigo de solapamento das margens devido a sobrepeso.

Figura 50 – Erosão fluvial da margem esquerda no patamar intermediário do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Figura 51 – Erosão fluvial da margem esquerda no patamar intermediário do Complexo da Água Limpa.



Fonte: Autor.

Observa-se por todo o Complexo diversos blocos rochosos soltos, porém, todos assentados sobre o acamamento do quartzito, que mergulha contrariamente a vertente (Figuras 52 e 53).

Figura 52 – Blocos soltos assentados sobre descontinuidade geomecânica, cujo mergulho é contrário ao relevo das corredeiras do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

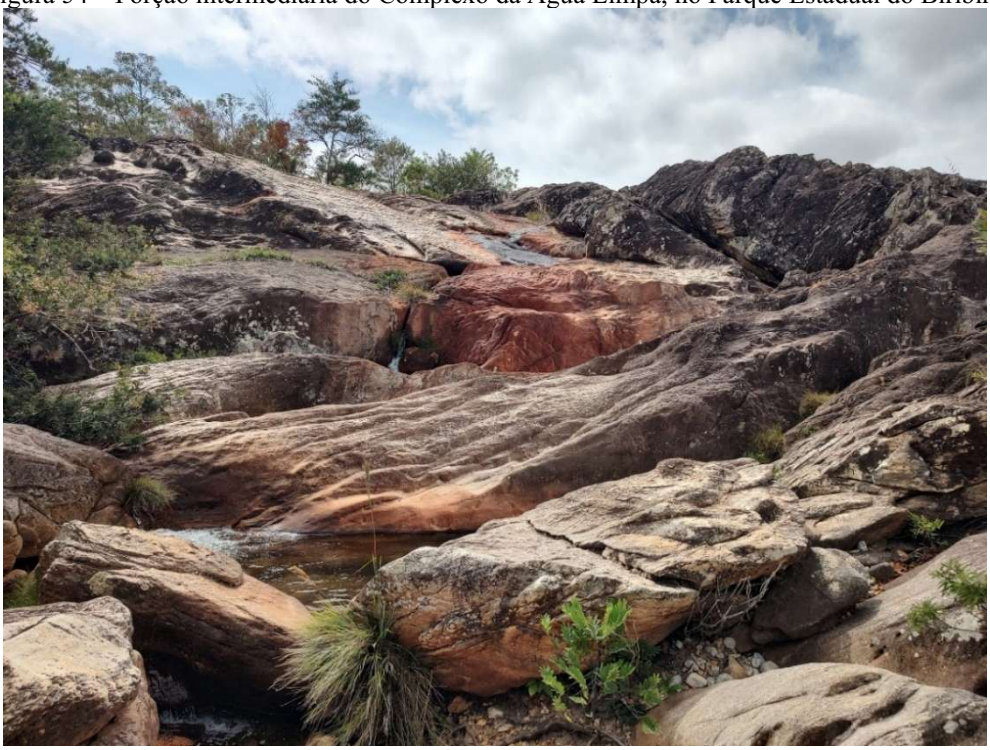
Figura 53 – Blocos soltos assentados sobre descontinuidade geomecânica, cujo mergulho é contrário ao releve das corredeiras do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Na porção mediana, caracterizada por ser um lajedo com declividade média e baixo fluxo de água (Figura 54), identifica-se uma cavidade com abertura variando entre 40 e 60 cm. Contudo, não formados blocos no teto da estrutura.

Figura 54 – Porção intermediária do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Neste mesmo setor, nas proximidades do curso d'água ocorre afloramento constituído por diversos blocos e matacões de quartzito (Figura 55), muito próxima a uma trilha alternativa de acesso ao balneário.

No patamar inferior do Complexo da Água Limpa corresponde a uma área de menor declividade, nota-se a possibilidade de que nos períodos de maior pluviosidade se formem lateralmente pontos de banho e até mesmo inundação (Figura 56). Margeando esses pontos são observados afloramentos com muitos blocos, estando vários destes sujeitos a quedas. Ainda, registra-se uma caverna com pinturas rupestres, sem formação de blocos no teto da cavidade.

Figura 55 – Afloramento composto por blocos e matacões de quartzito, próximo a trilha de acesso alternativa, com elevada suscetibilidade a tombamentos e quedas de blocos.



Fonte: Autor.

Figura 56 – Vista superior do nível patamar inferior do Complexo da Água Limpa, no Parque Estadual do Biribiri.



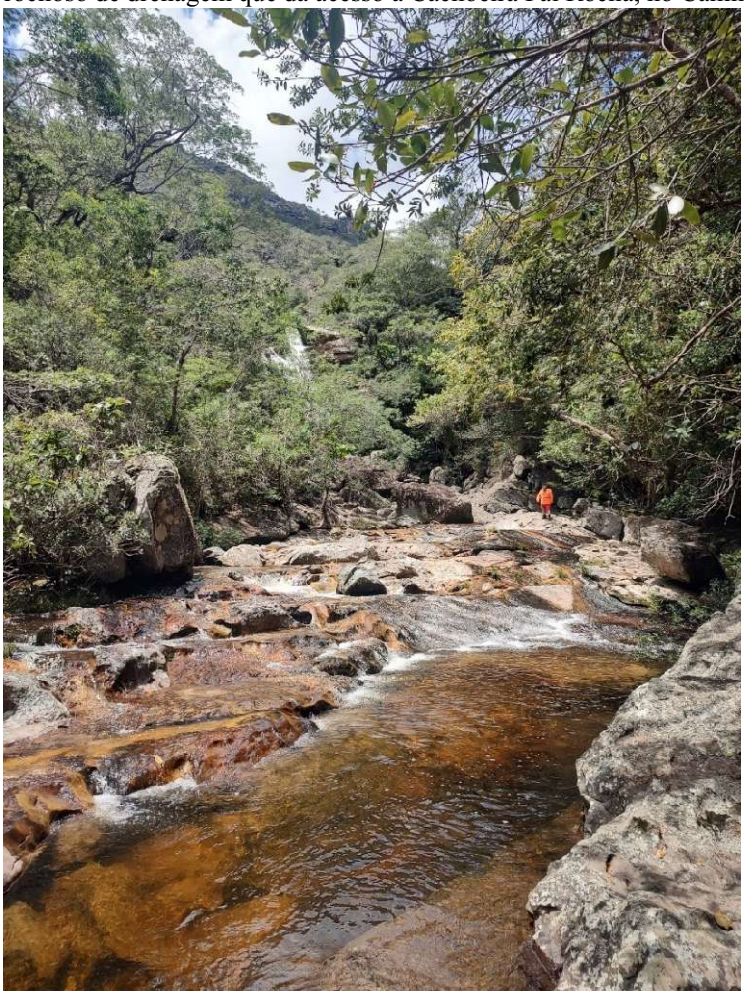
Fonte: Autor.

O Complexo da Água Limpa é classificado como de perigo baixo a inexistente, contudo há situações que podem oferecer perigo aos visitantes, conforme já apresentado.

5.1.2.5.4 Cachoeira Pai Rocha – Caminho dos Escravos (PEBI)

O acesso se dá pelo leito rochoso da drenagem alimentada pelas águas da Cachoeira do Pai Rocha (Figura 57). As vertentes são caracterizadas pela formação de blocos formados pela interação entre fraturas e o acamamento do quartzito, cuja mergulho ora está horizontalizado, ora contrário a vertente (Figuras 58 a 62). As descontinuidades se encontram abertas, com intensa percolação de água e colonização vegetal. Essas características condicionam uma situação de desplacamento e queda de blocos.

Figura 57 – Leito rochoso de drenagem que dá acesso à Cachoeira Pai Rocha, no Caminho dos Escravos.



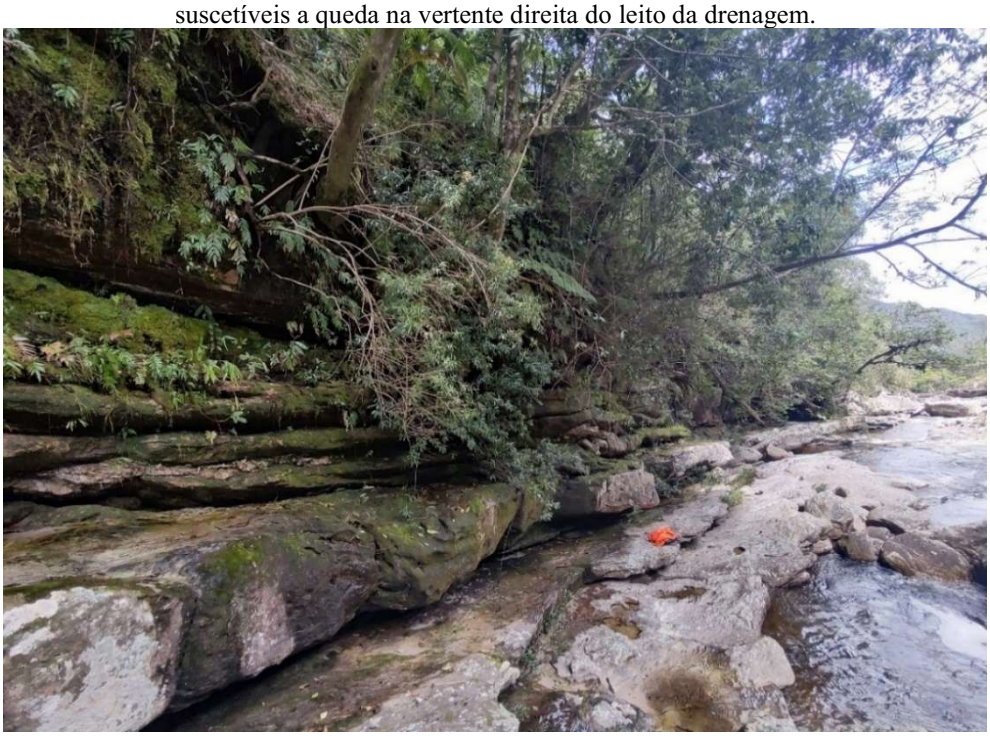
Fonte: Autor.

Figura 58 – Placas e blocos rochosos condicionados, sobretudo pela foliação/acamamento de quartzito, suscetíveis queda na vertente direita do leito da drenagem.



Fonte: Autor.

Figura 59 – Placas e blocos rochosos condicionados, sobretudo pela foliação/acamamento de quartzito, suscetíveis a queda na vertente direita do leito da drenagem.



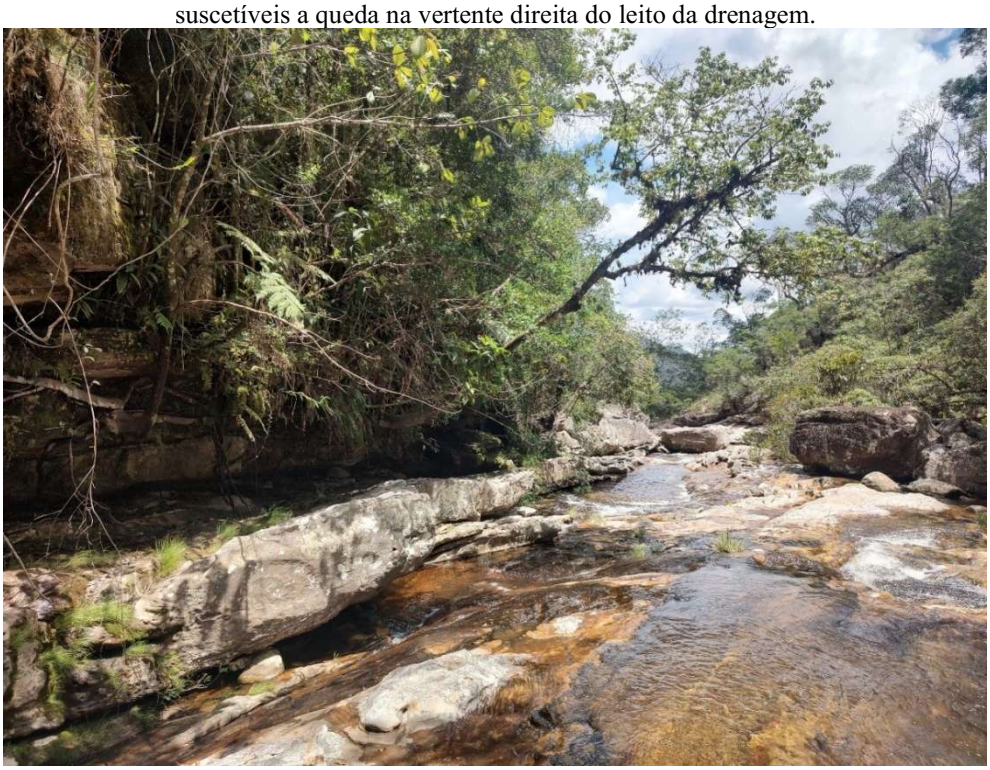
Fonte: Autor.

Figura 60 – Placas e blocos rochosos condicionados, sobretudo pela foliação/acamamento de quartzito, suscetíveis a queda na vertente direita do leito da drenagem.



Fonte: Autor.

Figura 61 – Placas e blocos rochosos condicionados, sobretudo pela foliação/acamamento de quartzito, suscetíveis a queda na vertente direita do leito da drenagem.



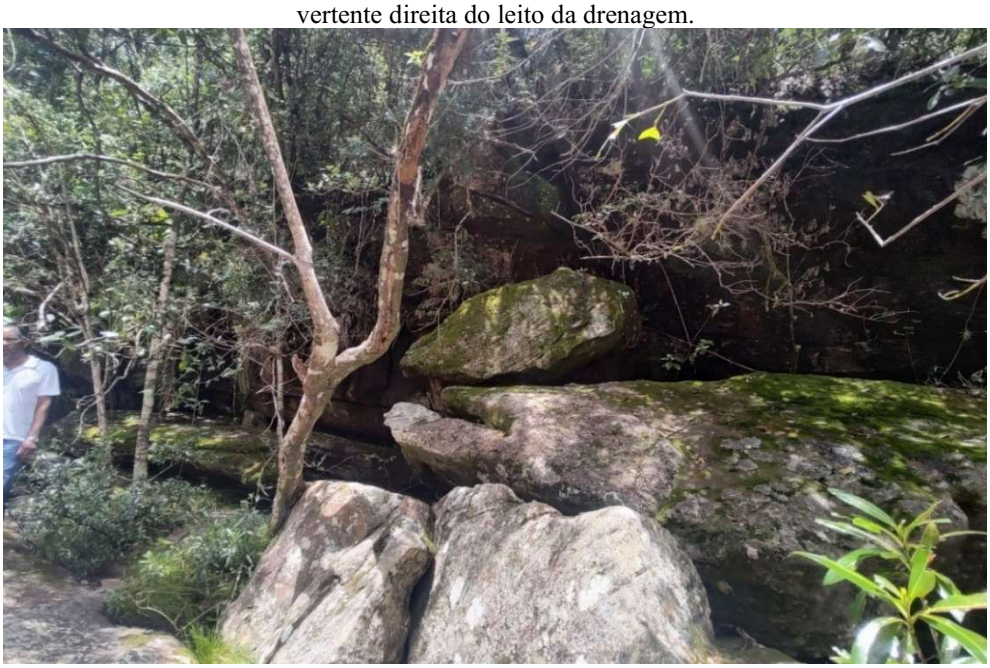
Fonte: Autor.

O paredão da queda d’água é escalonado (Figura 63) e a drenagem está encaixada em uma zona de charneira de uma dobra, que mergulha em sentido contrário ao relevo, dessa forma se tem um aspecto em degraus, formando diversos pequenos poços.

No lado esquerdo da queda d´água, podem ser observados blocos bem delimitados, com base mergulhando no sentido de um dos poços (Figura 64), que podem escorregar pela descontinuidade basal. Na porção direita, embora sejam observados blocos individualizados, ocorrem em menor quantidade e tamanho. Na região central, não se observa fraturas que seccionam a parede da cachoeira.

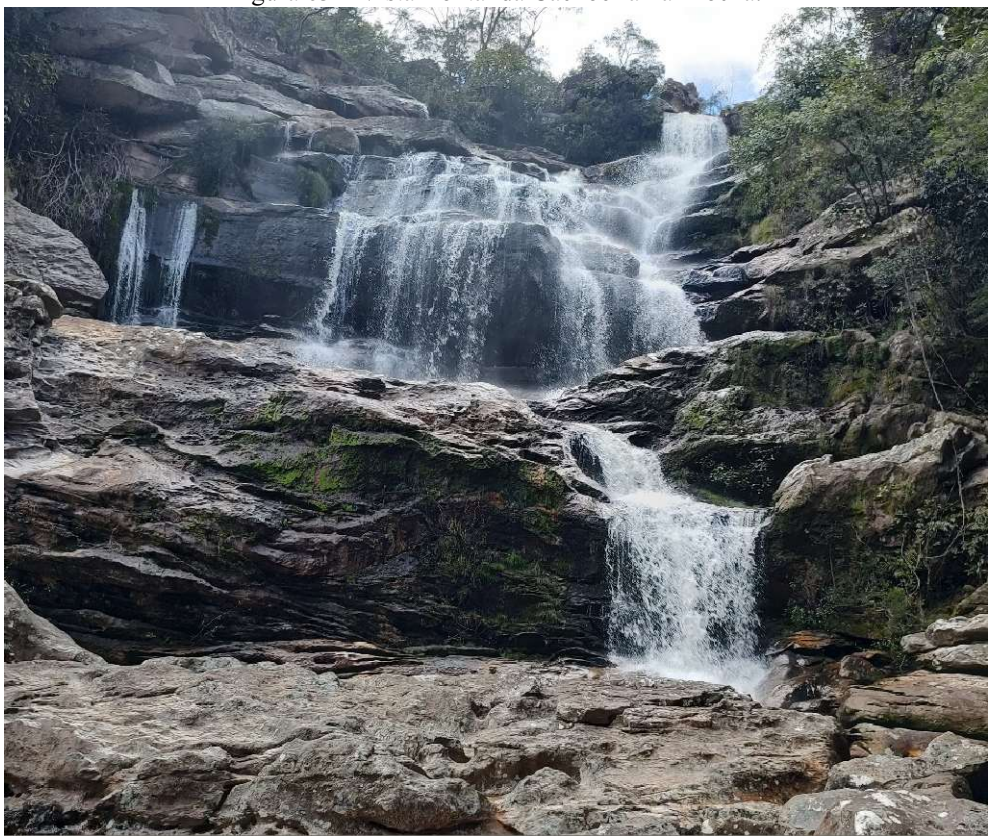
Todos esses fatores fazem com que esta cachoeira seja classificada como de perigo geológico alto.

Figura 62 – Blocos rochosos condicionados, sobretudo, pela foliação de quartzito, suscetíveis a queda na vertente direita do leito da drenagem.



Fonte: Autor.

Figura 63 – Vista frontal da Cachoeira Pai Rocha.



Fonte: Autor.

Figura 64 – Blocos soltos (indicados por seta vermelha) como elevada suscetibilidade de escorregamento e queda na lateral esquerda da Cachoeira Pai Rocha.

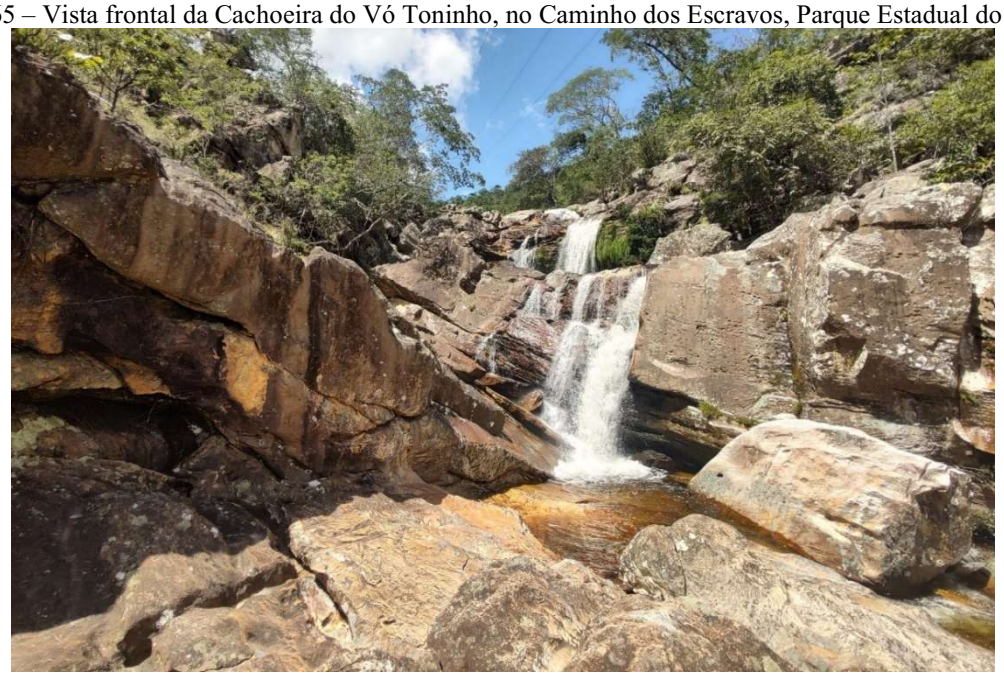


Fonte: Autor.

5.1.2.5.5 Cachoeira do Vó Toninho – Caminho dos Escravos (PEBI)

A Cachoeira do Vó Toninho é composta por duas quedas d'água e pequenos poços (Figura 65), esculpida em quartzitos. Na parede adjacente à drenagem se observa blocos (Figura 66), delimitados pelas descontinuidades geomecânicas, que podem rolar pela vertente.

Figura 65 – Vista frontal da Cachoeira do Vó Toninho, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

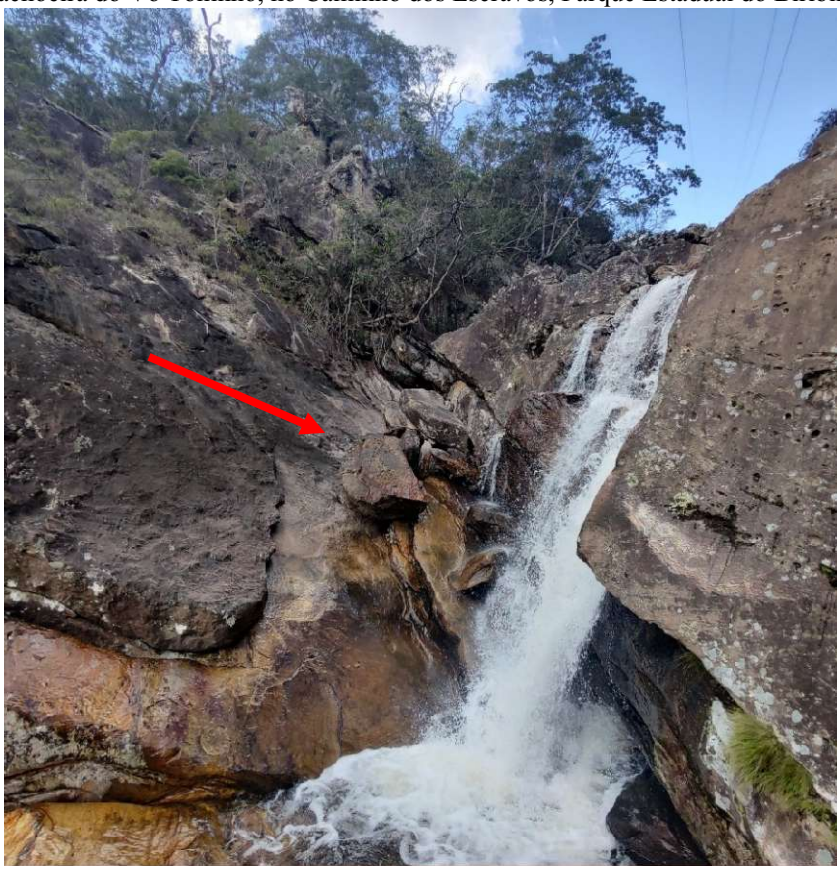
Figura 66 – Blocos de quartzito suscetíveis a queda de blocos na parede adjacente à drenagem da Cachoeira do Vó Toninho, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

A primeira queda d'água está encaixada em um sistema de fraturas e no acamamento, que predomina nesta parede, entretanto, não está muito compartimentado, com isso, não se identifica blocos soltos ou isolados. Ao lado esquerdo da queda d'água inferior, observa-se blocos que escorregaram sobre a acamadamento do quartzito (Figura 67), embora nas porções superiores não tenham sido registrados lascas rochosas soltas, há possibilidade de movimentação sobre esse plano caso outros blocos sejam isolados (Figura 68). No nível superior não são identificados blocos soltos com iminência de queda ou movimentação. Portanto, o atrativo turístico natural é classificado como de perigo baixo a inexistente.

Figura 67 – Blocos deslizados de quartzito (Indicados por ser vermelha) na base da queda d'água inferior da Cachoeira do Vó Toninho, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Figura 68 – Blocos isolados na porção superior de vertente com elevada suscetibilidade a escorregamentos que podem atingir a base da queda d'água inferior.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.6 Cachoeira Sotter – Caminho dos Escravos (PEBI)

O balneário é composto por uma queda d'água de aproximadamente 10 metros de altura (Figura 69) e dois poços a jusante. Não se observa blocos soltos na parede da cachoeira com possibilidade de queda iminente. À direita são registradas fraturas abertas com leve mergulho no sentido contrário a parede da cachoeira, de forma que todos os blocos isolados, encontram-se assentados na estrutura. Á esquerda, o maciço rochoso está mais fragmentado, por fraturas e acamamento dobrado, havendo possibilidade de queda de blocos (Figura 70). Não são registradas encostas laterais ao lado do poço inferior (Figura 71), conferindo assim uma condição de perigo inexistente. No topo da queda d'água as condições são boas, na qual são se observa blocos soltos.

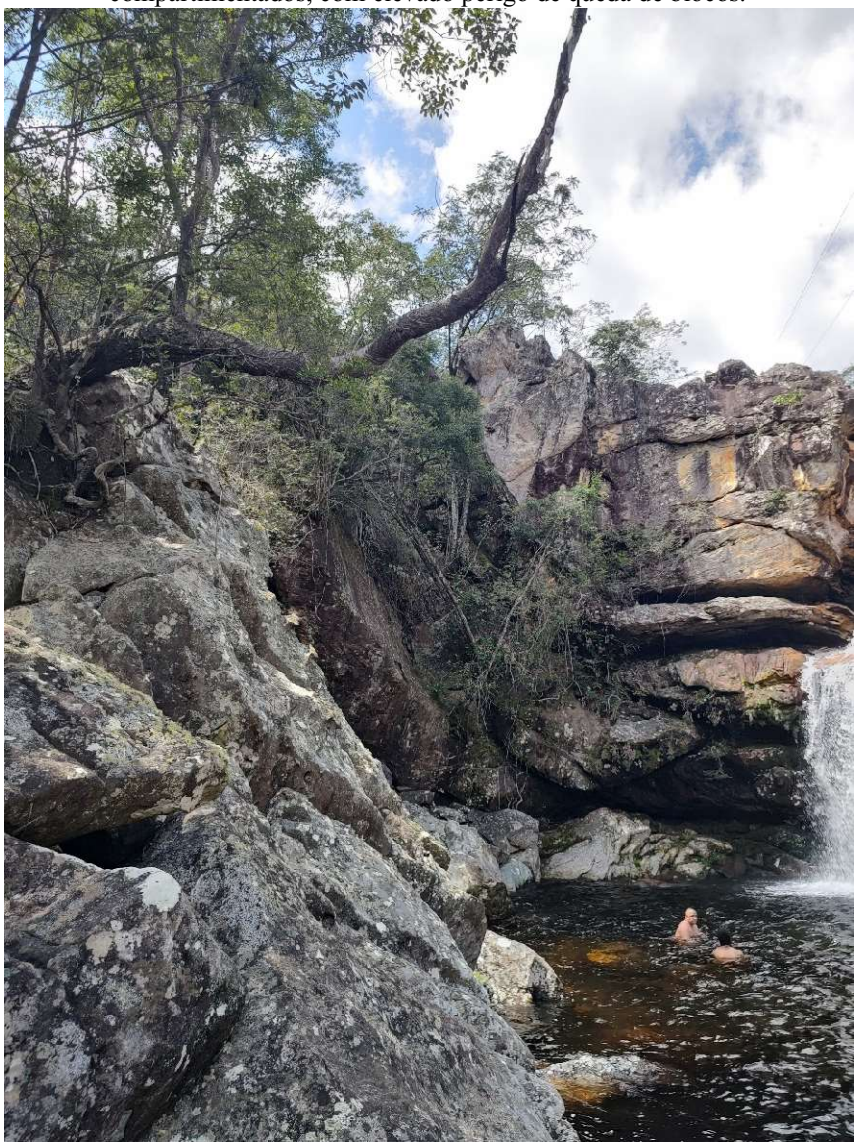
Devido a elevada possibilidade de o poço superior ser atingido caso haja movimentação de blocos rochosos e diante do cenário descrito, a cachoeira é classificada como de perigo alto.

Figura 69 – Vista frontal da Cachoeira Sotter, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Figura 70 – Margem esquerda do poço principal. Os paredões nesse setor se apresentam muito compartimentados, com elevado perigo de queda de blocos.



Fonte: Autor.

Figura 71 – Poço inferior do balneário Cachoeira Sotter.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.7 Cachoeira Bicas – Caminho dos Escravos (PEBI)

As quedas d'água (Figura 72) que compõem este atrativo turístico apresentam aproximadamente 5 metros de altura e o poço abaixo é circundado por grandes blocos de quartzito (Figura 73). À jusante são observados blocos e matacões, entretanto não permite o acesso a banhistas (Figura 74). Acima da queda d'agua há blocos muito angulosos e imbricados e/ou assentados, não verificando blocos soltos com iminência de queda. Portanto, este balneário foi classificado como de perigo baixo a inexistente.

Figura 72 – Vista frontal da Cachoeira Bicas, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Figura 73 – Vista panorâmica do poço da Cachoeira Bicas, evidenciando grandes blocos rochosos.



Fonte: Autor.

Figura 74 – Vista a jusante da Cachoeira Bicas, no Caminho dos Escravos, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.8 Poço do estudante – Parque Estadual do Biribiri

A cabeceira da área analisada corresponde a uma dissecação segundo a foliação do quartzito. Observa-se um paredão ao fundo próximo a blocos soltos (Figura 75), contudo é uma área muito pouco frequentada.

Figura 75 – Blocos suscetíveis a tombamento na cabeira do Complexo Poço do Estudante, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Na porção intermediária são observados blocos bem delimitados e muito angulosos, com baixa suscetibilidade a rolamento (Figura 76). No poço principal, as rochas mergulham em direção contrária a queda d'água (Figura 77), não havendo situações de instabilidade. Porém, observa-se a ocorrência de um matacão (Figura 78) com base sub-horizontal, delimitada por dissolução nesse plano e abertura com cerca de 1 cm, contudo o bloco está apoiado em diversos pontos. Diante tais condições, o balneário foi classificado como de perigo geológico baixo a inexistente.

Figura 76 – Blocos angulosos e imbricados na porção intermediária do Complexo Poço do Estudante, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Figura 77 – Vista frontal Poço do Estudante, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

Figura 78 – Matacão de quartzito isolado na borda do Poço do Estudante.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.9 Poço Verde – Parque Estadual do Biribiri

O Poço Verde é alimentado por uma pequena cachoeira de cerca de 2 metros de altura (Figura 79). A jusante do poço são observados grandes matacões e vegetação (Figura 80).

Na lateral direita do poço, que também serve como caminho para o patamar superior da cachoeira (Figura 81), ocorrem grandes blocos angulosos apoiados entre si (Figura 82) e se verifica há formação de blocos menores bem delimitados.

Figura 79 – Vista frontal do Poço Verde, Parque Estadual do Biribiri.



Fonte: Autor.

No patamar (Figura 83) superior se observa um paredão muito fragmentado pelos quatro sistemas de descontinuidades geomecânicas, formando vários blocos (Figuras 84 e 85). Contudo, o poço é classificado como de perigo geológico baixo a inexistente, visto que a possibilidade de atingimento caso haja movimentação é baixa.

Figura 80 – Vista a jusante do Poço Verde, verifica-se grandes blocos rochosos e vegetação.



Fonte: Autor.

Figura 81 – Vista da lateral direita do poço, caminho para o patamar superior ao Poço Verde.



Fonte: Autor.

Figura 82 – Blocos angulosos imbricados que sofreram movimentação, caminho para o patamar superior ao Poço Verde.



Fonte: Autor.

Figura 83 – Vista frontal do patamar superior o patamar superior ao Poço Verde.



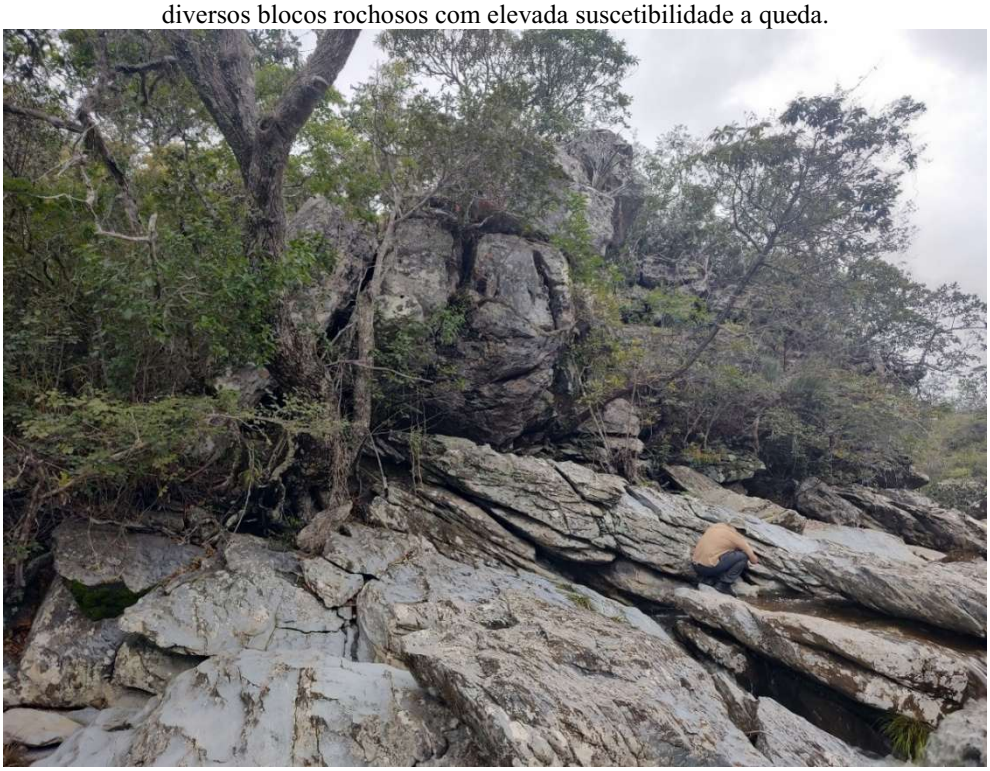
Fonte: Autor.

Figura 84 – Vista longitudinal do patamar superior ao Poço Verde. Observa-se afloramento composto por diversos blocos rochosos com elevada suscetibilidade a queda.



Fonte: Autor.

Figura 85 – Vista da lateral esquerda do patamar superior ao Poço Verde. Observa-se afloramento composto por diversos blocos rochosos com elevada suscetibilidade a queda.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.10 Ribeirão das Pedras – Vila do Biribiri

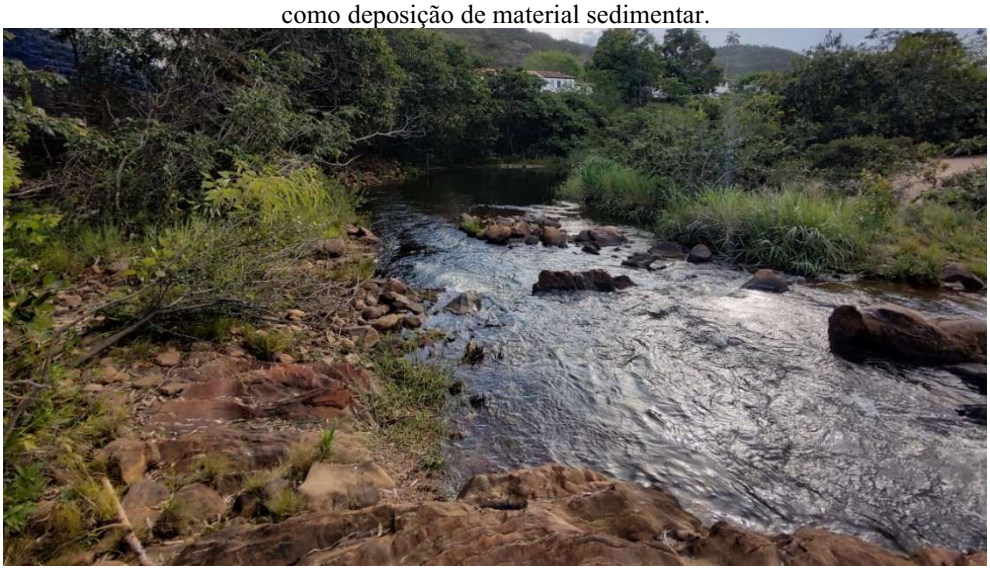
Neste balneário são observados blocos de quartzito na cabeceira do ribeirão (Figura 86) e areia no restante do curso d'água (Figura 87). Não se verifica nenhum perigo a movimentos de massa, portanto, classificado como de perigo baixo a inexiste. Porém, pode haver problemas com processos hidrológicos.

Figura 86 – Vista da cabeceira do Ribeirão das Pedras, na qual se observa inúmeros blocos de quartzito.



Fonte: Autor.

Figura 87 – Vista do curso do Ribeirão das Pedras, na qual se observa blocos de quartzito em seu leito, bem como deposição de material sedimentar.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.11 Cachoeira das Fadas – Conselheiro Mata

O paredão da Cachoeira das Fadas (Figura 88) é composto por quartzito intercalado a metaconglomerado e possui aproximadamente 20 metros de altura. As rochas compõem uma dobra sinclinal, cujo eixo cai em sentido contrário a queda d'água.

Figura 88 – Vista frontal da Cachoeira das Fadas, em Conselheiro Mata.



Fonte: Autor.

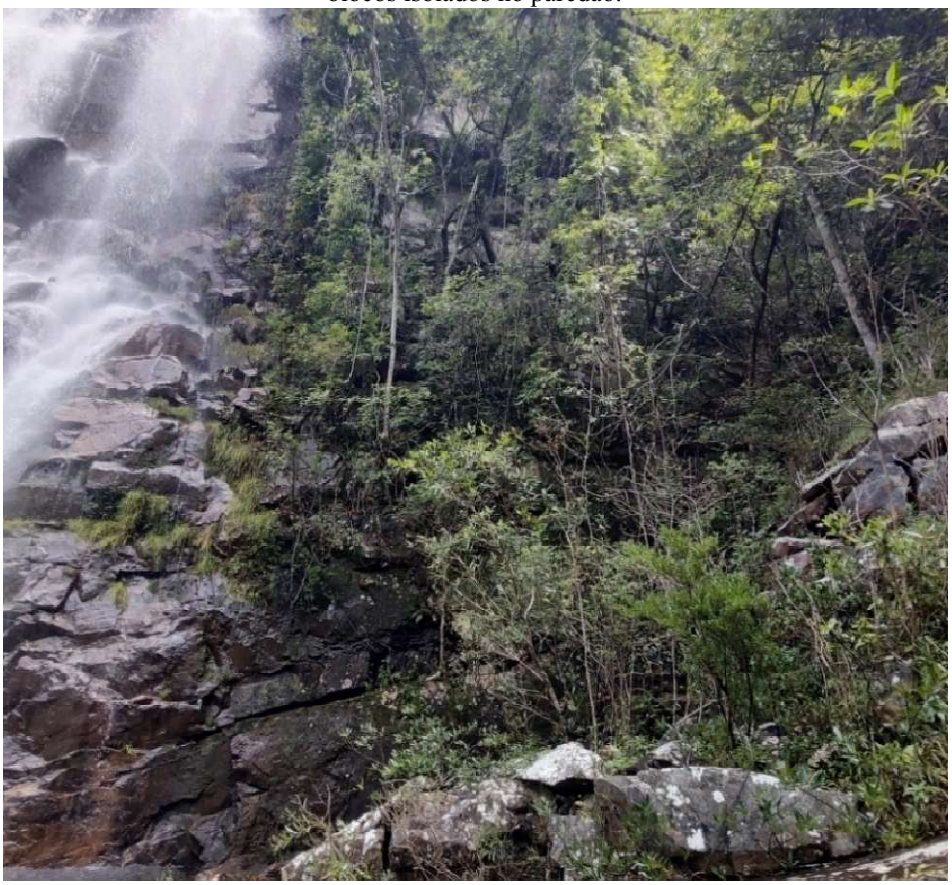
De um modo geral, o paredão da queda d'água é bastante compartimentado pelos diversos sistemas de descontinuidades geomecânicas (Figuras 89 e 90). Ao redor do poço podem ser observados muitos blocos rochosos angulosos de diversos tamanhos, que sofreram queda livre ou rolamento (Figura 91). A quantidade de blocos no entorno da área é evidência de que tais processos são comuns e que há elevado perigo de queda blocos na área. Destaca-se que no caminho até poço também ocorrem inúmeros blocos, o que confere ao balneário dificuldade acesso. O poço está inserido em uma área topográfica mais baixa na região, dessa forma, também se registra paredões rochosos em frente ao poço, com as mesmas características estruturais da cachoeira (Figura 92). As condições acima descritas, qualificação a Cachoeira das Fadas como de perigo geológico alto.

Figura 89 – Lateral esquerda da queda d’água, na qual é possível observar blocos caídos em sua base e diversos blocos isolados no paredão.



Fonte: Autor.

Figura 90 – Lateral direita da queda d'água, na qual é possível observar blocos caídos em sua base e diversos blocos isolados no paredão.



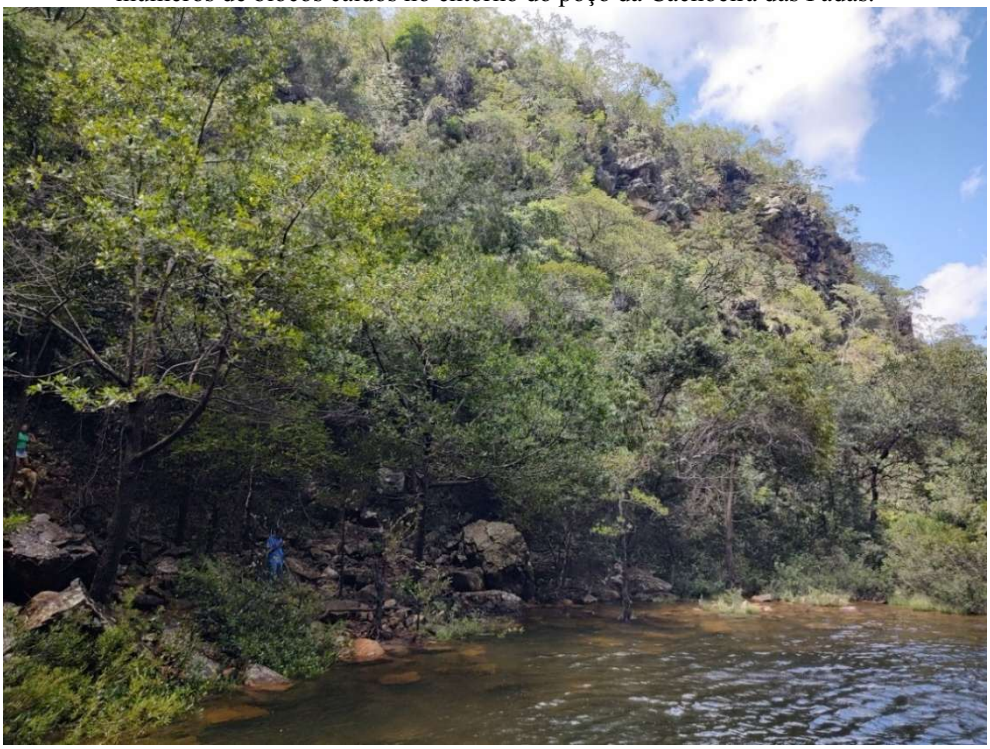
Fonte: Autor.

Figura 91 – Blocos caídos ou rolados no entorno da Cachoeira das Fadas, em Conselheiro Mata.



Fonte: Autor.

Figura 92 – Paredão muito compartimentado, que apresenta blocos isolados suscetíveis a queda e se observa inúmeros de blocos caídos no entorno do poço da Cachoeira das Fadas.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.12 Cachoeira do Telésforo – Conselheiro Mata

A cachoeira é composta por quartzito intercalado com conglomerado (Figura 93). Observa-se um forte controle estrutural, mais evidente nas laterais da corredeira, onde se registra muitos blocos delimitados. Na margem esquerda (Figura 94), os blocos estão assentados em um sistema de fratura que mergulha no sentido contrário a parede da cachoeira, de forma que o rolamento de blocos é impossibilitado. Na margem direita (Figura 95), embora a situação seja semelhante, os blocos são maiores, com sinais que já sofreram alguma movimentação e se situa em uma área de acesso a queda d'água e possível área de repouso de visitantes (Figuras 96 e 97). Diante disso, corresponde a uma região que pode ser atingida em caso de algum desprendimento de blocos. A jusante da queda d'água, a drenagem é margeada por alguns blocos rochosos e muita areia. Diante tais condições, o balneário foi classificado como de perigo geológico baixo a inexistente.

Figura 93 – Vista frontal da Cachoeira do Telésforo, em Conselheiro Mata.



Fonte: Autor.

Figura 94 – Blocos rochosos, na lateral esquerda da queda d'água, formados por forte controle estrutural do maciço rochoso.



Fonte: Autor.

Figura 95 – Blocos rochosos, na lateral direita da queda d'água, formados por forte controle estrutural do maciço rochoso.



Fonte: Autor.

Figura 96 – Blocos rochosos isolados e movimentados na lateral direita da queda d’água, em área de permanência e passagem de visitantes.



Fonte: Autor.

Figura 97 – Blocos rochosos isolados e movimentados na lateral direita da queda d’água.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.13 Complexo Cachoeira da Raiz e Tombadouro – Conselheiro Mata

A Cachoeira da Raiz consiste em uma sequência de quedas d’água, com alturas variando entre 3 e 5 metros, e alguns poços (Figuras 98 e 99). Estabelece-se sobre quartzitos e apresenta grande compartimentação estrutural. A estrutura mais marcante corresponde ao acamamento sub-horizontalizado, com mergulho variável e contrário as quedas d’água (Figura 100). Lateralmente, ocorrem pequenos blocos rochosos, mas sem iminência de queda, visto que estão assentados nas camadas que mergulham ao contrário da cachoeira.

Figura 98 – Vista lateral da Cachoeira da Raiz, em Conselheiro Mata.



Fonte: Autor.

Figura 99 – Vista lateral da Cachoeira da Raiz, em Conselheiro Mata.



Fonte: Autor.

Figura 100 – Queda d'água de um dos níveis da Cachoeira da Raiz, com substrato de quartzitos e compartimentação estrutural.



Fonte: Autor.

A Cachoeira do Tombadouro está a jusante da Cachoeira da Raiz e seu arcabouço rochoso é constituído por quartzito bastante recristalizado. O acamadamento mergulha em sentido contrário a corredeira e com maior ângulo que a anterior (Figura 101).

Figura 101 – Vista lateral da Cachoeira do Tombadouro. O atrativo tem substrato de quartzito, cujo acamamento mergulho em sentido contrário ao relevo.



Fonte: Autor.

São observados blocos condicionados pela estrutura sedimentar primária e sistemas de fraturas. A corredeira alimenta um grande poço (Figura 102). Na lateral esquerda há placas de rochas soltas, entretanto não oferece perigo de queda aos banhistas, no máximo deslizamento no sentido contrário à cachoeira (Figuras 103 e 104). Este complexo de cachoeiras, portanto, foi classificado como de perigo geológico baixo a inexistente.

Figura 102 – Poço a jusante da Cachoeira do Tombadouro.



Fonte: Autor.

Figura 103 – Blocos de quartzito (indicados por seta vermelha) assentados em rampa com sentido contrário ao curso d'água (lateral esquerda).



Fonte: Autor.

Figura 104 – Blocos de quartzito (indicados por seta vermelha) assentados em rampa com sentido contrário ao curso d'água (lateral direita).



Fonte: Autor.

5.1.2.5.14 Cachoeira dos Remédios - Extração/Curralinho

A descida que dá acesso a cachoeira, observa-se blocos angulosos de quartzitos de grandes dimensões (Figura 105) e indícios de movimentação, gerando perigo que queda de blocos nesta trilha. O paredão é constituído de quartzito pouco alterado e há grande variação no padrão de fraturamento do maciço rochoso, portanto apresenta forte controle estrutural.

Registra-se um sistema de descontinuidade, de mergulho contrário a parede, com grande abertura, percolação e colonização vegetal (Figura 106). Percebe-se que o porte da vegetação é bastante variável. Na porção central da queda d'água não se observa blocos delimitados e/ou soltos, entretanto, na lateral direita são identificados diversos blocos soltos e cavidades geradas por quedas de blocos menores, caracterizando um elevado perigo de queda (Figura 107). Nesta porção, o quartzito apresenta diferentes graus de alteração, devido a uma variação local de resistência ao intemperismo, culminando maior desagregação em algumas camadas em detrimento de outras.

A encosta em frente ao poço é caracterizada por grande variação de blocos rochosos de diversos diâmetro e solo, percebe-se também indícios de grande percolação de água e consequente intensa colonização vegetal. Essa porção representa elevando perigo de queda de blocos e deslizamentos (Figura 108).

Figura 105. Blocos de quartzito acima de trilha de acesso a Cachoeira dos Remédios, em Extração.



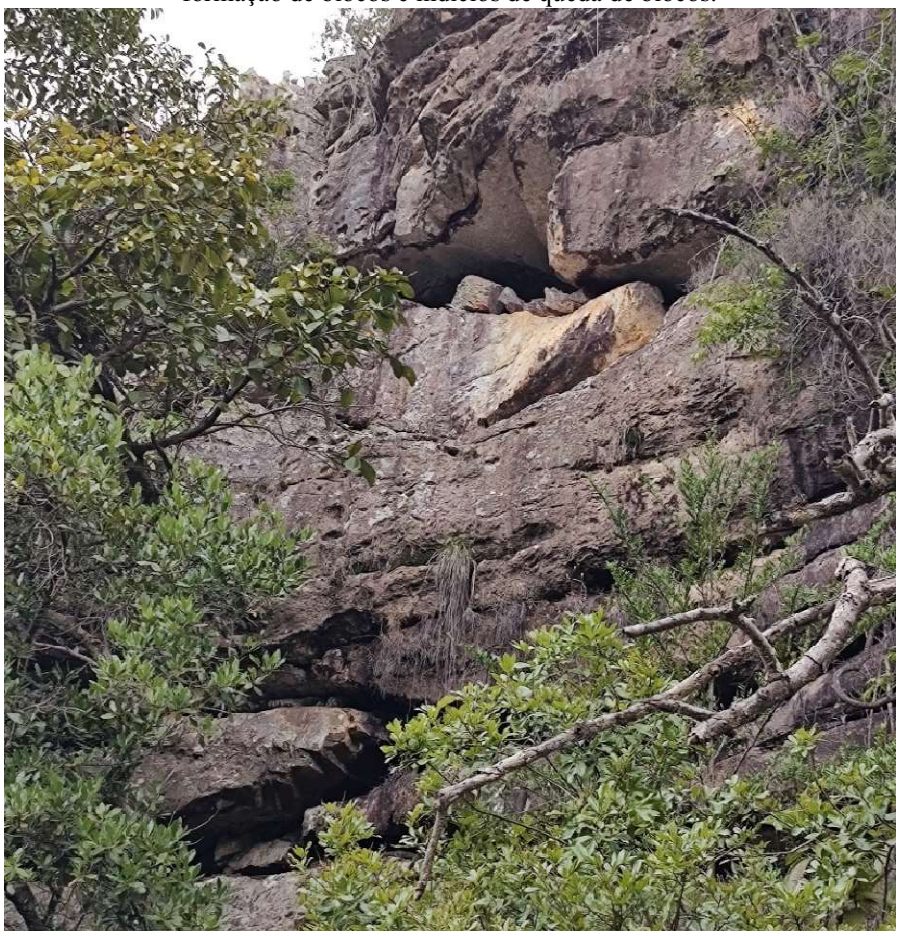
Fonte: Autor.

Figura 106 – Vista frontal da Cachoeira dos Remédios, em Extração. Evidencia a compartimentação estrutural, percolação e colonização vegetal.



Fonte: Autor.

Figura 107 – Paredão direito da Cachoeira dos Remédios. Evidencia a compartimentação estrutural com a formação de blocos e indícios de queda de blocos.



Fonte: Autor.

Figura 108 – Encosta em frente ao poço composta por solo e blocos rochosos, com indícios de forte intensa percolação e colonização vegetal. Apresenta elevada suscetibilidade a escorregamentos.

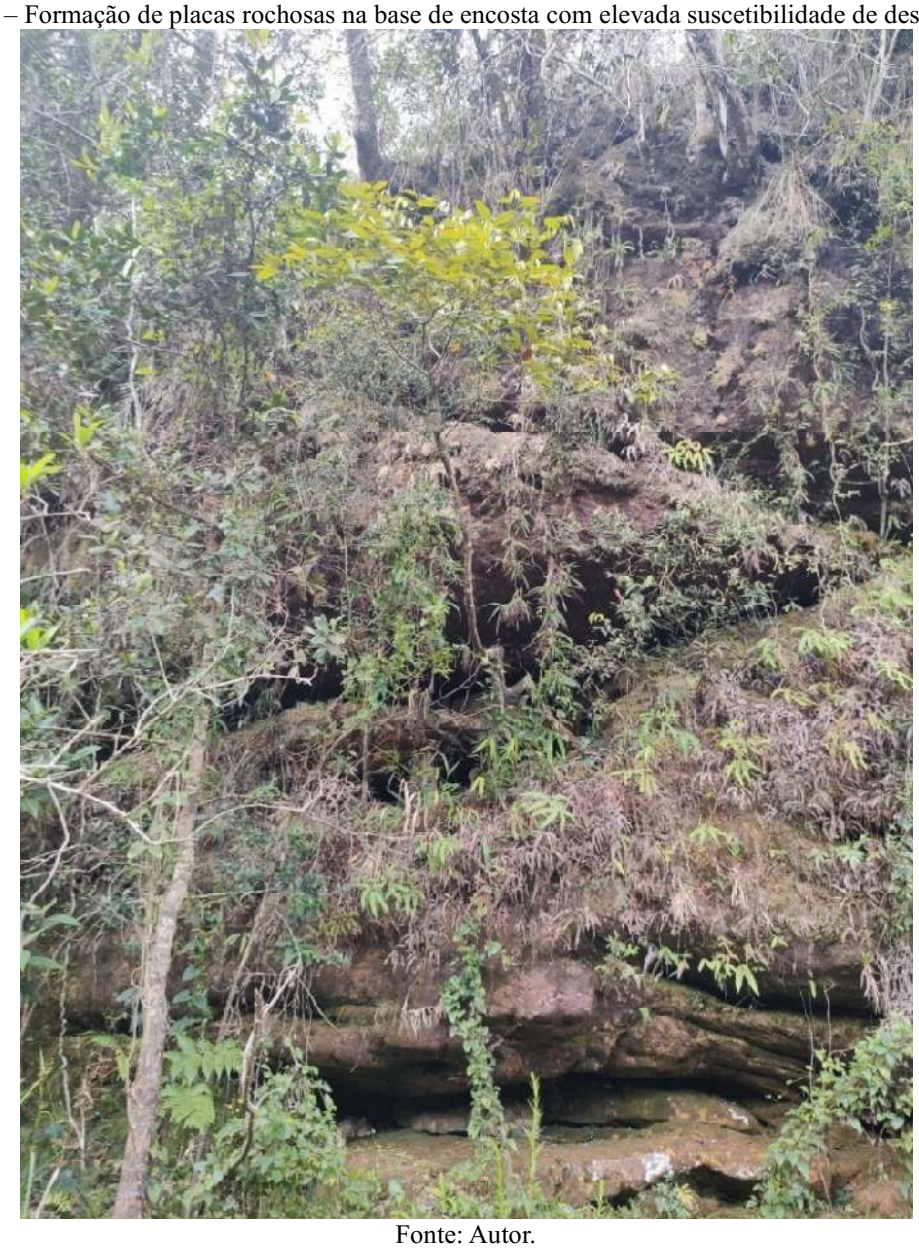


Fonte: Autor.

Na base da vertente, o acamamento do quartzito condiciona desplacamento (Figura 109). Em grande parte do vale ocorrem blocos de diversas dimensões (Figura 110). Na parte superior da cachoeira existem diversos blocos de grandes dimensões (Figura 111), porém sem perigo de queda no poço.

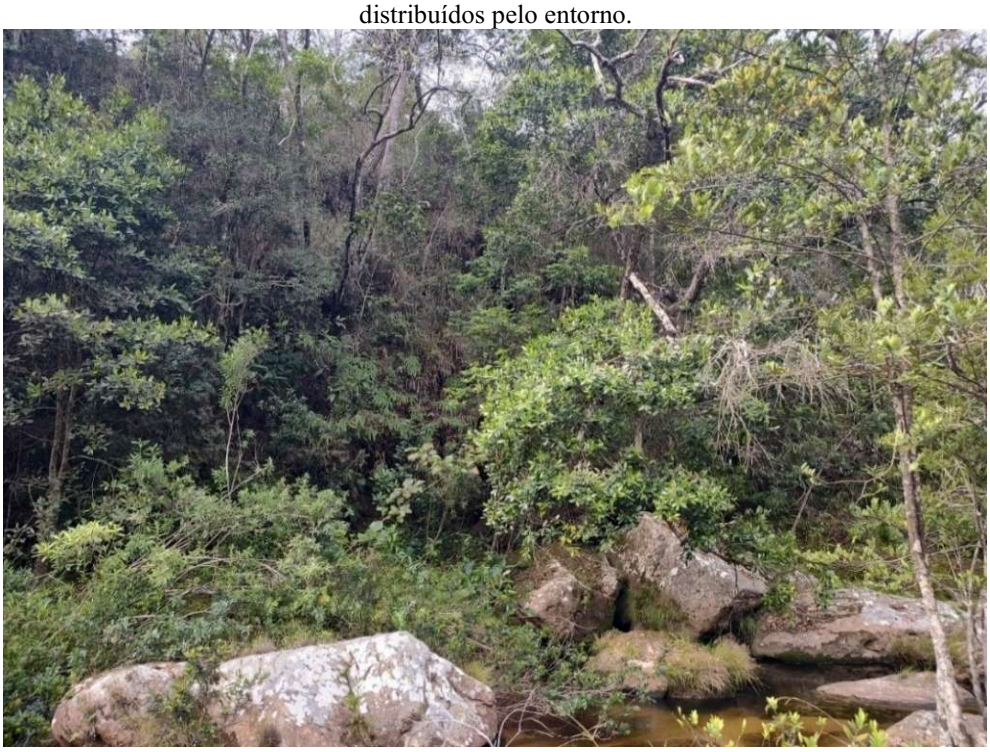
Todos os fatores mencionados qualificam o balneário como de perigo geológico alto.

Figura 109 – Formação de placas rochosas na base de encosta com elevada suscetibilidade de desplacamento.



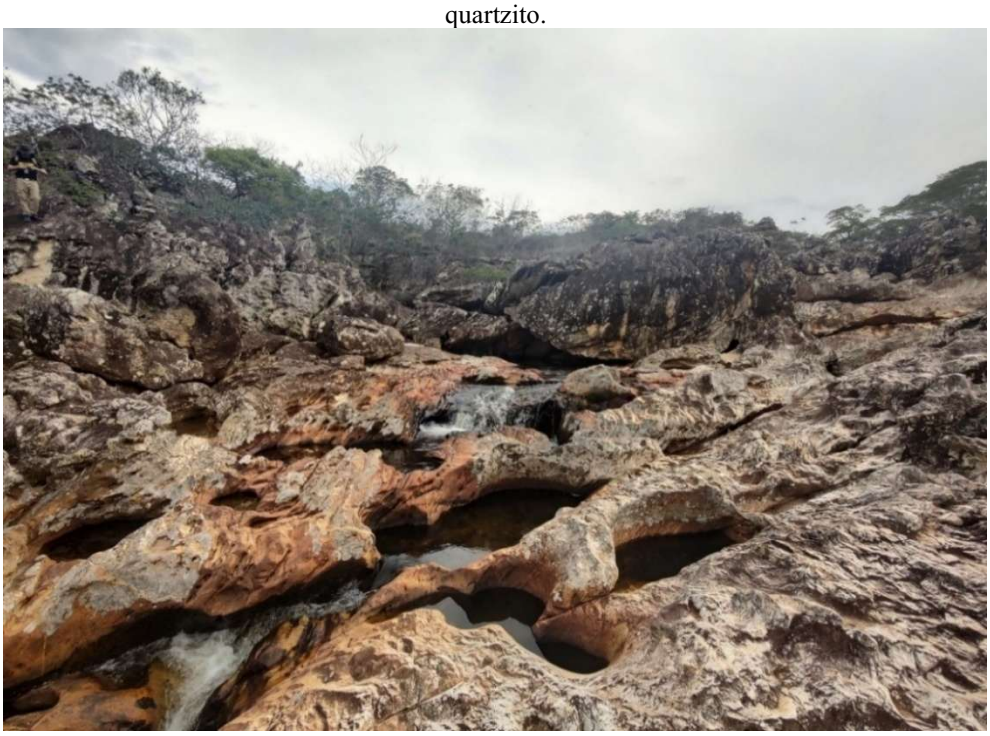
Fonte: Autor.

Figura 110 – Vista a jusante da Cachoeira dos Remédios. Evidencia-se os blocos rochosos de diversas dimensões distribuídos pelo entorno.



Fonte: Autor.

Figura 111 – Vista frontal do patamar superior da Cachoeira dos Remédios. Evidencia-se os grandes blocos de quartzito.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.15 Barragem de Extração/Curralinho

A barragem foi construída sobre quartzitos e metaconglomerados. O barramento foi realizado com dique de concreto e o vale é aberto. Nas adjacências do lago não se observa nenhuma situação que ofereça perigo aos visitantes (Figura 112).

Figura 112 – Vista panorâmica da Barragem de Curralinho.



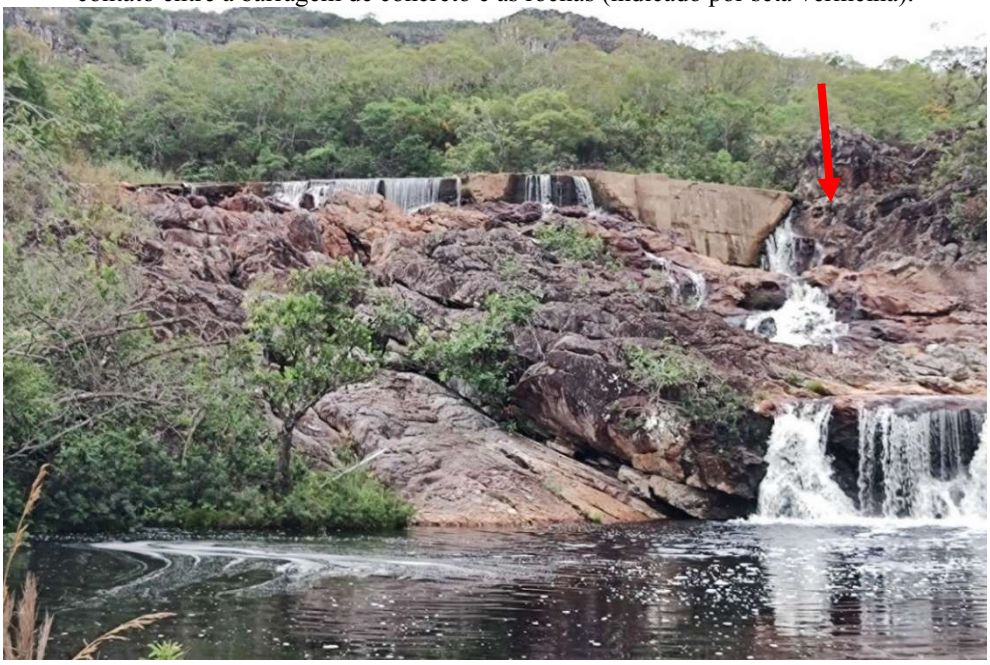
Fonte: Autor.

5.1.2.5.16 Cachoeira Santa Apolônia – Mendanha

O complexo é constituído pela Cachoeira Santa Apolônia e o leito do rio que dá acesso ao atrativo turístico, ambos compostos por uma sequência de quartzitos e metaconglomerados. No topo da cachoeira existe uma barragem de concreto (Figura 113), para barramento de água. Contudo se observa percolação de grande fluxo de água no contato concreto e rochas, que contribui para a redução da estabilidade da estrutura.

O maciço rochoso é bastante fraturado, condicionando a formação de blocos rochosos. Na lateral direita, observa-se grandes blocos e matacões de metaconglomerado e quartzito (Figura 114). No paredão abaixo da barragem inúmeros blocos rochosos são formados condicionados pelos sistemas de descontinuidade geomecânica (Figura 115). O poço a jusante da cachoeira (Figura 116) não apresenta em seu entorno grandes blocos que possam gerar algum perigo geológico aos visitantes.

Figura 113 – Vista frontal da Cachoeira Santa Apolônia, em Mendanha. Evidencia a percolação de água no contato entre a barragem de concreto e as rochas (indicado por seta vermelha).



Fonte: Autor.

Figura 114 – Blocos e matacões de metaconglomerado e quartzito formados na lateral direita da cachoeira.



Fonte: Autor.

Figura 115 – Maciço rochoso estruturalmente compartimentado, formando blocos de diversos tamanhos.



Fonte: Autor.

Figura 116 – Poço a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Não apresenta situações de perigo aos banhistas.



Fonte: Autor.

No caminho para acessar a cachoeira, ao longo do leito do rio, outros processos geodinâmicos que podem oferecer perigo aos banhistas são percebidos, como queda de blocos

(Figura 117), tombamentos (Figuras 118 e 119), além escorregamento planar, deslizamento de terra e desplacamento (Figura 120).

Figura 117 – Blocos rochosos suscetíveis a queda em drenagem a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Este cenário pode apresentar situações de perigo aos banhistas.



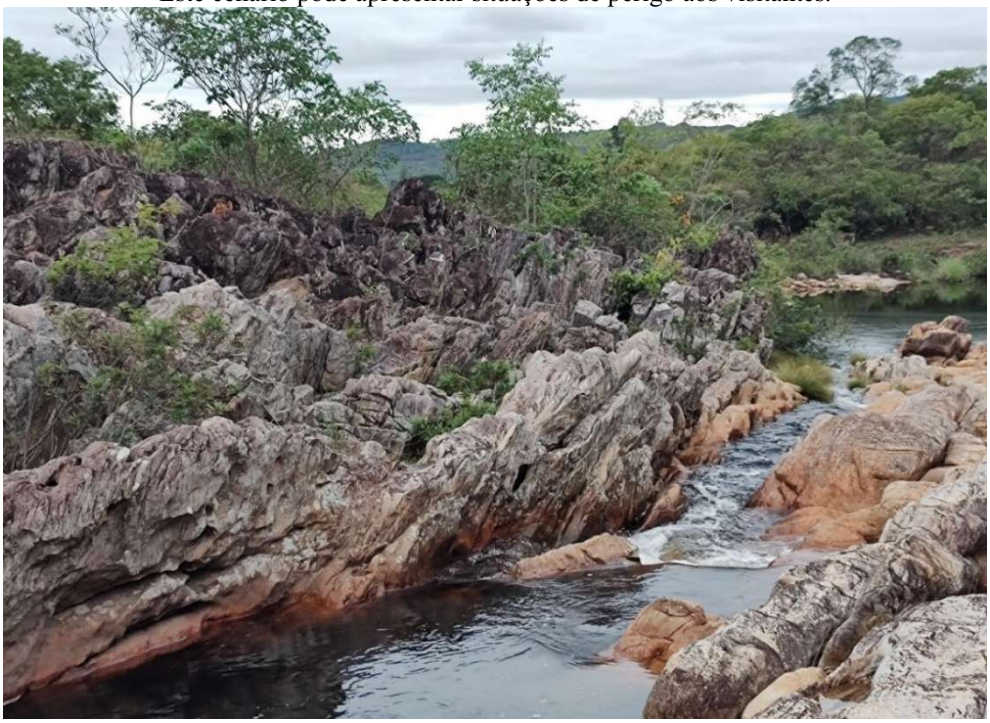
Fonte: Autor.

Figura 118 – Blocos rochosos suscetíveis a tombamento em drenagem a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Este cenário pode apresentar situações de perigo aos visitantes.



Fonte: Autor.

Figura 119 – Blocos rochosos suscetíveis a tombamento em drenagem a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Este cenário pode apresentar situações de perigo aos visitantes.



Fonte: Autor.

Figura 120 – Margens de um poço no início do acesso para a Cachoeira Santa Apolônia. O maciço está suscetível a escorregamento planar, deslizamento de terra e desplacamento.



Fonte: Autor.

Diante de todos os fatos mencionados, a Cachoeira Santa Apolônia foi classificada como de perigo geológico médio.

5.1.2.5.17 Balneário entre os rios Pinheiro e Jequitinhonha – Divisa Mendanha e Inhaí

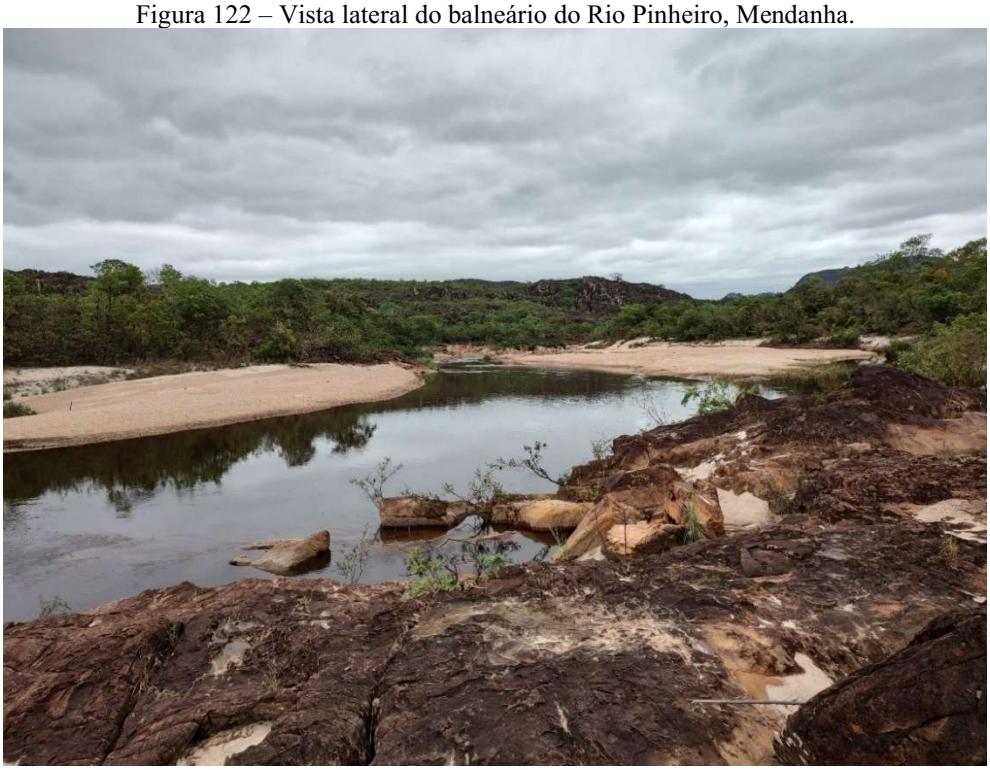
O balneário corresponde ao leito do Rio Pinheiros (Figura 121), próximo ao encontro com o Rio Jequitinhonha. São observados diversos afloramentos e areia. Os maciços rochosos ocorrem, predominantemente, nas margens (Figuras 122 e 123), observa-se muitos blocos e matacões delimitados por cinco sistemas de descontinuidades geomecânicas. Na margem direita, é possível observar blocos tombados e de iminente tombamento (Figuras 124 e 125). O curso d'água se divide em dois ramos formando uma ilha, nesta se registra afloramentos rochosos muito fragmentos, com a geração de blocos, alguns já movimentados (Figuras 126 e 127). No ramo esquerda há uma queda d'água (Figura 128) que não representa perigo geológico e no reencontro dos ramos do rio, processos de alteração e erosão fluvial formam lascas que podem desplacar, entretanto o acesso é bem restrito. Portanto, este balneário pode ser classificado como de perigo geológico baixo a inexistente.

Figura 121. Imagem de satélite do balneário do Rio Pinheiros e localização das fotografias.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Google Satellite (2024).

Figura 122 – Vista lateral do balneário do Rio Pinheiro, Mendanha.



Fonte: Autor.

Figura 123 – Vista lateral do balneário do Rio Pinheiro, Mendanha.



Fonte: Autor.

Figura 124 – Blocos tombados na lateral direita do balneário.



Fonte: Autor.

Figura 125 – Blocos rochosos em iminência de tombamento na lateral direito do balneário.



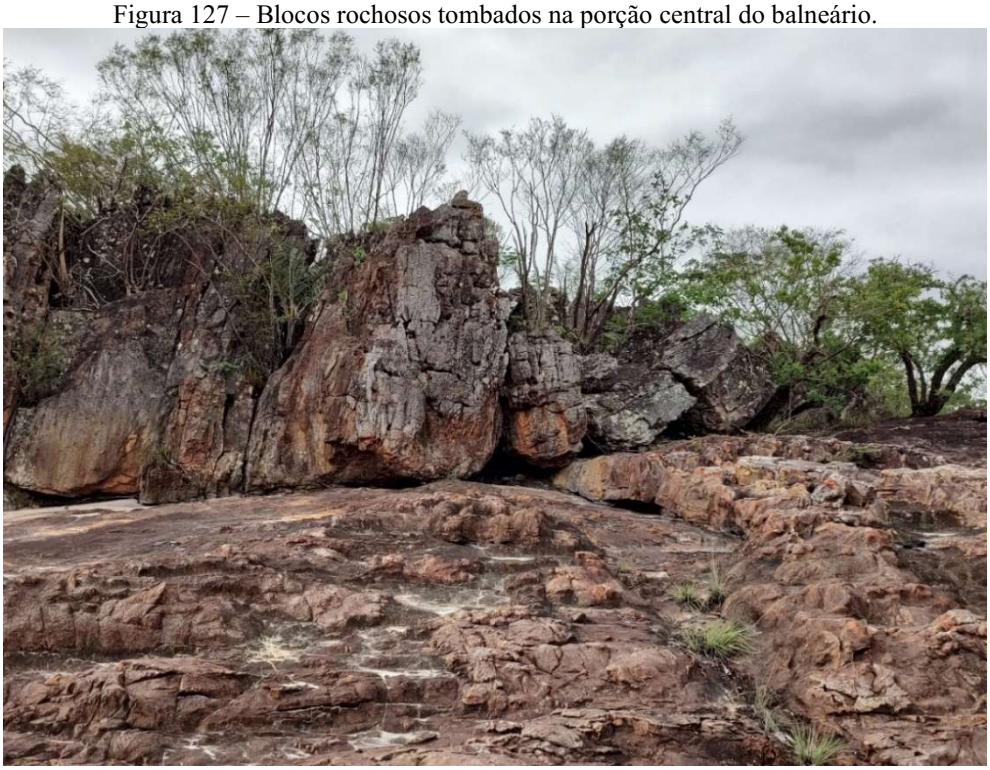
Fonte: Autor.

Figura 126 – Blocos rochosos tombados na porção central do balneário.



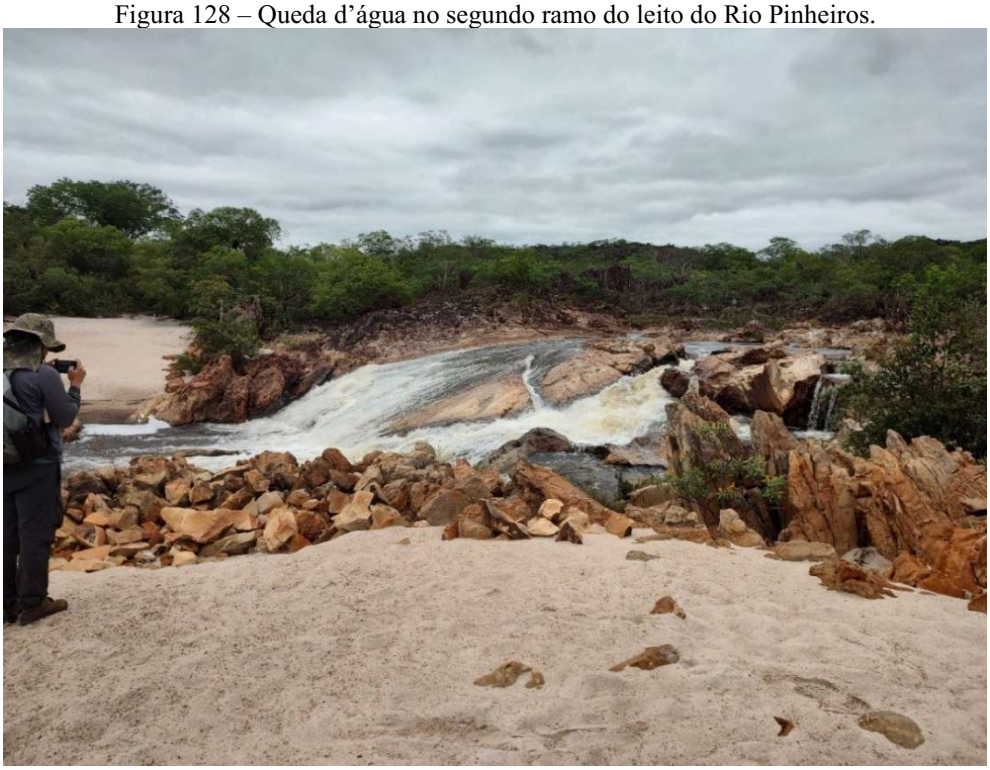
Fonte: Autor.

Figura 127 – Blocos rochosos tombados na porção central do balneário.



Fonte: Autor.

Figura 128 – Queda d’água no segundo ramo do leito do Rio Pinheiros.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.18 Cachoeira da Florença – Povoado do Vau

A Cachoeira da Florença corre sobre um maciço rochoso constituído por quartzito. Verifica-se vários degraus neste atrativo natural (Figura 129). Lateralmente, observa-se vertentes, mais elevadas que a cachoeira, onde registra-se diversos blocos angulosos, também de quartzito. Embora a compartimentação do leito do curso d’água não seja muito intensa, existem em ambos os lados blocos angulosos de grandes dimensões, bastante imbricados (Figura 130 e 131).

Na porção superior da cachoeira são registrados muitos blocos grandes rolados (Figura 132). Ainda, nesse setor um grande matacão se encontra encaixado na porção central no atrativo (Figura 133). Há possibilidade de tombamento, na parte superior (Figura 134). A cachoeira alimenta um poço, que em seu entorno não ocorrem situações que gerem perigo aos visitantes (Figura 135). A Cachoeira da Florença pode ser classificada como de perigo geológico médio.

Figura 129 – Vista frontal da Cachoeira da Florença, no Povoado do Vau.



Fonte: Autor.

Figura 130 – Blocos rochosos na porção esquerda da Cachoeira da Florença.



Fonte: Autor.

Figura 131 – Maciço rochoso compartimentado por diversos sistemas de descontinuidades geomecânicas e inúmeros blocos de rocha na porção esquerda da Cachoeira da Florença.



Fonte: Autor.

Figura 132 – Blocos rolados na porção superior da Cachoeira Florença. Apresentam grande imbricamento, fazendo com que a suscetibilidade de rolamento seja pequena.



Fonte: Autor.

Figura 133 – Matacão de quartzito na porção central da cachoeira (indicado por seta vermelha).



Fonte: Autor.

Figura 134 – Blocos de quartzito suscetíveis a tombamento, na porção superior direita da cachoeira (indicado por seta vermelha).



Fonte: Autor.

Figura 135 – Vista superior do poço abaixo da Cachoeira da Florença.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.19 Lagoa Azul - Guinda

A Lagoa Azul (Figura 136) é um balneário que se assemelha a uma praia, devido à grande quantidade de areia em seu entorno. Em alguns pontos podem ser observados afloramentos rochosos. Na margem de difícil acesso aos visitantes se observa afloramentos de quartzito muito alterado.

Figura 136 – Vista panorâmica da Lagoa Azul, no Guinda.



Fonte: Autor.

A maior parte de sua borda é caracterizada pela ocorrência de depósitos de areia fina. Na cabeceira da lagoa se verifica uma nascente (Figura 137), que abastece o corpo d'água, nota-se grande fluxo de água no talvergue da voçoroca gerada. Nesta porção ocorre vertente bastante intemperizada, composta por quartzito muito fino com níveis de filito, além de veios de quartzo. A área é afetada por intensos processos erosivos (Figuras 138 e 139) e em algumas partes podem

ocorrer solapamentos e escorregamentos. Contudo, a área de atingimento ofereceria elevado perigo aos banhistas.

A Lagoa Azul foi classificada como de perigo geológico baixo a inexistente, embora haja cenários de perigo mais elevado, conforme já mencionado.

Figura 137 – Nascente que alimenta a Lagoa Azul.



Fonte: Autor.

Figura 138 – Voçoroca situada na cabeceira da Lagoa Azul. Em suas paredes afloram quartzito fino e filito muito intemperizados.



Fonte: Autor.

Figura 139 – Feições erosivas em encosta na cabeceira da Lagoa Azul (indicados por seta vermelha).



Fonte: Autor.

5.1.2.5.20 Balneário sob a Ponte do Acaba Mundo – Acaba Mundo

Este balneário corresponde a margem de um rio (Figuras 140 a 142) e sua porção acessível é constituída por quartzito pouco alterado. Registra-se algumas situações que podem gerar perigo a queda de blocos, contudo, são áreas muito restritas. Portanto, classificado como de perigo geológico baixo a inexistente.

Figura 140 – Vista a montante do balneário vistoriado.



Fonte: Autor.

Figura 141 – Vista a jusante do balneário vistoriado.



Fonte: Autor.

Figura 142 – Blocos rochosos suscetíveis a tombamento ou queda (indicados por seta vermelha).



Fonte: Autor.

5.1.2.5.21 Ribeirão do Inferno – Distrito Sede

O balneário consiste na curva do Ribeirão do Inferno. Nesta área são observados afloramentos de quartzito e depósitos aluviais de areia (Figura 143). Registra-se tombamento e queda de blocos (Figura 144), contudo, em área bem restrita. Dessa forma, o perigo aos banhistas é muito baixo.

Figura 143 – Vista do Ribeirão do Inferno.



Fonte: Autor.

Figura 144 – Ocorrência de queda de blocos e afloramento muito fraturado suscetível a tombamento e queda de blocos (indicado por seta vermelha).



Fonte: Autor.

5.1.2.5.22 Cachoeira da Toca – Distrito Sede

Na porção superior da cachoeira, patamar acima da queda d'água há vários pequenos poços. Pode-se observar na área mais distante da queda d'água um baixo perigo a queda de blocos (Figura 145). No topo da cachoeira há formação de blocos, porém, o acamamento mergulha contrariamente a cachoeira (Figura 146).

Figura 145 – Maciço rochoso fraturado suscetível a queda blocos, no patamar superior da Cachoeira da Toca (indicado por seta vermelha).



Fonte: Autor.

Figura 146 – Topo da Cachoeira da Toca. Evidencia-se o mergulho das camadas de quartzito em sentido contrário ao relevo.



Fonte: Autor.

O maciço rochoso que compõe a Cachoeira da Toca (Figura 147) está muito compartimentado, devido a intenso controle estrutural. Na parte superior do paredão, devido ao fraturamento, observa-se blocos soltos com suscetibilidade de queda ou tombamento. A possibilidade de queda varia de acordo com a orientação da descontinuidade que gera a base

dos blocos formados. Alguns estão assentados (Figura 148), outros desconfinados e caso se desprendam, será deflagrado um processo geodinâmico (Figuras 149 e 150). Os maiores blocos são registrados no topo da cachoeira e os menos blocos se encontram na porção intermediária do paredão. A descida da cabeceira ao poço principal pela direita, ocorrem afloramentos muito fragmentos com elevado perigo que queda de pequenos blocos (Figura 151). As mesmas características são registradas na margem direita do poço, onde se observa uma maior intensidade de intemperismo, fraturamento do maciço rochoso e colonização vegetal (Figura 152). Quando se analisa a margem esquerda do poço, observa-se um maciço muito compartimentado, evidências de queda de blocos (Figura 153) e cicatrizes de escorregamentos (Figura 154). Próxima ao paredão a diversos cenários de elevado perigo a queda de blocos (Figura 155).

Os cenários de iminente movimentação de blocos rochosos e a elevada possibilidade de atingimento aos banhistas no poço classificam a Cachoeira da Toca como de perigo geológico muito alto.

Figura 147 – Vista frontal da Cachoeira da Toca.



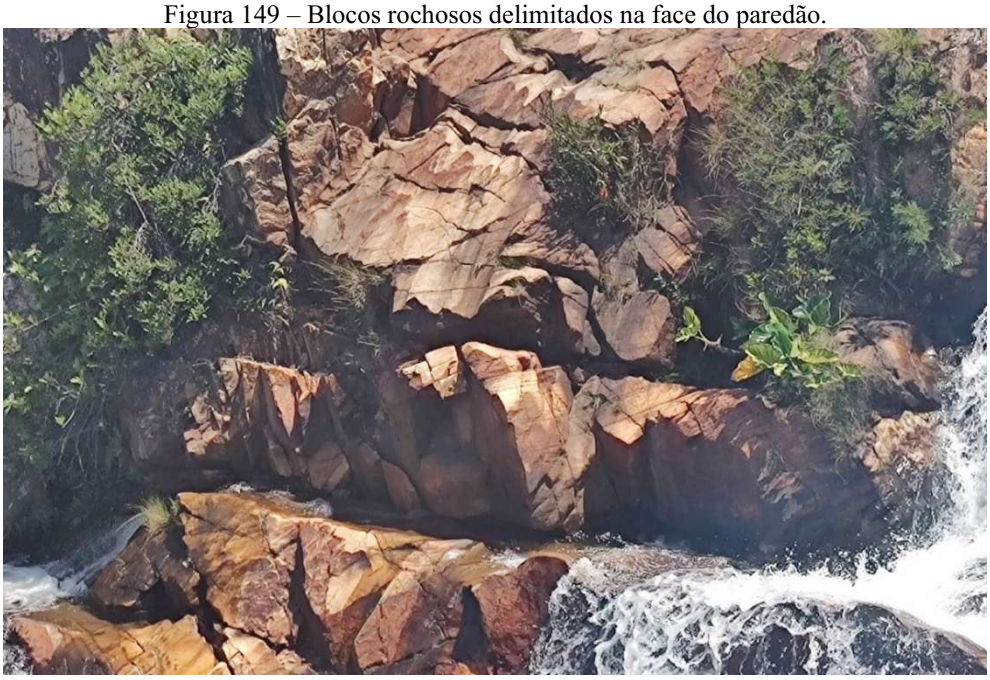
Fonte: Autor.

Figura 148 – Bloco rochoso assentado em plano de descontinuidade horizontal no topo da cachoeira.



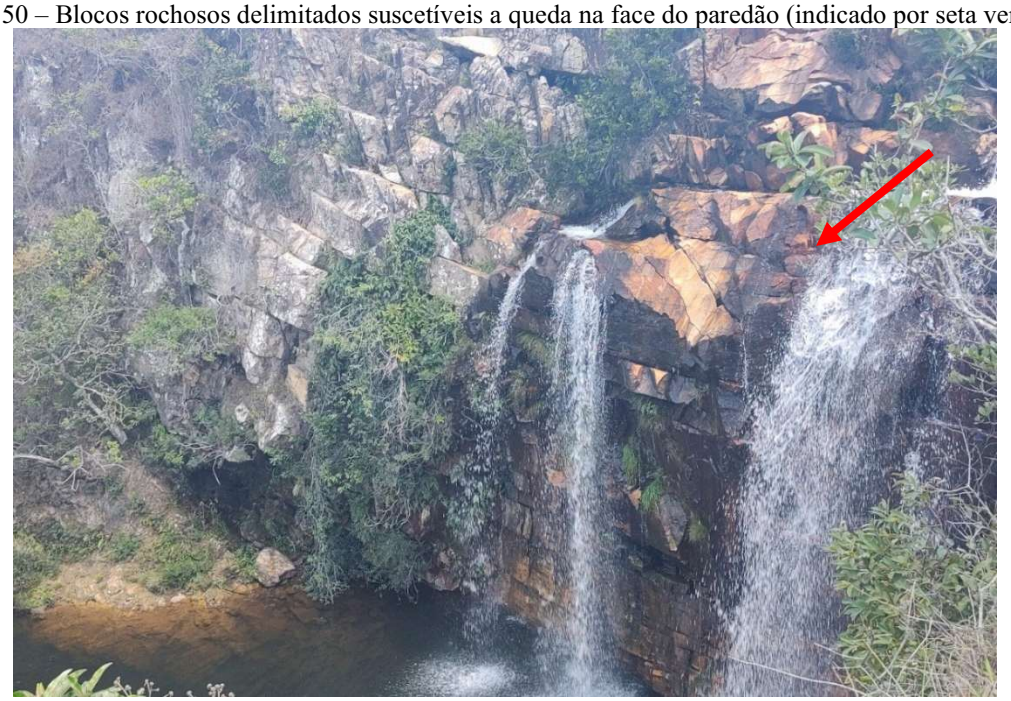
Fonte: Autor.

Figura 149 – Blocos rochosos delimitados na face do paredão.



Fonte: Autor.

Figura 150 – Blocos rochosos delimitados suscetíveis a queda na face do paredão (indicado por seta vermelha).



Fonte: Autor.

Figura 151 – Afloramento fragmentado com descontinuidades abertas e suscetibilidade elevada a queda de blocos, na trilha a direita da Cachoeira da Toca.



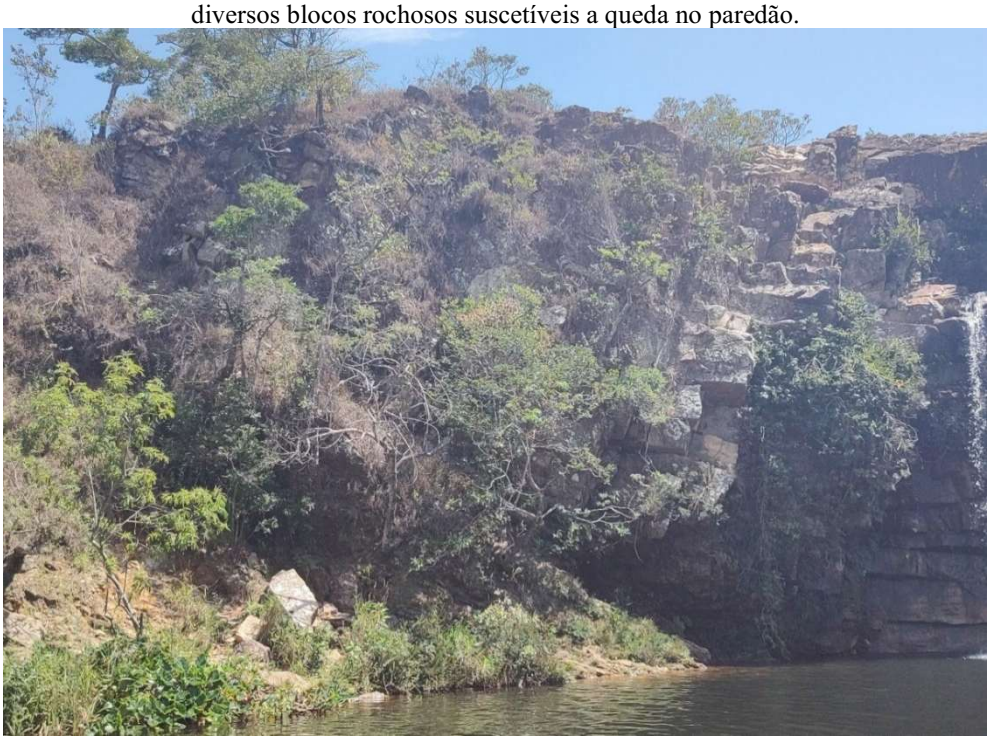
Fonte: Autor.

Figura 152 – Afloramento, na margem direita do poço, muito fraturado, intenso intemperismo e colonização vegetal. Observa-se diversos blocos suscetível a queda, gerando usa condição de perigo aos visitantes.



Fonte: Autor.

Figura 153 – Lateral esquerda da queda d'água, onde é possível observar blocos caídos em encosta íngreme e diversos blocos rochosos suscetíveis a queda no paredão.



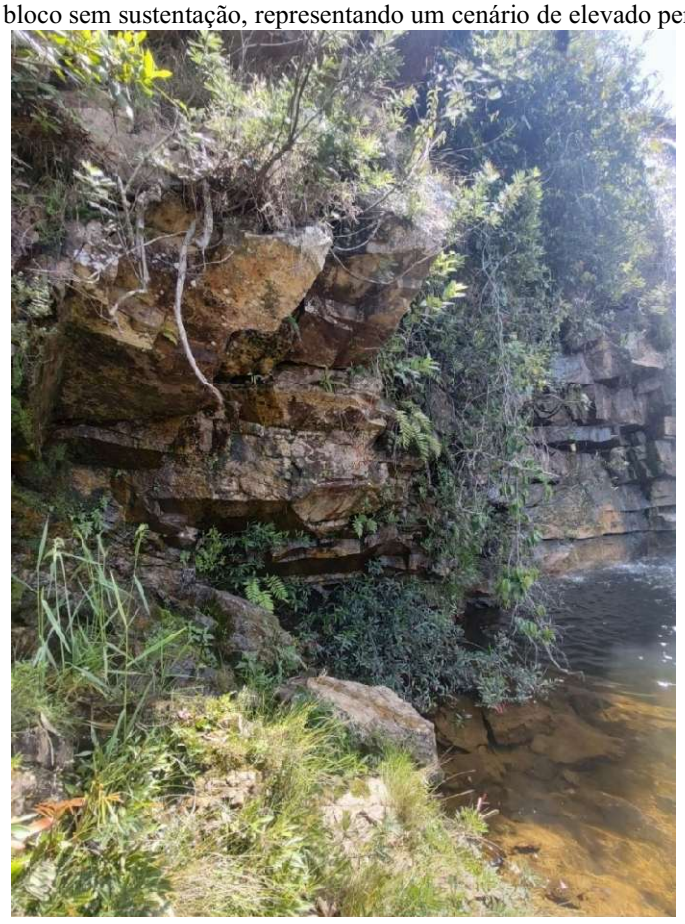
Fonte: Autor.

Figura 154 – Cicatriz de escorregamento circular na base da encosta adjacente a cachoeira (indicado por seta vermelha).



Fonte: Autor.

Figura 155 – Lateral esquerda da Cachoeira da Toca. Evidencia-se o elevado grau de fraturamento do maciço rochoso, com diversos bloco sem sustentação, representando um cenário de elevado perigo a queda de blocos.



Fonte: Autor.

5.1.2.5.23 Complexo Cachoeira do Bambá / Andorinhas – Distrito Sede

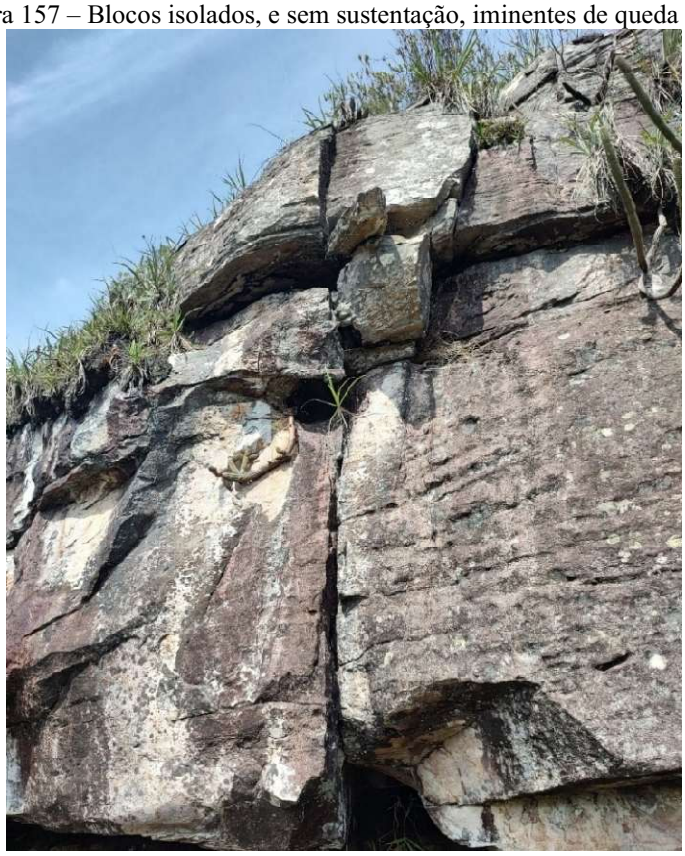
O acesso às cacheiras Bambá e Andorinhas se dá por trilha, parte do percurso tangencia a encosta rochosa. Nota-se a ocorrência de lascas e blocos soltos de quartzito no paredão (Figuras 156 e 157), ainda pode ser observadas indícios de desplacamentos, segundo descontinuidades subhorizontalizadas. O complexo de cachoeiras desenvolve-se em uma sequência composta por metaconglomerado, filito e quartzito, controlado por um sistema de descontinuidade geomecânica de direção E-W.

Figura 156 – Blocos rochosos em encosta que tangencia a trilha de acesso ao complexo de cachoeiras (indicados por setas vermelhas).



Fonte: Autor.

Figura 157 – Blocos isolados, e sem sustentação, iminentes de queda livre.

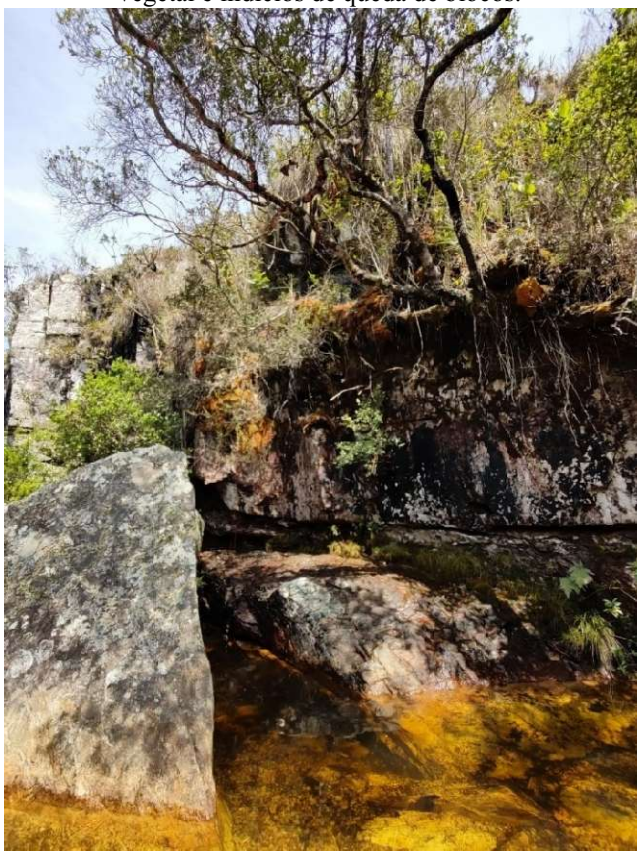


Fonte: Autor.

A Cachoeira do Bambá possui dois poços, o primeiro é um pouco mais amplo e menos profundo. Em sua porção direita, nota-se alguns blocos soltos, contudo, caso haja movimentação, não há perigo de atingimento da área frequentada. Entretanto, o paredão de quartzito adjacente se encontra bastante compartimentado por três conjuntos de descontinuidades geomecânicas, com um sistema de fraturas subhorizontalizadas mais evidente por sua abertura, intensa exfiltração de água e colonização vegetal (Figura 158). Essas características condicionam a redução da estabilidade da parede rochosa, podendo deflagrar queda de blocos, como diversos indícios demonstram (Figura 159). Na parede esquerda, a intensidade de percolação e colonização vegetal reduzem, entretanto, ainda é possível observar blocos delimitados que podem cair.

No poço principal, o padrão estrutural que controla o fraturamento do maciço se mantem (Figura 160). O maciço rochoso é caracterizado por uma alternância de quartzito e finas camadas de filito, que por menor resistência ao intemperismo e erosão, marca o maciço com descontinuidades subhorizontalizadas de grande abertura.

Figura 158 – Parede direita adjacente ao poço menor. Evidencia-se a fragmentação do maciço, colonização vegetal e indícios de queda de blocos.



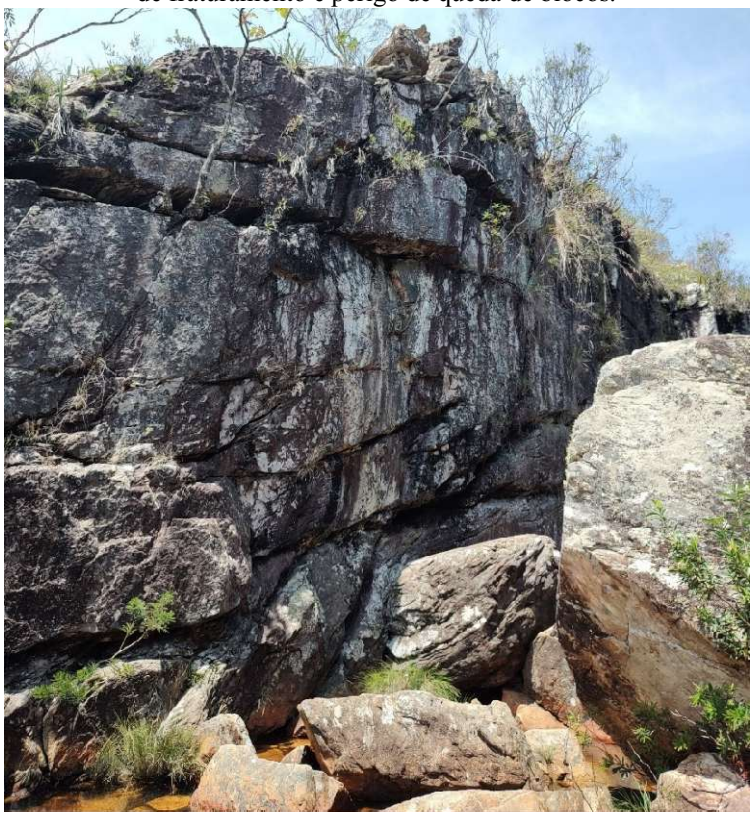
Fonte: Autor.

Figura 159 – Paredão direito adjacente ao trajeto entre os dois poços. Verifica-se indícios de queda de blocos.



Fonte: Autor.

Figura 160 – Paredão esquerdo adjacente ao poço menor e trajeto entre os dois poços. Verifica-se elevado grau de fraturamento e perigo de queda de blocos.



Fonte: Autor.

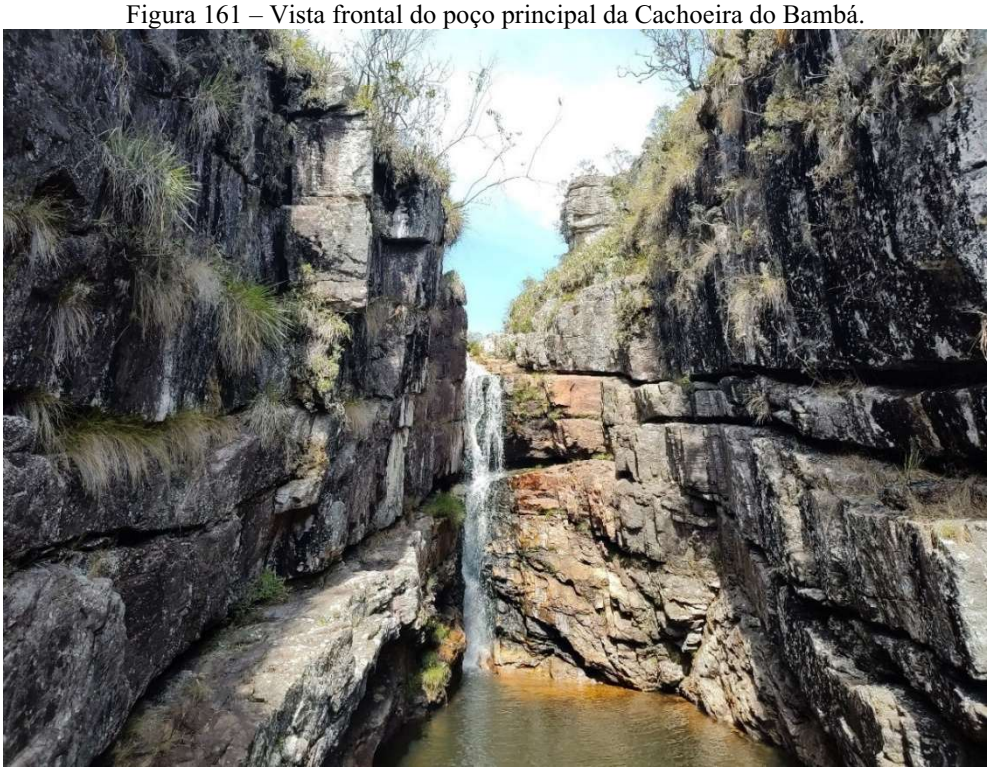
Com o intemperismo diferencial, os blocos de quartzitos perdem sustentação e podem cair em queda livre (Figura 161). No topo do paredão esquerdo pode ser observado um grande bloco, cuja base corresponde a um plano que mergulha em sentido ao poço (Figura 162).

A cachoeira e a drenagem se desenvolveram segundo um sistema de fraturas subverticalizados, que inclusive condiciona a formação dos paredões adjacentes ao poço principal e a deflagração de determinados processos geodinâmicos, como tombamentos (Figura 163 e 164).

A parede esquerda está apoiada em filito, com mergulho concordante ao do quartzito (Figura 165), assim como as intercalações. A evolução da alteração da base do paredão pode provocar a perda de sustentação, como observado na base da parede, podendo deflagrar um tombamento em direção ao poço.

A parede atrás da queda d'água, embora muito compartimentada, não exibe blocos rochosos isolados. Na parede direita do poço é possível observar diversos blocos soltos. É conspícua a ocorrência de coluna rochosa instável sustentada somente por um bloco rochoso (Figura 166), na porção central do poço. As fraturas se encontram muito abertas, registra-se colonização vegetal e indícios de movimento, mesmo que pequena

Figura 161 – Vista frontal do poço principal da Cachoeira do Bambá.



Fonte: Autor.

Figura 162 – Bloco de quartzito com elevada suscetibilidade de deslizamento e queda livre (indicado por seta).



Fonte: Autor.

O acesso para a Cachoeira das Andorinhas se dá pelas laterais da Cachoeira do Bambá. Parte do caminho corresponde em um trecho da drenagem que abastece a Cachoeira do Bambá, consistindo em um vale com margens. Na cabeceira das andorinhas (Figura 167) há intensa formação de blocos de quartzitos, muitos já movimentados (Figuras 168 e 169).

Figura 163 – Vista dos paredões adjacentes ao poço principal. Registra-se a suscetibilidade de tombamento na parede esquerda da cachoeira (indicado por seta vermelha).



Fonte: Autor.

Figura 164 – Fratura, paralela a direção da drenagem, aberta, preenchida parcialmente por fragmentos de rocha e colonização vegetal (indicado por seta vermelha).



Fonte: Autor.

Figura 165 – Compartimentação do paredão esquerdo. Evidencia-se atuação de intemperismo diferencial e perda de sustentação dos blocos formados (indicado por seta vermelha).



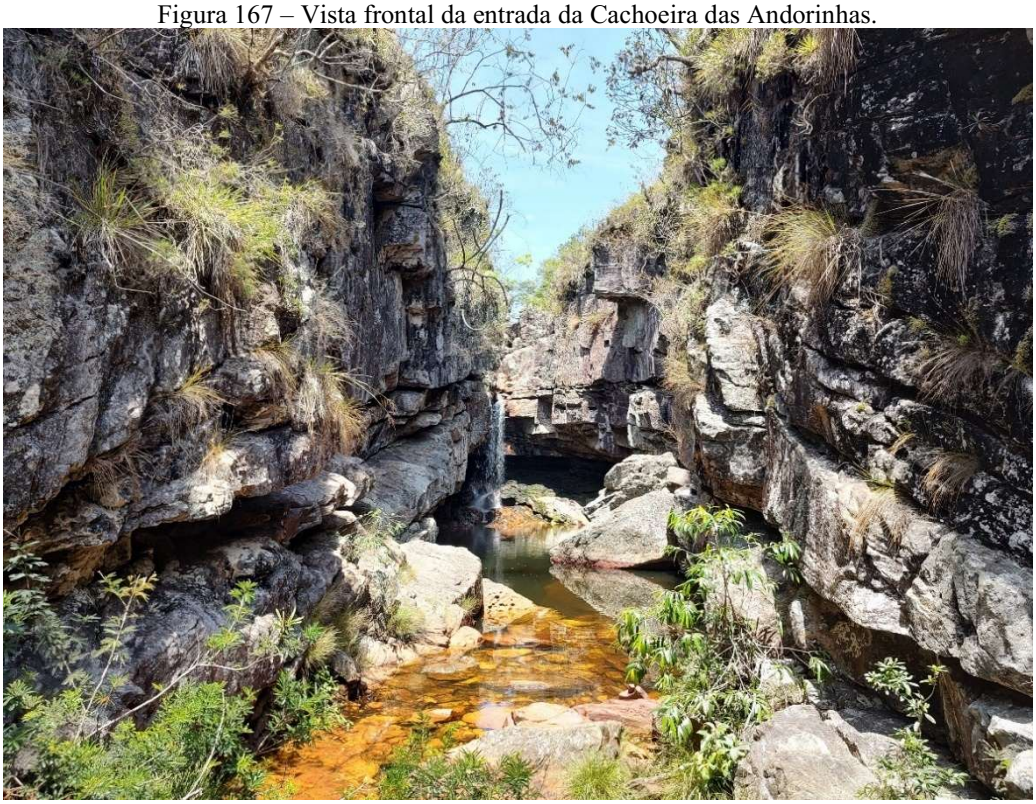
Fonte: Autor.

Figura 166 – Maciço rochoso muito fraturado. Evidencia-se a ocorrência de blocos soltos de iminente queda (indicado por seta vermelha), representando perigo muito alto a queda de blocos.



Fonte: Autor.

Figura 167 – Vista frontal da entrada da Cachoeira das Andorinhas.



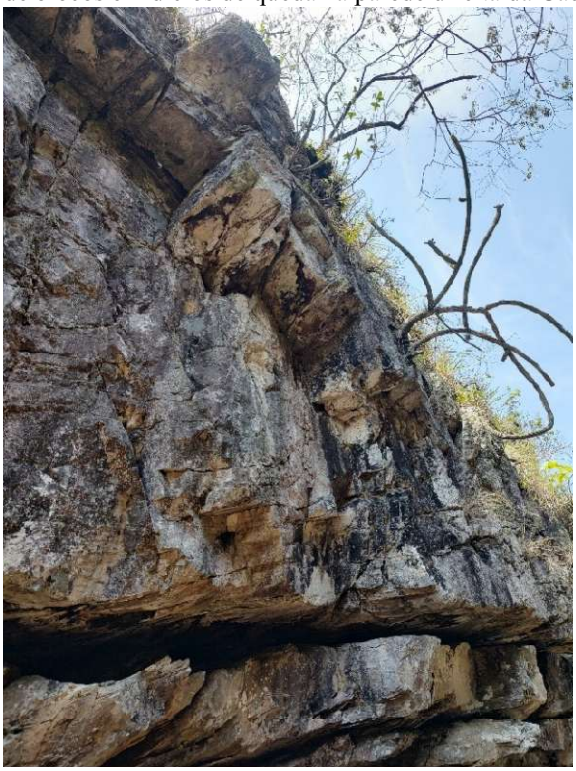
Fonte: Autor.

Figura 168 – Blocos caídos e formação de tetos de quartzito com lascas instáveis da Cachoeira das Andorinhas.



Fonte: Autor.

Figura 169 – Formação de blocos e indícios de queda na parede direita da Cachoeira das Andorinhas.



Fonte: Autor.

Os blocos de quartzito são formandos e posteriormente caem devido a perda de estabilidade da base, visto que há intercalação de filito, que apresenta menor resistência ao intemperismo, formando tetos de quartzito.

A intensa formação de blocos rochosos, o vale estreito no qual o complexo se estabelece e, consequentemente, elevada possibilidade de atingimento aos poços classificam as cachoeiras Bambá e Andorinhas como de perigo geológico muito alto.

5.1.2.6 Modelagem cinemática

Estruturas geológicas como acamamento e foliações correspondem a estruturas planares que representam descontinuidades geomecânicas nos maciços rochosos, sejam estes de morfologia natural ou não. Estruturas como estas condicionam a deflagração de processos geodinâmicos, como deslizamentos planares, contudo, quando associadas a outras descontinuidades como falhas e fraturas, podem controlar a formação de blocos, lascas e cunhas, suscetíveis a quedas, tombamentos e deslizamentos em cunha.

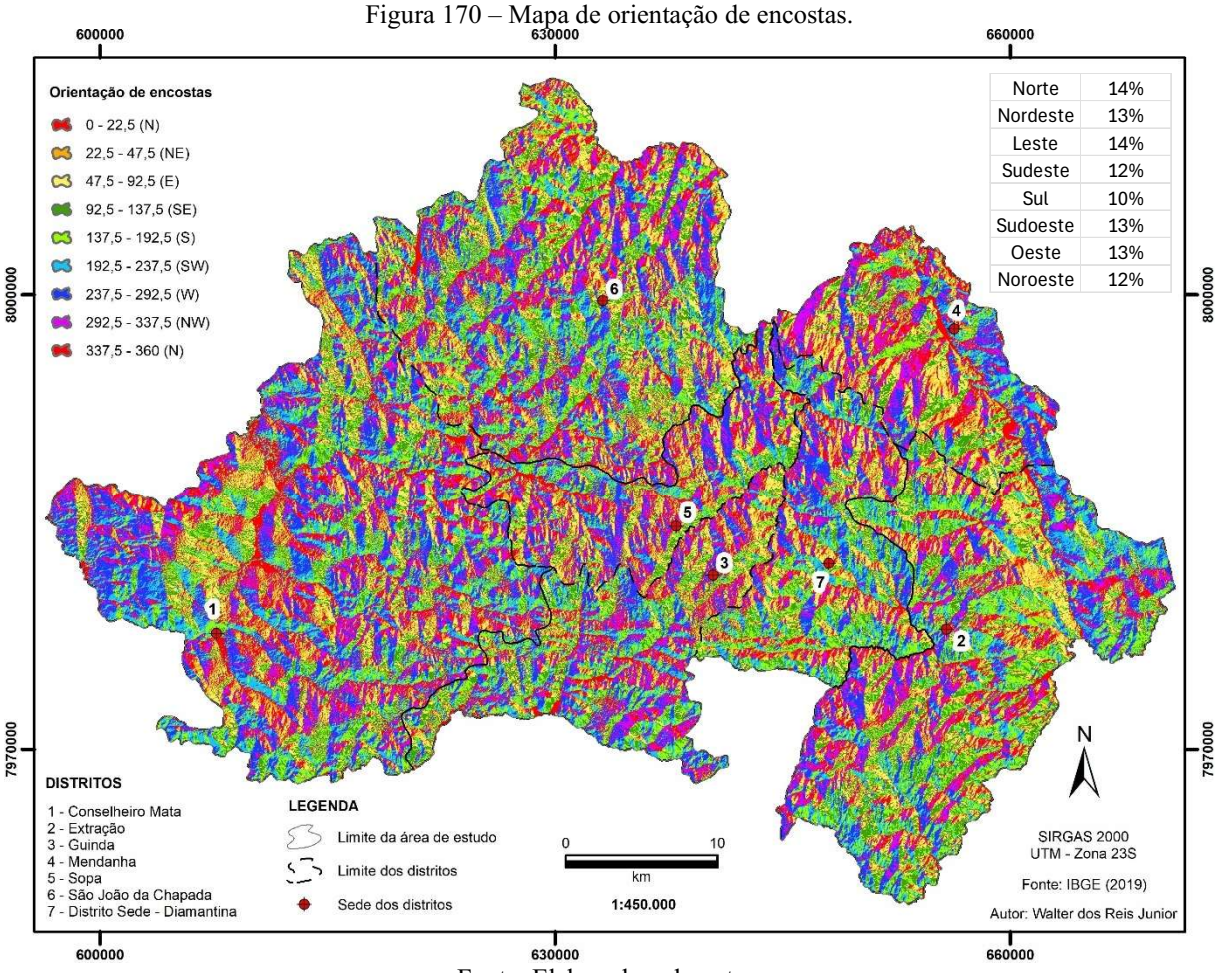
Considerando a relevância dessas estruturas sedimentar e metamórfica no controle do comportamento geomecânico das rochas da porção sul do município de Diamantina, a avaliação do estado de confinamento destas torna-se importante, visto que em cenários de

desconfinamento de descontinuidades, a possibilidade de deflagração de movimentos de massa se eleva. Em situações como esta, de desconfinamento, as estruturas apresentam direção paralela a orientação das vertentes e ângulo de mergulho inferior a declividade destas encostas, ou seja, seus planos afloram na face dos taludes, sejam naturais ou não.

Este procedimento correspondeu a uma análise cinemática simplificada, conforme descrito no tópico 4.3.2.2, em Materiais e Métodos. Para tanto, utilizou-se os produtos intermediários, mapas de orientação de encostas e declividade, que foram sobrepostos a superfícies geradas por interpolação de dados de sentido e ângulo de mergulho de acamamentos e foliações de rochas da área de estudo, respectivamente.

O mapa de orientações de vertentes (Figura 170) evidencia certa homogeneidade no que tange as orientações preferencias das encostas. que variam entre 10 e 14% para cada direção.

Figura 170 – Mapa de orientação de encostas.

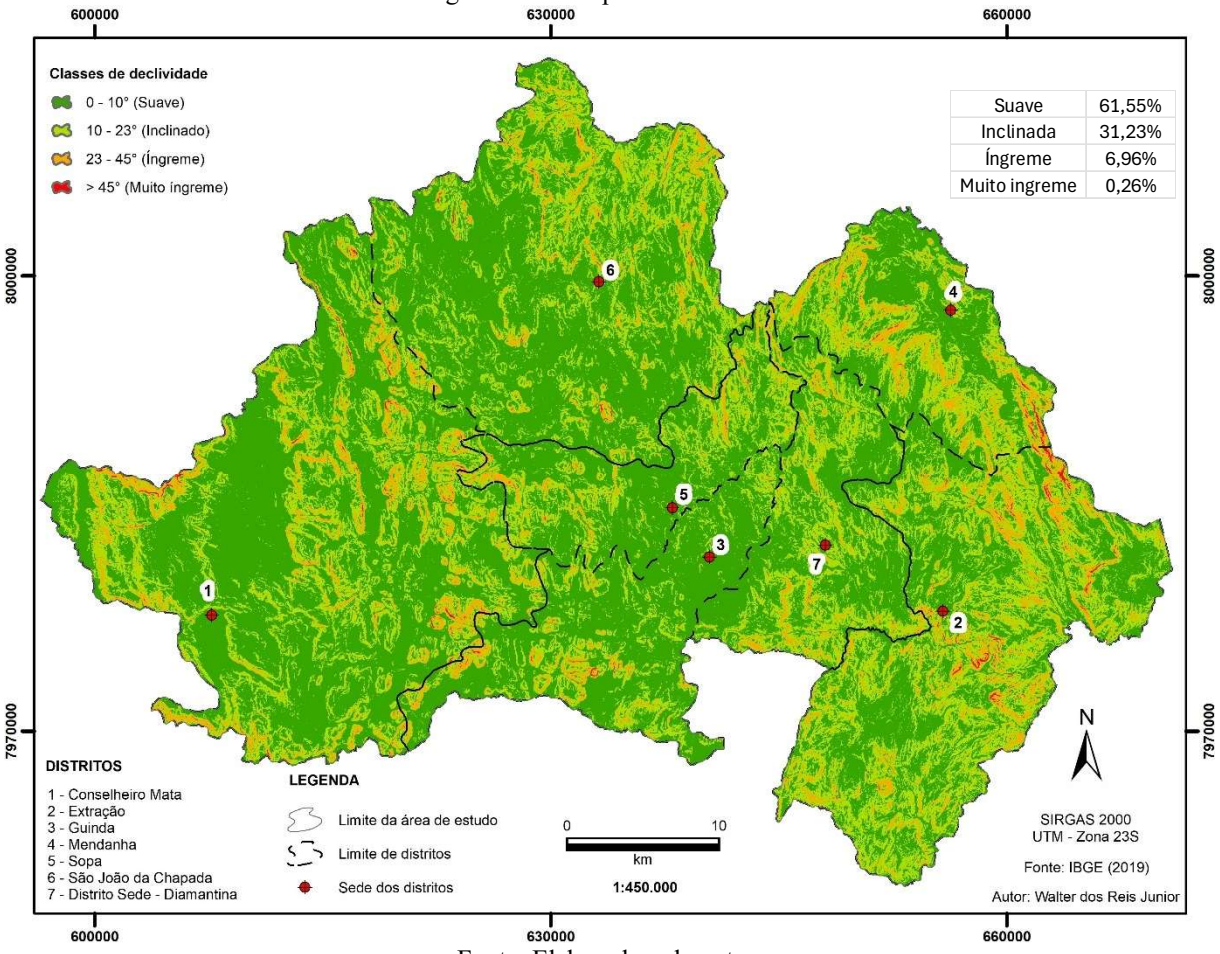


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em termos de declividade, a porção sul do município de Diamantina é caracterizada por cerca de 93% de encostas suaves a inclinadas (Figura 171). Os relevos de maiores declividades

são giram em torno de 7%, sendo os terrenos com inclinação superior a 45° (muito íngremes) correspondentes a somente 0,26%.

Figura 171 – Mapa de declividade.

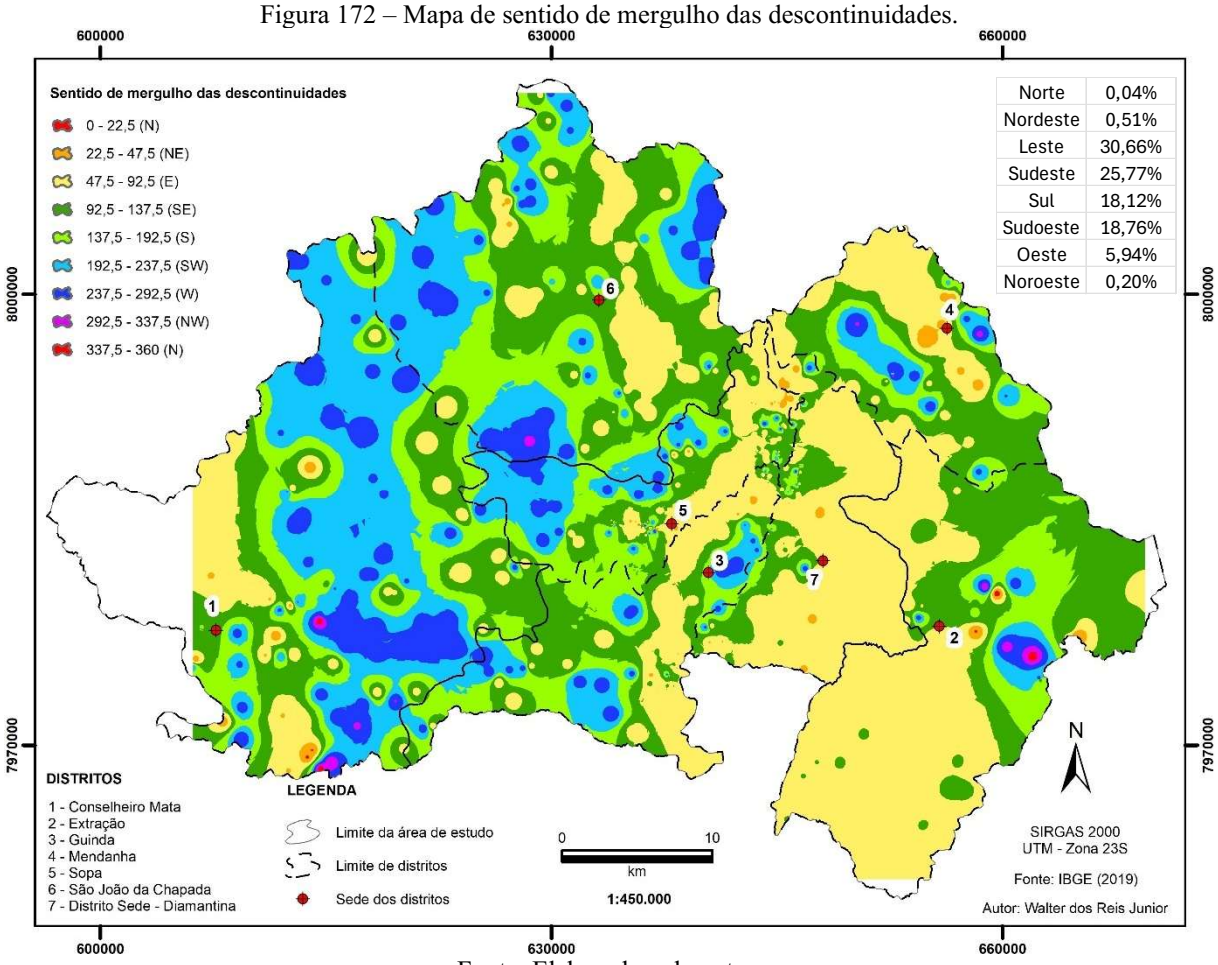


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os produtos gerados a partir da interpolação do sentido e ângulo de mergulho das descontinuidades representam a variação espacial destes, complementando a análise do comportamento da orientação de acamamento e foliações. Contudo, é importante salientar que estes resultados são influenciados pelo número de feições estruturais descritas e medidas em campo, bem como a sua distribuição pela área de estudo.

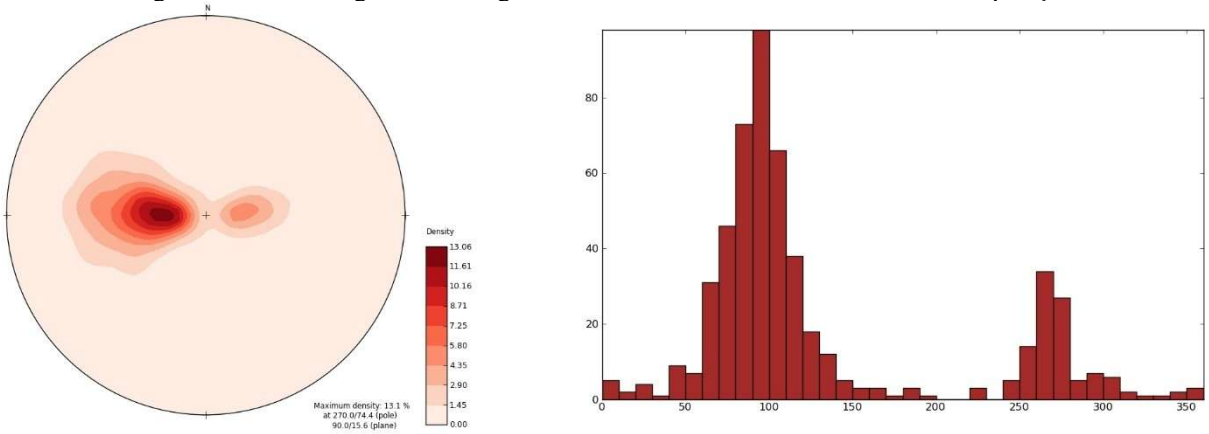
O mapa que representa a variação do sentido das descontinuidades (Figura 172) deixa evidente que estas estruturas mergulham, preferencialmente, para leste (30,66%), sudeste (25,77%) e sudoeste (18,76%), ratificando os dados já discutidos por meio dos diagramas de rosetas, tanto obtidos por meio da compilação de dados estruturais em trabalhos anteriores como os gerados por geoprocessamento com a extração automática de lineamentos. A figura 173 apresenta o estereograma e o histograma para melhor visualização desses dados.

Figura 172 – Mapa de sentido de mergulho das descontinuidades.



Fonte: Elaborado pelo autor.

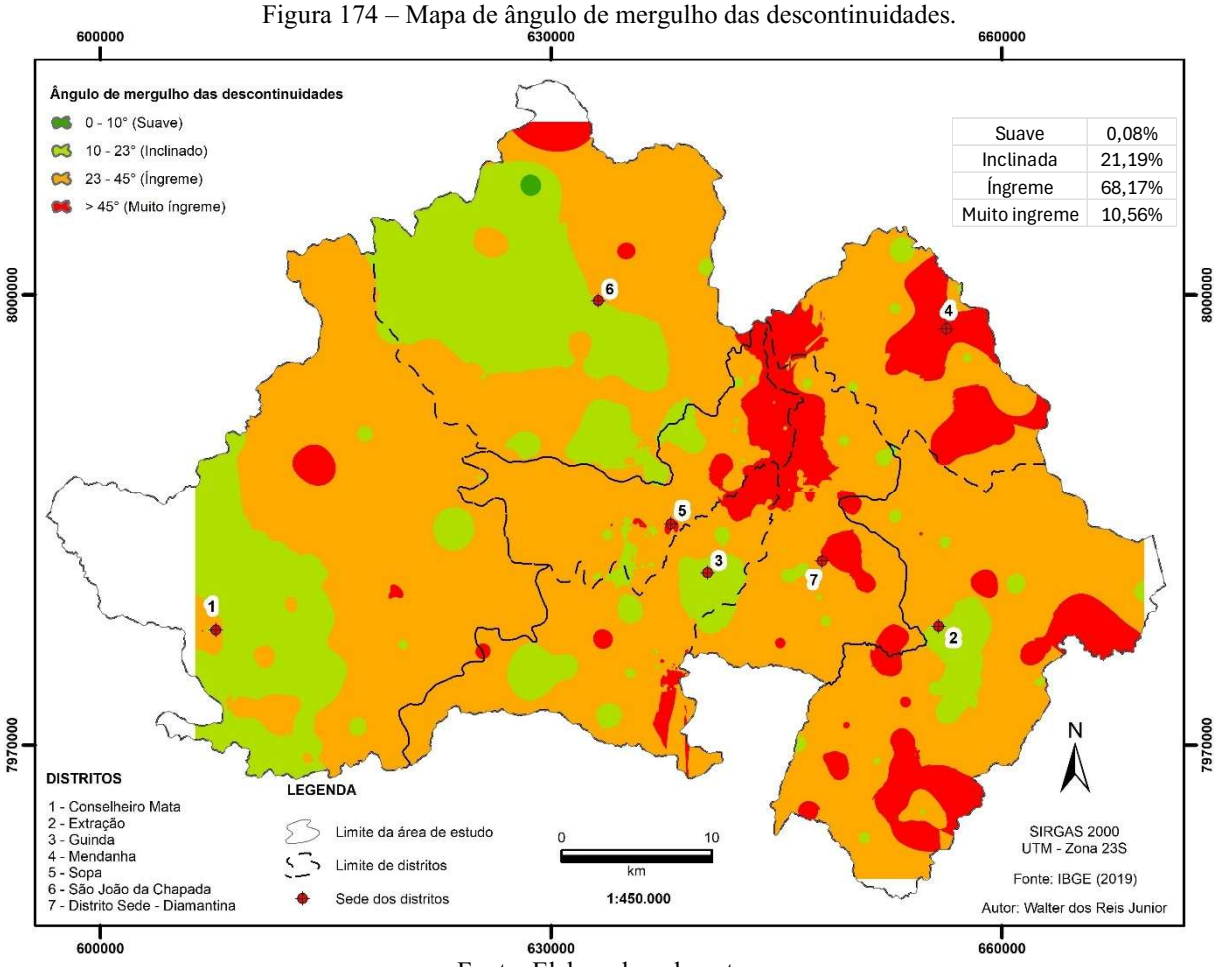
Figura 173 – Estereograma e histograma dos dados estruturais utilizados na interpolação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Do ponto de vista do ângulo de mergulho de acamamentos e foliações (figura 174), percebe-se uma maior concentração de estruturas que mergulham com ângulos entre 23° e 45°. Contudo, mergulhos entre 10° a 23° também são representativos na região, seguidos daqueles superiores a 45°. Estruturas com ângulos de mergulho inferiores a 10°, basicamente, são irrisórios na área, visto que não correspondem nem a 0,1%.

Figura 174 – Mapa de ângulo de mergulho das descontinuidades.

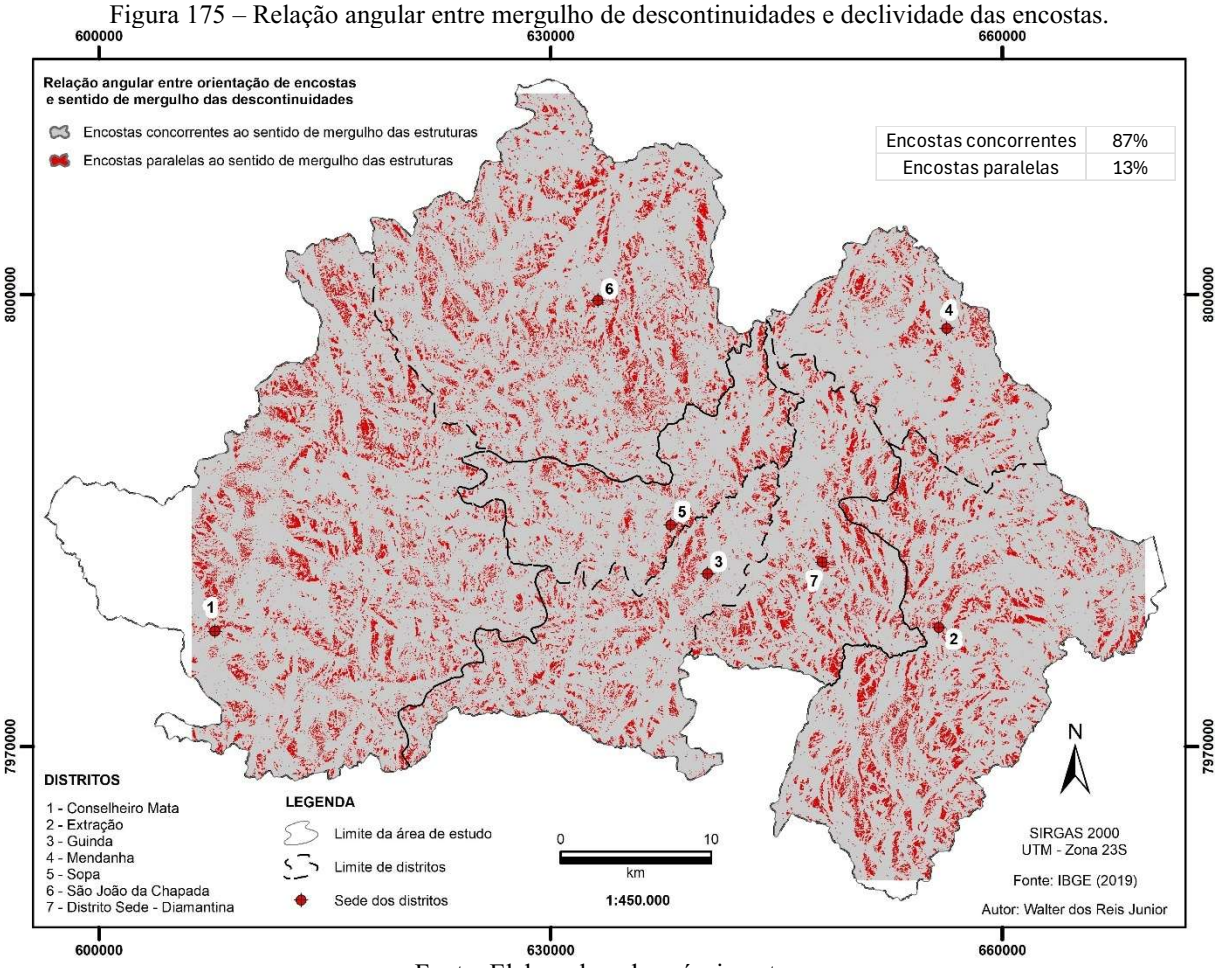


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a verificação do estado de confinamento dos maciços rochosos, o primeiro passo foi a determinação do paralelismo entre a orientação das encostas e o sentido de mergulho das descontinuidades (Figura 175). Posteriormente, por meio do cruzamento entre o mapa de declividade e a superfície que representa a variação do ângulo de mergulho das descontinuidades, obteve-se a relação angular entre elas (Figura 176), que possibilita identificar as porções do terreno nas quais as descontinuidades mergulham com um ângulo superior a declividade das vertentes.

Cerca de 13% da área estudada corresponde a terrenos nos quais há paralelismo entre o sentido de mergulho de descontinuidades geomêcnicas e a orientação das vertentes. Esta corresponde a primeira condição para que estruturas sejam desconfinadas, naturalmente ou não. O que pode levar a deflagração de diversos processos geodinâmicos, sobretudo, deslizamentos translacionais.

Figura 175 – Relação angular entre mergulho de descontinuidades e declividade das encostas.

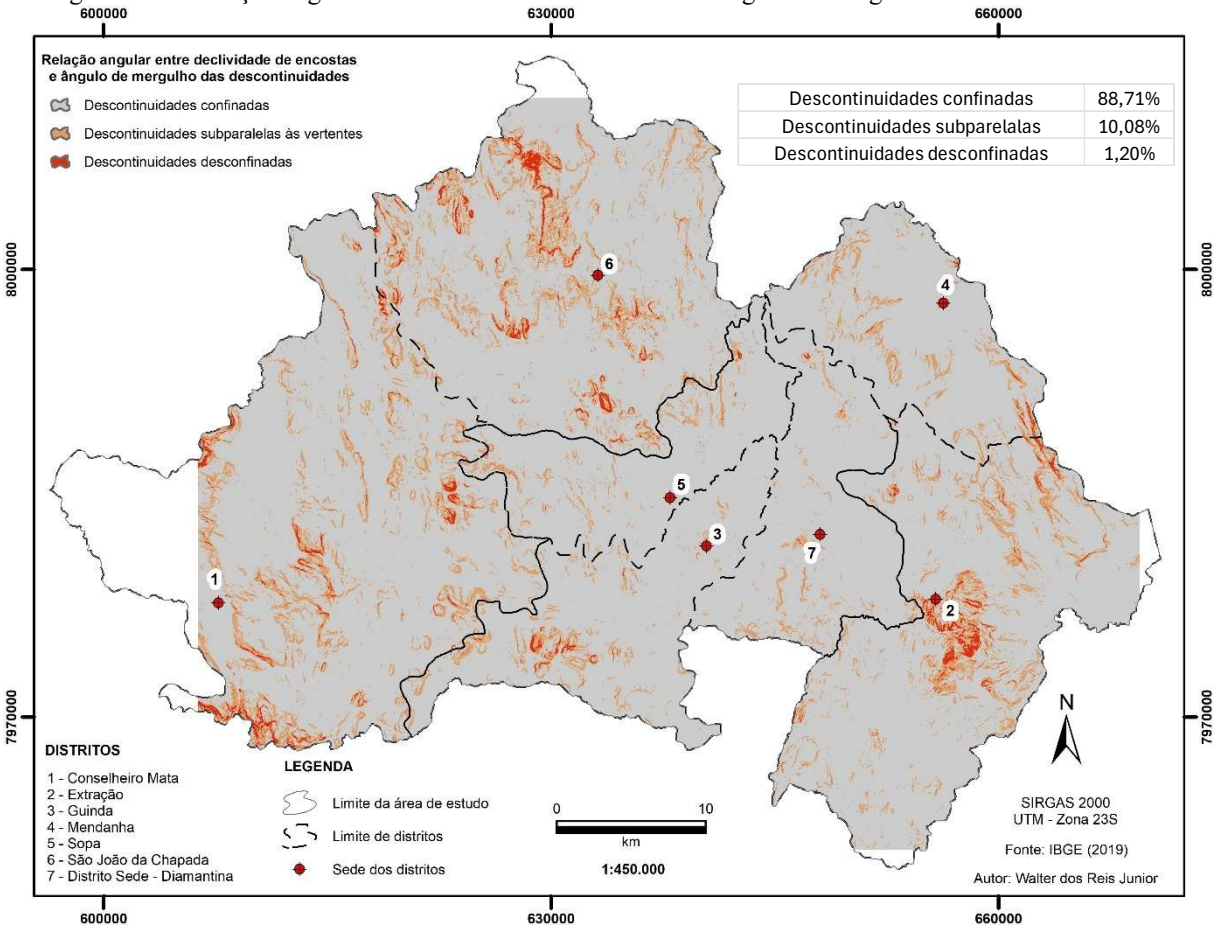


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quando se analisa a relação angular entre o ângulo de mergulho das descontinuidades e a declividade das encostas (Figura 176), pode-se observar a ampla ocorrência de maciços rochosos com acamamentos e foliações que mergulham mais intensamente que a declividade dos terrenos (88,71%), de modo que a base dos planos não aflore nas vertentes, confinando assim, as estruturas e impossibilidade qualquer tipo de movimentação sobre aquela superfície planar. Outro cenário modelado corresponde, em certo ponto de vista, também a uma situação de confinamento, contudo, há uma relação de paralelismo entre o ângulo de mergulho e a declividade das encostas (10,08%). Neste caso, a possibilidade de desconfinamento é elevada, visto que as classes delimitadas na reclassificação das declividades e da superfície gerada pela interpolação dos ângulos de mergulho apresentam variação de inclinações, além do fato de que essa relação angular permite que a condição de confinamento seja facilmente perdida, caso haja alguma interação com outras estruturas ou ainda por pequenas modificações da morfologia na base dessas encostas. Já, o cenário de desconfinamento de descontinuidades ocorre em uma porção muito pequena da área (1,2%), correspondendo a vertentes de menor declividade que o

ângulo de mergulho de acamamento e foliações, permitindo que volume de materiais geológicos possam se movimentar sobre a superfície desconfinada.

Figura 176 – Relação angular entre declividade das encostas e ângulo de mergulho das descontinuidades.

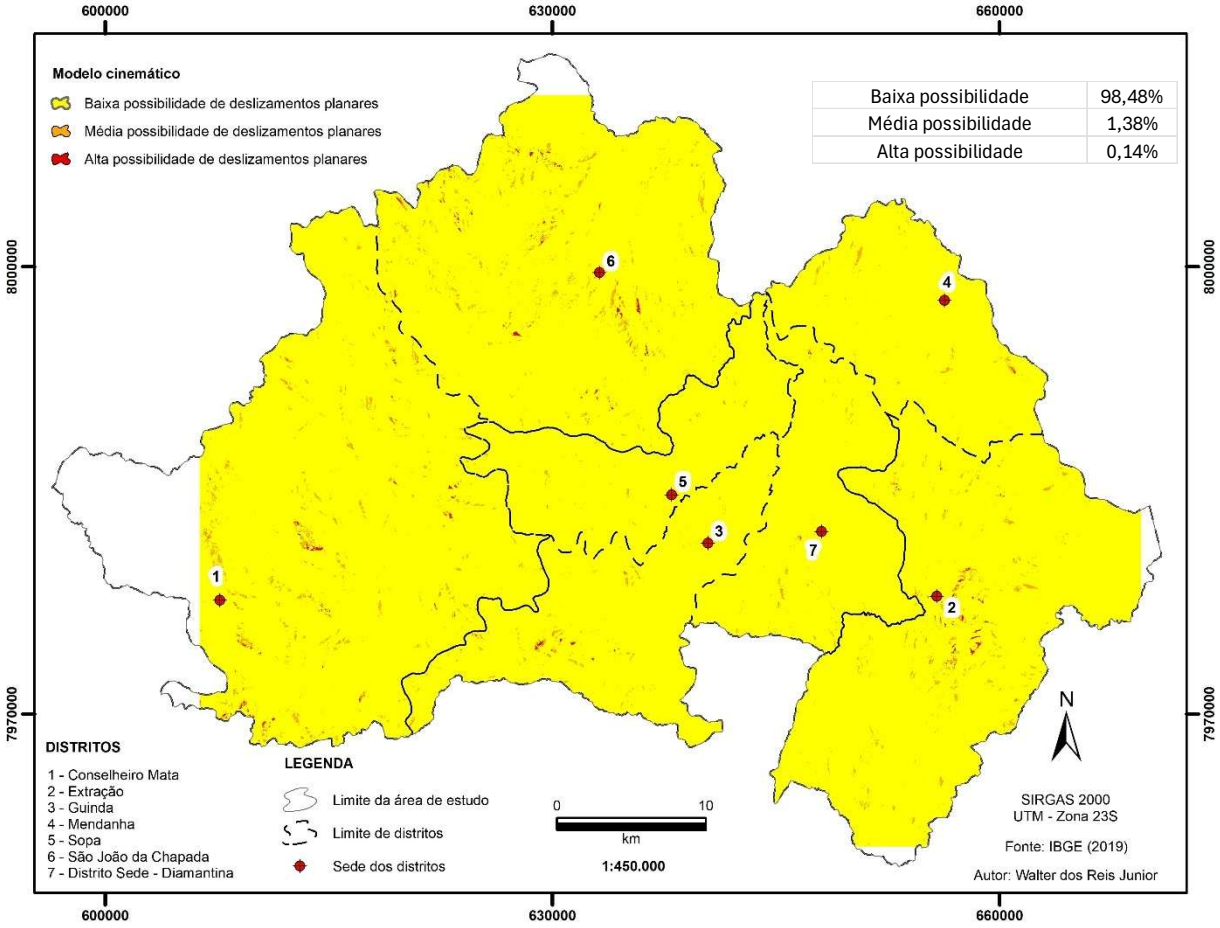


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a finalização desta avaliação, os dois produtos cartográficos anteriormente apresentados foram sobrepostos, obtendo-se um modelo cinemático (Figura 177 e Apêndice C) que delimitasse porções de acordo com a possibilidade de deflagração de movimentação de massa segundo as descontinuidades desconfinadas em maciços rochosos.

Basicamente, quase toda a área de estudo apresenta baixa possibilidade de rupturas planares (98,48%), representando a convergência dos cenários em que as descontinuidades não são paralelas as vertentes e mergulham mais intensamente que a declividade das encostas, conforme ilustrado na figura 178.

Figura 177 – Modelo cinemático para escorregamentos planares.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 178 – Afloramento de quartzito, cujo acamamento mergulha contrariamente ao declividade da encosta, em área de baixa suscetibilidade a escorregamentos planares (645994 x 7985560 23K).



Fonte: Autor.

As classes de menor ocorrência representam 1,38% (média possibilidade) e 0,14% (alta possibilidade) dos terrenos analisados, correspondendo a cenários nos quais o ângulo de mergulho máximo das descontinuidades (Figura 179) é igual a declividade do terreno, além de terem direções paralelas as vertentes. São consideradas de alta suscetibilidade a deslizamentos translacionais as áreas em que o desconfinamento das estruturas é evidente.

Figura 179 – Afloramento de quartzito, cujo acamamento é paralelo a declividade do talude, em área de média suscetibilidade a escorregamentos translacionais (649297 x 7981248 23K).



Fonte: Autor.

Nesta análise do estado de confinamento de maciços rochosos são tratados somente os dados sobre acamamentos e foliações por representarem estruturas geológicas conspícuas nas litologias da região e estão intimamente ligadas ao processo de formação destas rochas, como rochas metapelíticas, quartzitos, filitos e xistos, que muitas vezes ocorrem em camadas alternadas.

Estas descontinuidades correspondem a superfícies de fraqueza estrutural, condicionando a formação de planos de ruptura, o que leva a deflagração de movimentos de massa. Contudo, não se considera a interação com outras estruturas geológicas, como sistemas de fraturas, que podem ser diversos e controlar o grau de fraturamento desses maciços rochosos. Dessa forma, outros processos geodinâmicos podem ser desencadeados, como queda e

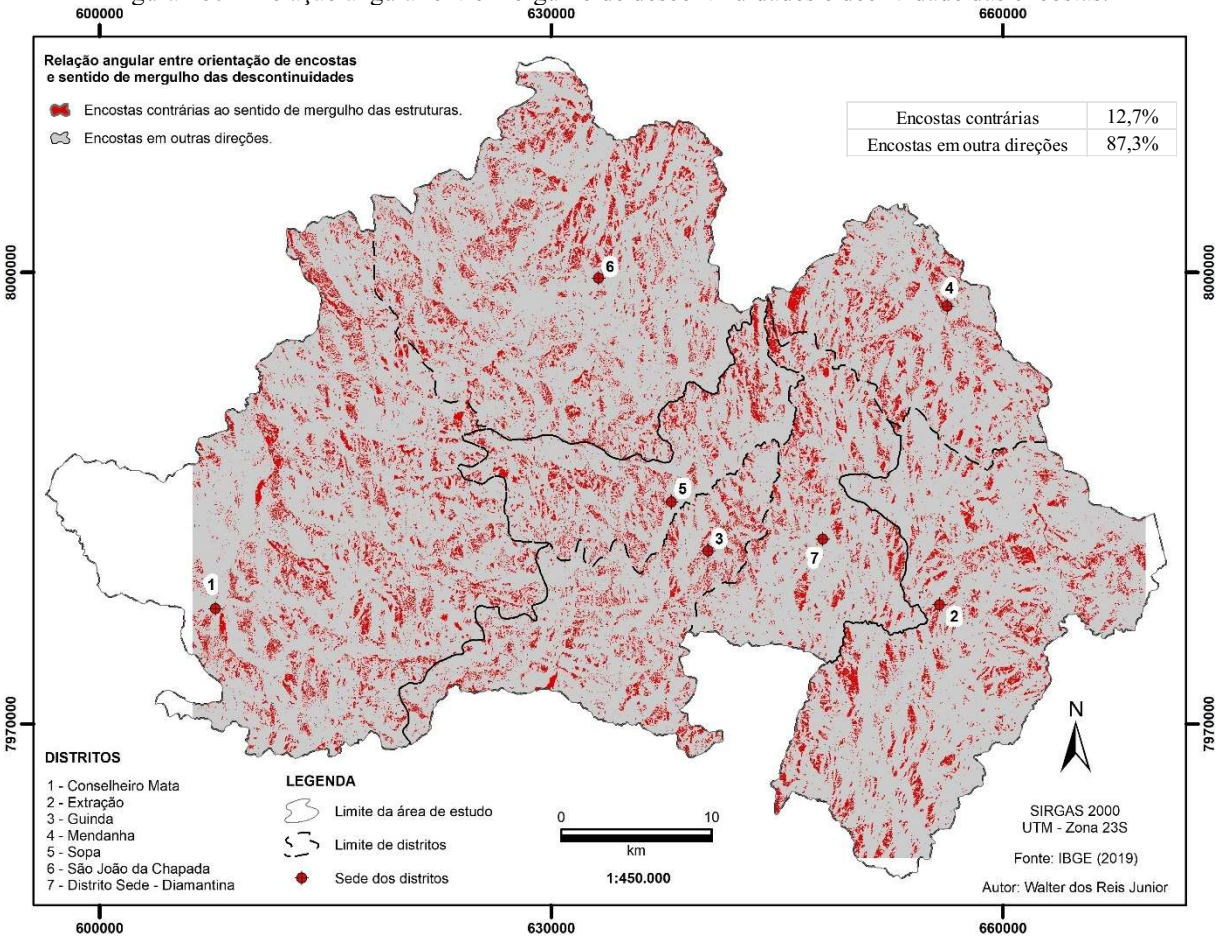
rolamento de blocos, além de outros tipos de movimentos de massa, como deslizamentos em cunha.

Salienta-se, ainda, que esta é uma análise baseada em parâmetros geométricos que influenciam na ocorrência de rupturas planares, ou seja, são desconsiderados parâmetros mecânicos, como coeficiente de atrito interno e coesão. Estes estão relacionados a natureza da rocha, mineralogia e grau de alteração. Logo, mesmo que terrenos estejam inseridos em uma mesma classe de suscetibilidade, o comportamento geotécnico pode ser variável de acordo com as características das litologias aflorantes.

Os resultados indicam a possibilidade de deflagração de deslizamentos planares nesses terrenos, contudo, deve-se observar que as classes podem ter sido ora superestimadas ou subestimadas, devido a resolução da base cartográfica (12,5 m) utilizada na obtenção dos parâmetros morfométricos (declividade e orientação de encostas), que em escala equivalente, corresponde a 1:62.500, além da influência da densidade dos pontos utilizados na interpolação das superfícies nos produtos gerados (variação no sentido de mergulho e intensidade de mergulho das descontinuidades), que equivale a 0,32 pontos/km^2. De forma, que estudos prévios na execução de intervenções, mesmo nas áreas classificadas como de baixa suscetibilidade, não devem ser ignorados, somado ao fato já descrito anteriormente, que não se considerou a interação com outros tipos de estruturas geológicas e parâmetros mecânicos inerentes aos diversos tipos de rochas.

Considerando a relevância de processos geodinâmicos, como tombamentos flexurais, na região de Diamantina. Uma análise sob outra ótica foi realizada com a base de dados da etapa de modelagem de escorregamentos planares. O resultado da sobreposição entre a orientação das encostas e a superfície interpolada gerada a partir do sentido de mergulho das descontinuidades foi reclassificado, de modo a identificar as áreas em que as descontinuidades mergulhassem no sentido contrário as vertentes, ou seja, cenários nos quais a normal das estruturas apresentasse caimento paralelo a direção das encostas (Figura 180). Cerca de 12,7% da área corresponde a terrenos com maciços confinados e com estruturas que mergulham o contrário das vertentes.

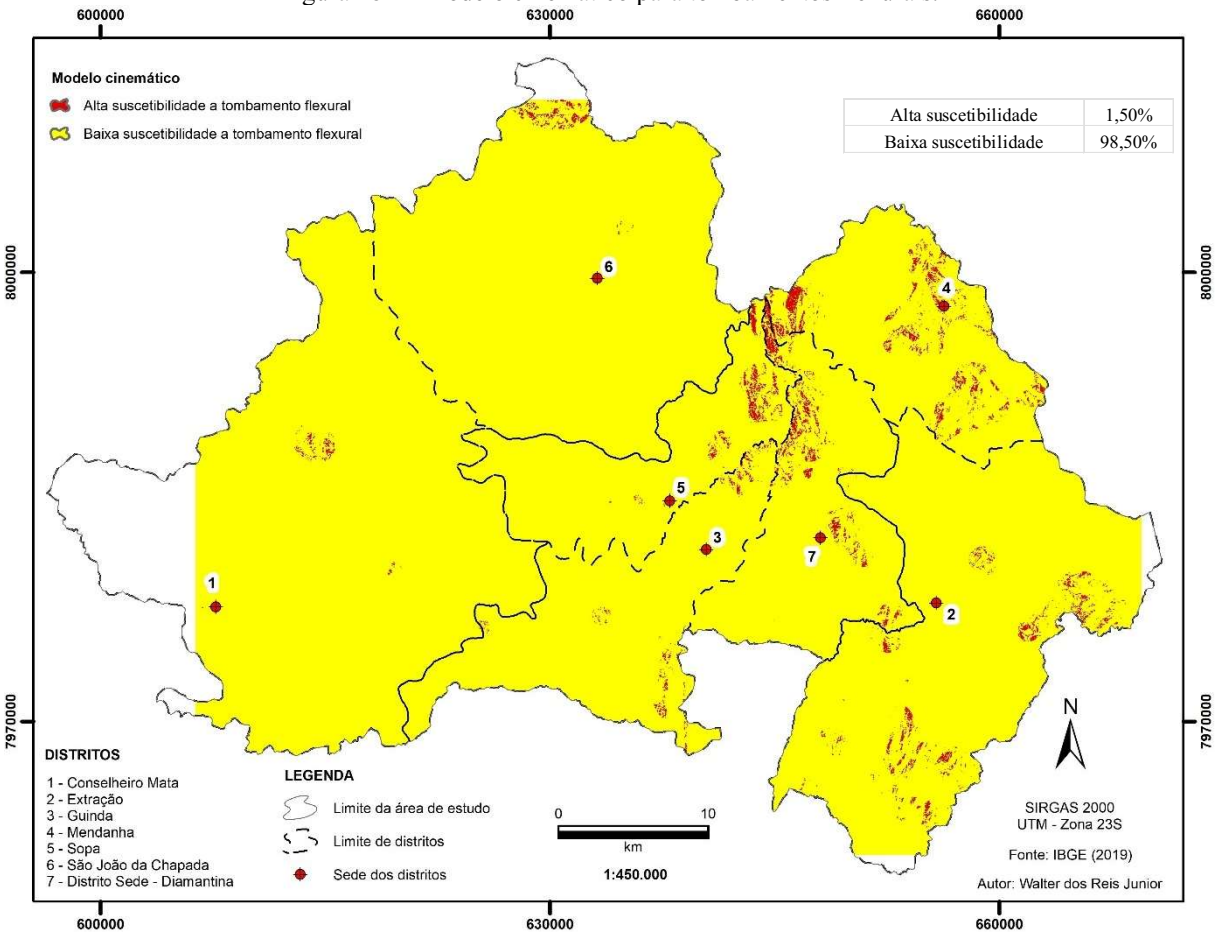
Figura 180 – Relação angular entre mergulho de descontinuidades e declividade das encostas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para que um tombamento flexural seja deflagrado é necessário algumas condições geométricas sejam atendidas. A primeira delas consiste na análise da relação angular realizada acima. Além disso, a descontinuidade deve apresentar mergulho forte e sua normal deve ter caimento inferior a inclinação do talude e ao ângulo de atrito interno. Contudo, assim como executado para a modelagem de deslizamentos planares, este último parâmetro não será considerado nessa análise. Portanto, foi sobreposto ao último resultado somente as áreas nas quais as descontinuidades apresentassem mergulhos superior a 45°, atendendo assim, a segunda condição. O modelo cinemático para tombamentos flexurais é apresentado na figura 181 e apêndice D, indicando que as áreas de alta suscetibilidade correspondem a 1,5% da área estudada. Admite-se aqui, que os outros cenários apresentam baixa suscetibilidade a tombamentos flexurais, visto que o método apresenta limitações por ser sensível a resolução da base utilizada e a densidade dos pontos utilizada na interpolação da superfície. Reitera-se, ainda, que para essa modelagem foram apenas informações relacionadas a acamamentos e foliações.

Figura 181 – Modelo cinemático para tombamentos flexurais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.3 Mapa geotécnico

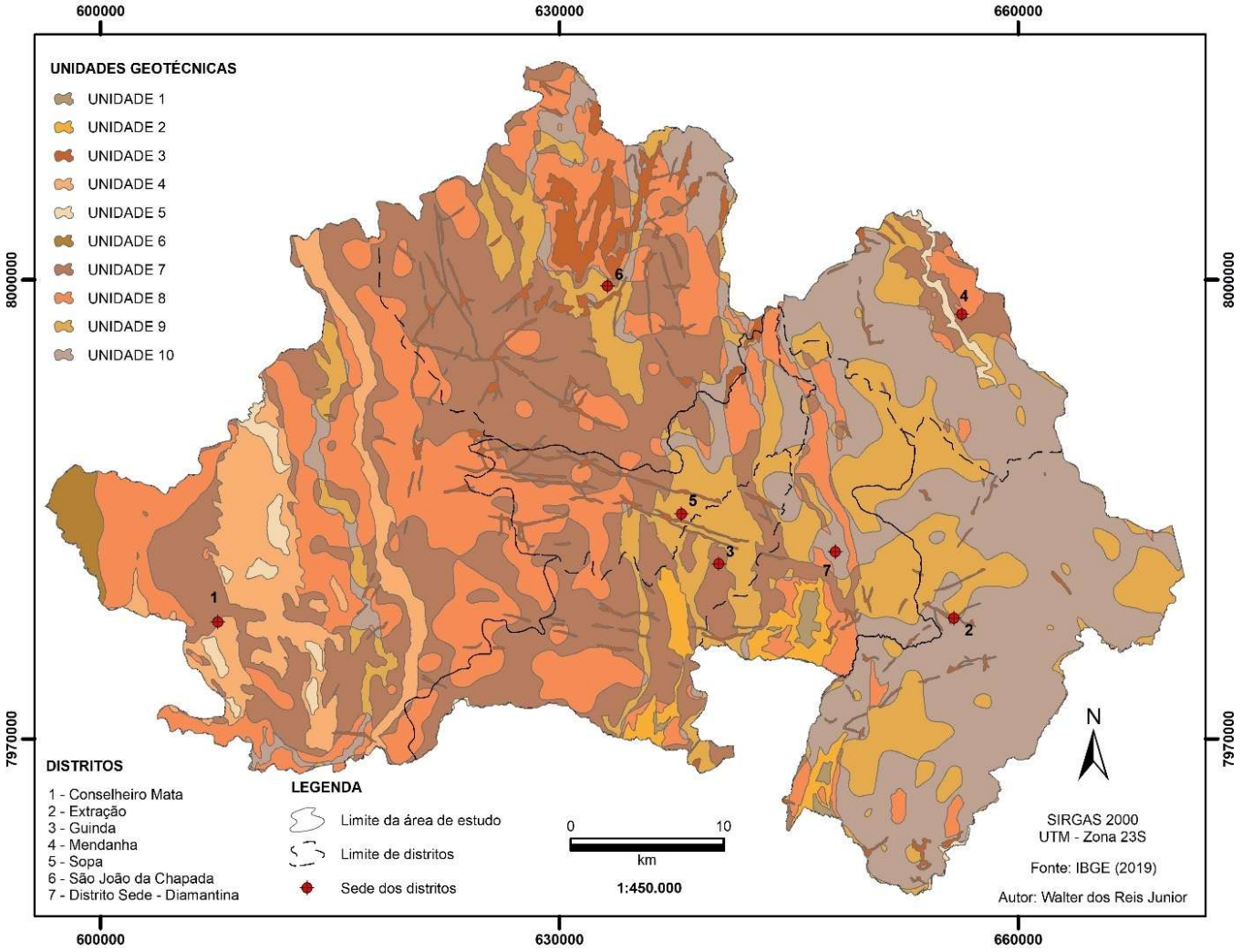
Após a caracterização do mapa geotécnico preliminar (Figura 26), as 24 unidades delimitadas foram reagrupadas. Dessa forma, no mapa de unidades geotécnicas final para a porção sul do município de Diamantina são apresentadas 10 unidades geotécnicas (Tabela 6, Figura 182 e Apêndice E). As descrições a seguir foram baseadas em informações obtidas nos trabalhos de campo, geoprocessamento e análises de imagens de satélite.

Tabela 6 - Características gerais das unidades geotécnicas da porção sul do município de Diamantina.

Unidade geotécnica	Área (km^2)	Litologias dominantes	Unidade geológica	Processos geodinâmicos
1	6,62	Rochas granito-gnaissicas	Complexo Gouveia	Erosão linear
2	30,42	Xistos	Grupo Costa Sena	Deslizamentos planares, desplacamentos e quedas de blocos;
3	76,47	Rochas intrusivas ultrabásicas	Diques e soleiras de metabasito	Deslizamentos, tombamentos, desplacamentos de blocos
4	120,00	Metassiltitos, metargilitos	Fm. Sopa-Brumadinho (xv), Fm. Rio Pardo Grande, Fm. Santa Rita (Supergr. Espinhaço)	Erosão superficial e movimentos de massa isolados
5	22,78	Sedimentos aluvionares e detrito-lateríticos	Aluvião e cobertura detrito-laterítica	Erosão, movimentos de massa
6	16,02	Calcários	Fm. Lagoa do Jacaré (Gr. Bambuí)	Dissolução e subsidência
7	546,28	Quartzitos	Fm. São João da Chapada, F. Galho do Miguel, Fm. Córrego dos Borges, Fm. Córrego Pereira (Supergr. Espinhaço), Fm. Duas Barras (Gr. Macaúbas)	Rolamento, tombamento e queda de blocos; erosão superficial
8	443,38	Quartzitos, metaconglomerados e metadiamictitos	Fm. São João da Chapada, F. Fm. Sopa-Brumadinho (mc), Galho do Miguel, Fm. Córrego dos Borges, Fm. Córrego Pereira (Supergr. Espinhaço), Fm. Duas Barras, Fm. Serra do Catuni (Gr. Macaúbas), Gr. Macaúbas Indiviso	Rolamento, tombamento e queda de blocos; escorregamentos em tálus
9	312,60	Quartzitos, filitos e metapelitos	Fm. Sopa-Brumadinho, Fm. Sopa-Brumadinho (cs), Fm. Córrego Bandeira (Supergr. Espinhaço)	Deslizamentos, desplacamentos, quedas e tombamentos de blocos
10	476,07	Quartzitos e filitos	Fm. Sopa-Brumadinho, Fm. Córrego Bandeira (Supergr. Espinhaço)	Escorregamentos planares, tombamentos e quedas de blocos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 182 – Mapa geotécnico da porção sul do município de Diamantina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.3.1 Unidade geotécnica 1 (Associação de rochas graníticas)

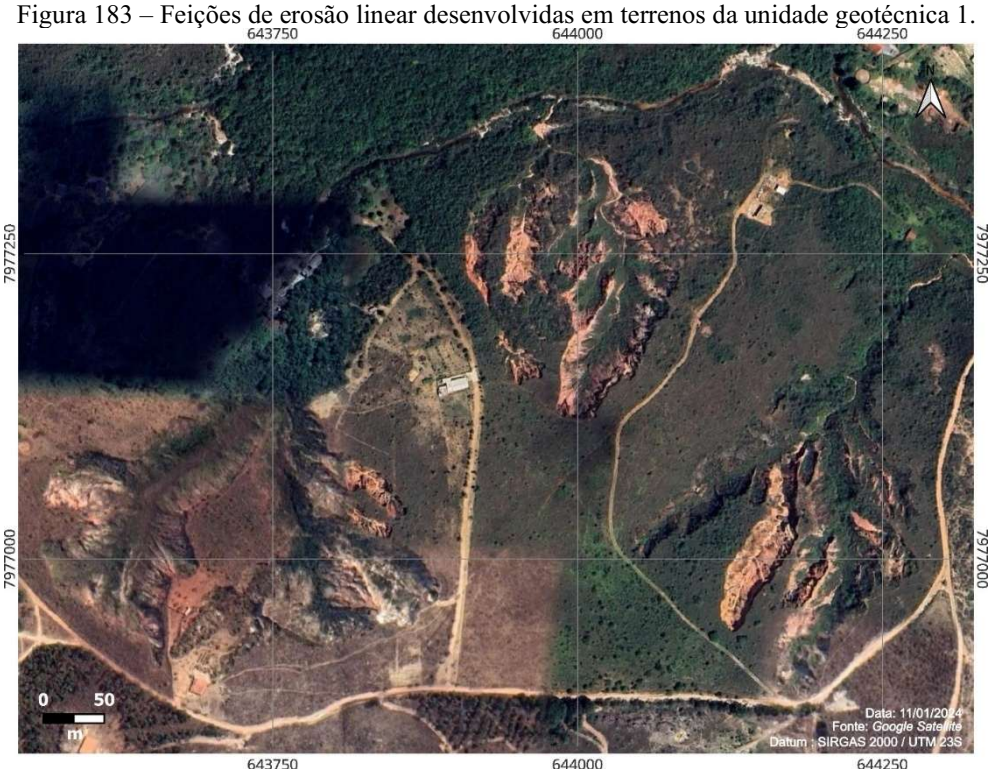
A unidade geotécnica 1 abrange cerca de 6,62km^2 (0,32%), situando-se na porção mais a sul do município e em faixa não contínua. É caracterizada pela ocorrência de rochas granito-gnáissicas do Complexo Gouveia, como granodioritos, monzogranitos, e sobretudo, migmatitos. Suas vertentes ocorrem com inclinações de até 51°.

A ausência de afloramentos rochosos é marcante nessa região. Solos residuais oriundos da meteorização destas litologias, geralmente, são silto-arenosos e argilo-areno siltosos, a depender da composição mineralógica das rochas mãe. Embora, não se tenha observado exposições de rochas pouco alteradas, pode-se afirmar que estas apresentam elevada resistência mecânica, contudo não são muito resistentes ao intemperismo, devido a sua composição mineralógica, podendo ocorrer feldspatos, plagioclásios e micas. Esta afirmação foi possível por comparação com afloramentos de granitos e gnaisses, do Complexo Gouveia, descritos na região de Gouveia, município vizinho. Dessa forma, o controle de processos da dinâmica superficial se limita a cobertura pedológica.

Nas porções desta unidade em que não há vegetação de maior porte, pode-se observar diversas feições de processos erosivos lineares (Figuras 183 e 184), como ravinas e voçorocas. Com o aumento da cobertura pedológica, em área e profundidade, problemas relacionados com tais fenômenos se tornam recorrentes. De maneira análoga, terrenos de morfologia e composição semelhantes, na região de Gouveia, apresentam os mesmos problemas, devido às características dos solos formados. Fato que demonstra uma maior suscetibilidade a processos erosivos nesta unidade geotécnica.

Do ponto de vista do comportamento geomecânico, essas rochas apresentam elevada qualidade para diversas intervenções de engenharia civil, uma vez que são muito resistentes e de modo geral são isotrópicas e homogêneas. Neste contexto, salienta-se sua relevância para a instalação de fundações. Contudo, deve-se atentar ao fato de que blocos destas litologias podem estar dispersos no solo residual, o que pode gerar perigo a estabilidade dos alicerces sobre eles instalados, visto que pode haver recalque pela compactação do solo subjacente.

Figura 183 – Feições de erosão linear desenvolvidas em terrenos da unidade geotécnica 1.



Fonte: Google Satellite (2024).

Figura 184 – Vista frontal de voçoroca desenvolvida na unidade geotécnica 1.



Fonte: Autor.

5.1.3.2 Unidade geotécnica 2 (Xistos)

A unidade geotécnica 2 representa cerca de 1,48% da área de estudo, recobrindo aproximadamente 30,42 km^2. Também ocorre na porção mais a sul de Diamantina, adjacente a unidade 1. É constituída por rochas do Grupo Costa Sena, predominantemente, constituído por quartzo xistos e quartzo-mica xistos, que gradam para quartzitos micáceos. Suas vertentes ocorrem com inclinações de até 56°.

Estas rochas foliadas apresentam baixa resistência mecânica e ao intemperismo, devido a abundância de micas. Contudo, observa-se que com o aumento de quartzo em sua composição estas litologias tornam-se mais resistentes (Tabela 7). Quando associadas com quartzitos costumam contribuir com a manutenção do relevo.

Tabela 7 – Resistência a compressão pontual de afloramentos de xistos da Unidade Geotécnica 2.

Ponto	**Resistência a compressão pontual de afloramentos de xistos (MPa)**
PGD170	6,03
PGD248	44,79

Fonte: Elaborada pelo autor.

É possível observar a ocorrência de solos residuais originados de sua alteração, em geral são silto-argilosos, mas também se registra em alguns pontos uma maior contribuição de areia em sua composição granulométrica. De modo geral, apresentam uma suscetibilidade mediana a erosão, porém, é importante salientar que nesta unidade são registradas diversas feições de processos erosivos lineares, condicionadas pelas estruturas planares presentes nessas rochas, que direcionam o escoamento superficial. Como cobertura pedológica são descritos solos pouco desenvolvidos, ocorrendo afloramentos rochosos, cambissolo háplico e neossolos litólico e quartzarênico.

A xistosidade, estrutura marcante nessas litologias, também é responsável pelo controle do desenvolvimento de outros processos geodinâmicos, como deslizamentos planares (Figura 185), além de desplacamentos e queda de blocos (Figura 186). Tais fenômenos da dinâmica superficial são dependentes de parâmetros geomecânicos, como coesão e ângulo de atrito interno das descontinuidades, a relação angular com outras descontinuidades, como sistemas de fraturas, e com a morfologia do relevo (declividade e orientação das vertentes).

Figura 185 – Deslizamento translacional em xistos da unidade geotécnica 2, condicionado corte de estrada (644434 x 7977829 23K).



Fonte: Autor.

Figura 186 – Desplacamento e queda de blocos de xistos da unidade geotécnica 2, em cabeceira de voçoroca desenvolvida a partir das rochas graníticas da unidade geotécnica 1 (644192 x 7976890 23K).



Fonte: Autor.

A urbanização nesses terrenos deve ser bem planejada, de modo que cortes realizados para instalação de infraestrutura e estradas não desconfinem as descontinuidades (foliações, acamamento e outras estruturas planares) que seccionam maciços rochosos, com a finalidade da manutenção de sua estabilidade. Contudo, cabe salientar que mesmo em maciços confinados, há possibilidade de ocorrência de tombamentos e desplacamentos, caso as descontinuidades geomecânicas, em sentido contrário as encostas ou cortes, comportem como delimitador de blocos e que a base destas vertentes esteja desestabilizada. O material oriundo da execução de corte não apresenta boa função como aterros, devido às baixas coesão e compactação.

5.1.3.3 Unidade geotécnica 3 (Rochas intrusivas ultrabásicas)

A unidade geotécnica 3 equivale a 3,73% da porção sul do município de Diamantina, perfazendo em torno de 76,47 km^2. É constituída, predominantemente, por metadiabásios que ocorrem em soleiras e diques máficos. Suas vertentes ocorrem com inclinações de até 66°.

Estas rochas apresentam elevada suscetibilidade ao intemperismo, devido à baixa instabilidade de seus minerais componentes. Comumente, são observadas somente sob a forma de blocos rochosos dispersos, quando encontradas pouco alteradas. Contudo, estes apresentam elevada resistência mecânica. De modo geral, as faixas de ocorrência dessa unidade coincidem com os lineamentos regionais, predominantemente, são NNW-SSE, N-S e NW-SE, e estão, em sua maioria, mais restritas a drenagens e área de vegetação densa. Contudo, na porção mais a norte, a unidade ocorre em uma área mais ampla. Os solos gerados da alteração dessas rochas são argilosos, bem coesos e avermelhados, o que possibilidade maior estabilidade em relação ao desenvolvimento de processos erosivos e movimentos de massa.

5.1.3.4 Unidade geotécnica 4 (Associação de rochas metapelíticas)

A unidade geotécnica 4 ocorre nos domínios mais a oeste da área de estudo, correspondendo a uma área de 120 km^2 (5,87%). Constitui-se, predominantemente, por metassiltitos e metargilitos das formações Sopa-Brumadinho, Santa Rita e Rio Pardo Grande, todas pertencentes ao Supergrupo Espinhaço. Suas vertentes ocorrem com inclinações de até 68°.

Essas rochas compostas por argilas e siltes, costumeiramente apresentam baixa resistência mecânica e ao intemperismo, apresentando elevada friabilidade. Essas rochas podem apresentar descontinuidades geomecânicas como acamamento e foliação (Figura 187). De sua

alteração são gerados solos silto-argilosos (Figura 188), porém é comum que nas proximidades com as unidades geotécnicas adjacentes (topograficamente mais elevadas), constituídas por quartzitos, a ocorrência de material mais arenoso com contribuição de cascalhos.

Figura 187 – Afloramento de metassiltito em corte de estrada. Percebe-se intensa foliação e empastilhamento e desplacamento (619235 x 7980419 23K).



Fonte: Autor.

Em termos de cobertura pedológica, ocorrem solos em diversos estágios de desenvolvimento pedogenético, desde pouco desenvolvidos, como neossolos litólico e quartzarênico, cambissolo háplico e solos mais desenvolvidos como latossolos vermelho-amarelos.

Figura 188 – Solo argilo-siltoso comum nos terrenos da unidade geotécnica 3 (619626 x 7979682 23K).



Fonte: Autor.

Seu comportamento mecânico é muito similar às rochas descritas na Unidade Geotécnica 2, ou seja, os processos geodinâmicos são condicionados à relação angular entre as descontinuidades e orientação das vertentes. Relacionam-se a esses terrenos processos geodinâmicos, como deslizamentos, tombamentos e desplacamentos de blocos, contudo a suscetibilidade a esses processos está diretamente ligada ao desconfinamento dos maciços e desestabilização da base de vertentes. Contudo, deve-se salientar que majoritariamente a unidade ocorre em terrenos que não demandam grandes modificações na morfologia do relevo (Figura 189).

Figura 189 – Corte de estrada expondo material argilo-siltoso de pouca espessura em contato com metassiltito da unidade geotécnica 3 (619119 x 7980212 23K).



Fonte: Autor.

5.1.3.5 Unidade geotécnica 5 (Coberturas inconsolidadas)

A unidade geotécnica 5 recobre cerca de 1,1% (22,78 km^2) da área. Constitui-se de sedimentos quaternários inconsolidados. Os aluviões correspondem a depósitos de areias finas a grossas, siltes, argilas e horizontes de cascalhos. Já as coberturas detrito-lateríticas são representadas por depósitos arenosos ou coberturas métricas de solos lateríticos com concentrações locais de cangas. Suas vertentes ocorrem com inclinações de até 78°.

Nas áreas onde ocorrem os depósitos aluvionares (Figuras 190 e 191) apresentam elevada suscetibilidade a erosão e movimentos de massa, quando há predomínio de argila em sua composição, caracterizam-se por comportamento muito plástico e, em caso de carregamento, pode sofrer recalques por adensamento. Comumente, localizam-se em áreas suscetíveis a inundações e assoreamentos.

Figura 190 – Aluvião caracterizado por areias finas nas proximidades da Cachoeira do Telésforo (613164x7988660 23K).



Fonte: Autor.

Figura 191 – Depósito aluvionar no Rio do Jequitinhonha (656862x7995718 23K).



Fonte: Autor.

Nas porções de ocorrência das coberturas detrito-lateríticas o comportamento mecânico desses materiais é semelhante aos anteriores. Porém, apresentam maior estabilidade nas áreas de predomínio de cangas e lateritas, por serem resistentes ao intemperismo e processos erosivos.

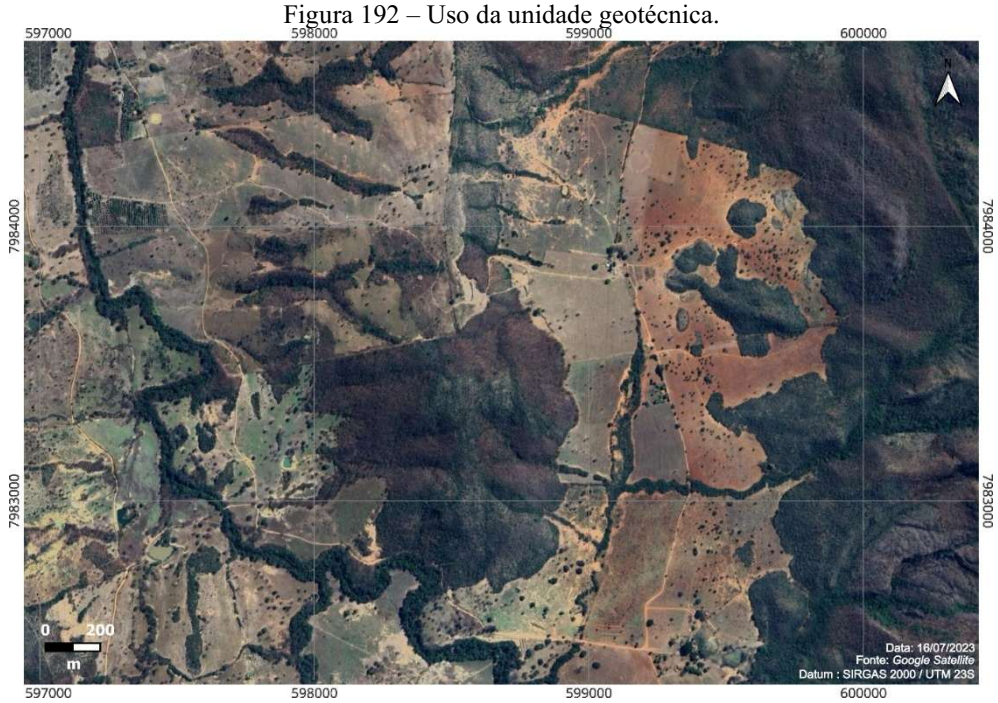
5.1.3.6 Unidade geotécnica 6 (Rochas sedimentares químicas)

A unidade geotécnica 6 é composta por calcários da Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí. Recobre em torno de 16,02 km^2 (0,78%). Estas rochas, comumente, apresentam elevada resistência mecânica. Contudo, são pouco resistentes ao intemperismo, sobretudo, químico, o que confere a essas litologias, uma elevada suscetibilidade a dissolução. Suas vertentes ocorrem com inclinações de até 33°.

Da sua alteração são gerados solos residuais argilosos a silto-argilosos, o que confere a essas áreas uma maior estabilidade frente a processos erosivos. De modo geral, nesses terrenos ocorrem solos de maior desenvolvimento pedogenético. Nesta unidade ocorrem argissolos e latossolos vermelho-amarelos.

Nesta unidade não se registra urbanização, somente áreas de cultivo (Figura 192). Entretanto, é importante ressaltar que o processo de carstificação corresponde a um grande perigo para o uso urbano desta área. Com a dissolução dessas rochas, diversas feições cársticas são formadas, como sulcos, fendas, sumidouros, cavernas e dolinas. O desenvolvimento deste processo pode condicionar a ocorrência de abatimentos de terra, colapsos e subsidência, afetando as edificações.

Figura 192 – Uso da unidade geotécnica.



Fonte: Google Satellite (2023).

5.1.3.7 Unidade geotécnica 7 (Quartzitos)

Esta é a unidade geotécnica de maior abrangência, atinge em torno de 546,28 km^2 (26,63%). Corresponde à quartzitos das formações São João da Chapa, Galho do Miguel, Córrego dos Borges, Córrego Pereira, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço, e a Formação Duas Barras, do Grupo Macaúbas. Suas vertentes ocorrem com inclinações de até 66°.

Nessa porção podem ser observados rolamentos, tombamentos e queda de blocos (Figura 193), que são condicionados, sobretudo, pelos diversos sistemas de fraturas que seccionam os maciços rochosos. Esses litotipos são caracterizados por elevada resistência mecânica (Tabela 8) e ao intemperismo, devido, principalmente, a ocorrência de quartzo em sua composição mineralógica. Contudo, deve-se salientar que a evolução do processo de alteração modifica suas propriedades mecânicas, de modo que as torna mais friáveis e suscetíveis a erosão. Maciços rochosos desta unidade foram classificados com razoáveis e bons, sugerindo ângulos de atrito interno variando entre 25° e 35°.

Figura 193 – Encosta adjacente ao poço da Cachoeira das Fadas. Observa-se intensa formação de blocos rochosos e inúmeros blocos caídos no entorno do poço (606733 x 7977583 23K).



Fonte: Autor.

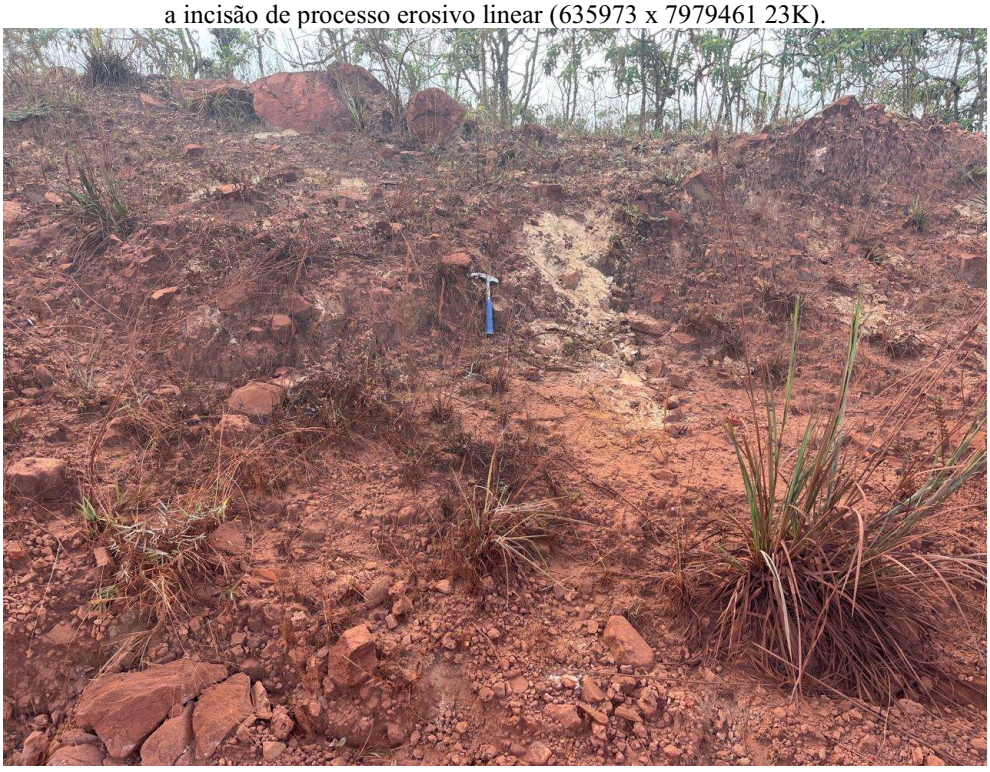
Tabela 8 – Resistência a compressão pontual de afloramentos de quartzitos da Unidade Geotécnica 7.

Ponto	Resistência a compressão pontual de afloramentos quartzitos (MPa)
PGD037	20,15
PGD305	55,04
PGD088	5,28
PGD090	21,54
PGD159	3,09

Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo geral, os solos desenvolvidos nesses terrenos são pouco espessos e arenosos (Figura 194). Caracterizam-se por baixa coesão e, consequentemente, elevada suscetibilidade a processos erosivos (Figura 195). Em termos de cobertura pedológica, afloramentos rochosos (Figura 196) são mais abrangentes nessa unidade. São descritos solos pouco desenvolvidos, como neossolos litólico e quartzarênico, cambissolo háplico. Porém, em algumas porções ocorrem latossolos vermelho-amarelos.

Figura 194 – Solo arenoso com cascalhos de diversas granulometrias, comum na unidade geotécnica 7, adjacente a incisão de processo erosivo linear (635973 x 7979461 23K).



Fonte: Autor.

Figura 195 – Incisão de processo erosivo linear em solo arenoso pouco espesso (635973 x 7979461 23K).



Fonte: Autor.

Figura 196 – Visão panorâmica da unidade geotécnica 7, evidenciando afloramentos rochosos, cobertura pouco espessa, em relevo de baixa declividade, e morros de quartzitos ao fundo (633520 x 7977037 23K).



Fonte: Autor.

As rochas destas unidades, por suas características geomecânicas, correspondem relevante função como fundações. Alia-se a esse fato, a ocorrência de solos pouco espessos, que dispensa a execução de grandes escavações. Contudo, em situações em que há necessidade de modificação da morfologia de vertentes, deve-se atentar para que os cortes executados não desconfinem descontinuidades e, consequentemente, forme blocos e condicione movimentação de massa.

5.1.3.8 Unidade geotécnica 8 (Associação quartzitos e metaruditos)

A unidade geotécnica 8 perfaz uma área de aproximadamente 443,38km^2 (21,62%) e corresponde à quartzitos das formações São João da Chapada, Galho do Miguel, Córrego dos Borges, Córrego Pereira, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço, e a Formação Duas Barras, do Grupo Macaúbas. Além de metaconglomerados, da Formação Sopa-Brumadinho, e metadiamictitos de matriz quartzítica, da Formação Serra do Catuni. Suas vertentes ocorrem com inclinações de até 75°.

Os metaruditos apresentam características geomecânicas similares aos quartzitos da unidade geotécnica 7, elevada resistência mecânica (Tabela 9) e ao intemperismo. Da classificação geomecânica, os maciços rochosos foram classificados como bons, com ângulo de atrito interno variando entre 35° e 45°. Contudo, quando intemperizados geram solos com grande variabilidade granulométrica, pouca coesão e elevada suscetibilidade à processos erosivos (Figura 197).

Tabela 9 – Resistência a compressão pontual de afloramentos de quartzitos da Unidade Geotécnica 8.

Ponto	Resistência a compressão pontual de afloramentos quartzitos (MPa)
PGD059	87,97
PGD079	62,93
	122,98
PGD091	4,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por ocorrerem em terrenos de maior declividade, por vezes até mesmo escarpados, os processos geodinâmicos associados a essa unidade geotécnica são rolamento, tombamento (Figura 198) e queda de blocos (Figura 199).

Figura 197 – Ravina desenvolvida em solo arenoso da unidade geotécnica 8 (625514 x 7976225 23K).



Fonte: Autor.

Figura 198 – Vertentes compostas por quartzitos suscetíveis a tombamentos. Podem ser observados blocos já deslocados (649045 x 7982994 23K).



Fonte: Autor.

Figura 199 – Formação de blocos rochosos em encosta natural (623611 x 7976035 23K).



Fonte: Autor.

Ainda, podem ser formados depósitos de tálus nos sopés das vertentes de maior inclinação. Estes são suscetíveis a movimentos de massa, como rastejos e escorregamentos, devido a intensa heterogeneidade granulométrica característica desses sedimentos. Em termos de cobertura pedológica, são descritos, majoritariamente, solos pouco desenvolvidos, como cambissolo háplico e neossolos litólico e quartzarênico. Além de ocorrência mais restrita de latossolos vermelho-amarelos associados a neossolo quartzarênico.

No que tange a urbanização, assim como a unidade anterior, as rochas apresentam importante função como fundações, aliada a pequena espessura da cobertura de solos e ainda a formação de solos pouco desenvolvidos e altamente erodíveis. Contudo, salienta-se a necessidade de cuidado durante a execução de outras obras, visto que diversos sistemas de descontinuidades podem seccionar maciços rochosos, condicionando a formação de blocos rochosos (Figuras 200 e 201).

Figura 200 – Talude de quartzito bastante fraturado. Observa-se pequenos blocos caídos na base (6067733 x 7977583 23K).



Fonte: Autor.

Figura 201 – Cicatriz de queda de blocos no topo do talude da figura anterior (6067733 x 7977583 23K).



Fonte: Autor.

5.1.3.9 Unidade geotécnica 9 (Associação de quartzitos e rochas metamórficas foliadas)

Esta unidade é caracterizada pela alternância de quartzitos, filitos e, subordinadamente, metaconglomerados, da Formação Sopa-Brumadinho, além da associação de filitos, metapelitos e quartzitos, da Formação Córrego Bandeira. Recobre uma área de 312,6 km^2, aproximadamente 15,24% da porção sul de Diamantina. Suas vertentes ocorrem com inclinações de até 44°.

Esse conjunto de rochas metassedimentares apresentam características bastante distintas. Os quartzitos e metacoglomerados, assim como os das outras unidades geotécnicas, possuem elevada resistência mecânica (Tabela 10) e ao intemperismo, sobretudo pela contribuição de quartzo em sua composição mineralógica. Já os filitos e metapelitos são muito suscetíveis a meteorização e mecanicamente pouco resistentes, visto que são compostos por diversos minerais planares, como sericitas e moscovitas, além de terem foliações como estruturas características, que correspondem a superfícies de fraqueza estrutural dos maciços rochosos por essas litologias. Contudo, salienta-se que afloramentos dessas rochas metassedimentares podem apresentar maiores resistências caso estejam pouco alteradas. Maciços rochosos constituídos por filitos e quartzitos foram classificados como bom, o sugere uma faixa de ângulo de atrito interno entre 35° e 45°.

Tabela 10. Resistência a compressão pontual de quartzitos da unidade geotécnica 9.

Ponto	Resistência a compressão pontual de afloramentos quartzitos (MPa)
PGD010	13,48
PGD015	14,41
PGD023	82,27
PGD034	62,93
PGD098	7,37
PGD136	36,82

Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora nessa sequência haja rochas mais estáveis frente ao intemperismo e, por vezes, maciças, o comportamento geomecânico destes maciços rochosos é muito influenciado pelas rochas foliadas, que associadas aos quartzitos podem condicionar diferentes processos geodinâmicos, como deslizamentos, desplacamentos, quedas (Figura 202) e tombamentos de blocos a depender da relação angular entre orientação das estruturas (foliação e outras descontinuidade geomecânicas) e as vertentes.

Figura 202 – Maciço rochoso muito fraturado. Observa-se intensa formação de blocos e indícios de movimentação (642828 x 7977380 23K).



Fonte: Autor.

Do intemperismo dessas rochas são formados solos areno-siltosos a silto-argilosos (Figuras 203 e 204), cujo teor de areia pode influenciar a estabilidade frente à processos erosivos (Figura 205), gerando variações na coesão dessas coberturas. Ocorrem nessa unidade geotécnica neossolos litólico e quartzarênico, cambissolo háplico e, bem mais restrito, latossolo vermelho-amarelo. Contudo, na área, majoritamente, são observados afloramentos rochosos.

De forma similar às unidades geotécnicas 2 (Xistos) e 3 (Associação de rochas metapelíticas), o uso urbano dessas áreas exige planejamento para o manejo desses terrenos. Atentando-se para que as descontinuidades não sejam desconfinadas, evitando a deflagação de deslizamentos. Esses terrenos apresentam boa função para fundações, devido resistência a compressão de algumas porções, aquelas associadas aos quartzitos. Quando se trata das porções associadas às rochas metapelíticas, deve-se observar o grau de alteração dessas litologias, bem como o estado de confinamento de suas estruturas.

Figura 203 – Solo silto argiloso em área com predomínio de filitos (645447 x 798339 23 K).



Fonte: Autor.

Figura 204 – Solo arenoso em área adjacente ao ponto anterior com predomínio de quartzitos (645497 x 7983161 23k)



Fonte: Autor.

Figura 205 – Voçoroca desenvolvida em solo composto por areia fina e marginalmente quartzitos finos (642452 x 7982554 23K).



Fonte: Autor.

5.1.3.10 Unidade geotécnica 10 (Associação de quartzitos e rochas metamórficas foliadas)

Esta unidade recobre cerca de 476,07 km^2 (23,21%) e é composta pela mesma associação de rochas que a unidade geotécnica 9. Contudo, estas ocorrem em áreas escarpadas a fortemente escarpadas, apresentando inclinações de até 75°. Que a depender da relação angular entre as descontinuidades que seccionam maciços rochosos, pode gerar cenários mais suscetíveis a determinados processos geodinâmicos, como escorregamentos planares (Figura 206), que de modo geral caracteriza um comportamento geotécnico distinto da unidade anterior. Contudo, salienta-se que quando há predomínio de quartzitos apresentará comportamentos semelhantes às unidades geotécnicas 7 e 8, a exemplo, a possibilidade de ocorrência de quedas e tombamentos de blocos (Figura 207). Do ponto de vista de classificação geomecânica para maciços rochosos desta unidade, aqueles compostos por filitos foram classificados como fracos e regulares, ao passo que os compostos por quartzito variando entre as classes bom e ótimo. Sugerindo ângulos de atrito interno nas faixas de 15° a 35°, para os filitos, e superiores a 35°, para os quartzitos.

Figura 206 – Afloramento de filito com elevada suscetibilidade a escorregamento planar (648731 x 7981385 23K).



Fonte: Autor.

Figura 207 – Afloramento de quartzito suscetível a tombamentos de blocos (649099 x 7984196).



Fonte: Autor.

5.2 Avaliação de risco geológico urbano

A cidade iniciou sua consolidação em uma íngreme vertente que, posteriormente, se expandiu por vertentes e vales adjacentes, e devido as suas limitações topográficas diversos cenários de riscos foram gerados. Durante os trabalhos de campo realizados com o intuito de obter informações sobre o meio físico e suas potencialidades no município de Diamantina, observou-se também cenários de risco geológico de diferentes graus. Contudo, este estudo buscou a identificação das situações mais críticas, ou seja, aquelas de risco alto e muito alto.

O principal balizador para a escolha das áreas avaliadas foi o histórico de processos geodinâmicos registrados tanto pela Defesa Civil e Corpo de Bombeiros Militar, mas também os observados durante atividades de campo pretéritas.

Uma das principais características geológicas do município de Diamantina é a frequente alternância entre quartzitos e filitos. As estruturas metamórficas intrínsecas a essas rochas metapelíticas podem condicionar deslizamentos planares e, quando associadas a sistemas de fraturas, deslizamentos em cunha. Contudo, a depender da relação angular entre estas descontinuidades e as encostas e/ou cortes, podem influenciar na deflagração de desplacamentos. Cabe ressaltar que é comum a observação de movimentos de blocos rochosos, como rolamento, queda e tombamentos de blocos, condicionados, em sua maioria, por descontinuidades geomecânicas de natureza não metamórfica. A interação entre foliações e sistemas de fraturas contribui para a fragmentação dos maciços rochosos, o que pode ocasionar a formação de depósitos de tálus, material sedimentar muito suscetível a movimentação.

Como é de se esperar as ocorrências se intensificam nos períodos de intensa pluviosidade e/ou quando esta é prolongada. Alia-se também o manejo inadequado dessas vertentes, que podem desestabilizar encostas e modificar o escoamento superficial, impulsionando a ocorrência de processos erosivos lineares.

Foram delimitados 36 setores de risco a movimentos de massa (Apêndice F), dentre estes somente 2 setores foram classificados como de risco geológico muito alto, em sua maioria relacionados a execução de intervenções nos terrenos de maneira inadequada. O apêndice G apresenta a caracterização dos setores de riscos avaliados.

Salienta-se, que embora o número pareça reduzido devido a topografia da região, deve-se lembrar que os cenários de risco geológico também se modificam, ou seja, existem condições de risco que podem evoluir para as classes alto e muito alto, caso haja intervenções inadequadas e/ou alguma outra situação de risco não for remediada.

Como panorama geral, os setores de risco estão, em sua maioria, nos bairros Arraiolos, Vila Operária e Rio Grande. Os dois primeiros na região do entorno da antiga Rede Ferroviária Federal. Esta área é caracterizada por vertentes com elevada declividade (Figura 208), que condiciona a execução de cortes muito inclinados para a abertura de ruas e construção de casas também são muito inclinados (Figura 209). Alia-se as condições topográficas, intensa variação entre rochas foliadas seccionadas por sistemas de fraturas, depósitos coluvionares e antigas áreas de lançamento de material inconsolidado.

Figura 208 – Vista de parte do bairro Vila Operária. Evidencia-se a elevada declividade da vertente.



Fonte: Autor.

Essa mudança de material geológico condiciona diferentes processos geodinâmicos. A figura 210 ilustra uma cicatriz de escorregamento circular, em material não consolidado, muito próxima a uma residência na crista de uma encosta. Esclarece-se, que a obra de contenção na base da vertente foi justificada por um pretérito escorregamento planar, que danificou parte do estacionamento do prédio vizinho (Figura 211). Ainda são registradas ocorrência de rastejo dos depósitos de material inconsolidado (Figura 212) em diversos pontos dessa vertente, além de desplacamentos.

Figura 209 – Talude de corte em filito com elevada inclinação.



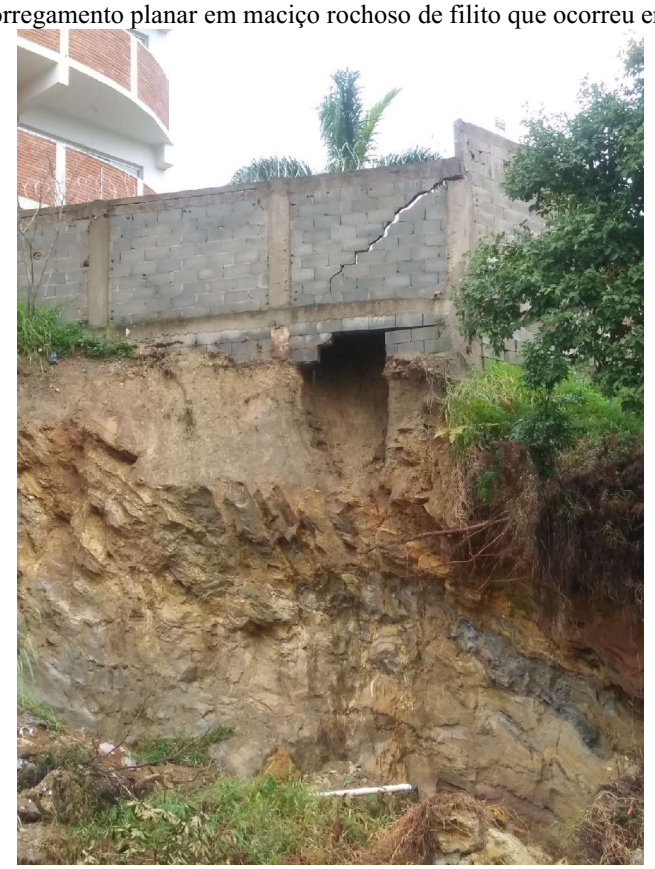
Fonte: Autor.

Figura 210 – Cicatriz de escorregamento circular próximo a casa na crista da vertente.



Fonte: Autor.

Figura 211 – Escorregamento planar em maciço rochoso de filito que ocorreu em janeiro de 2020.



Fonte: Autor.

Figura 212 – Rastejo de depósito coluvionar.



Fonte: Autor.

Já no bairro Rio Grande (Figura 213) ocorrem quartzitos que compõem as escarpas características da serra. Os acamamentos, ainda preservados, dessas rochas mergulham com ângulos elevados para ENE, que condicionam a formação de lapas, que podem sobre tombamentos e ainda são registrados muitos blocos rochosos, suscetíveis a queda e rolamento, a depender da declividade da área avaliada. Chama a atenção o modo como a região foi populada, com a construção de casas diretamente sobre as rochas, sem a necessidade de corte, diferindo de outros bairros. Entretanto, essa prática submete as moradias a riscos de desestabilização por queda de blocos e ainda atingimento por tombamentos. Costumeiramente, não se observa processos não relacionados a movimentação de blocos.

Figura 213 – Vista geral do bairro Rio Grande.



Fonte: Autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um bom entendimento sobre a relação entre a sociedade e o meio ambiente é extremamente relevante, sobretudo no que diz respeito ao equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e o meio físico. Instrumentos como o planejamento urbano tornam-se cada vez mais importantes, visando minimizar os impactos da urbanização no meio físico e, assim, reduzir a exposição da população a riscos geológicos, como movimentos de massa.

Dessa forma, é imprescindível a compreensão de fatores que influenciam nos processos da dinâmica superficial, como arcabouço geológico e suas estruturas, morfologia do relevo, regime hídrico e atividade antrópica. A associação desses agentes condiciona a deflagração de diversos processos geodinâmicos, que podem oferecer riscos a determinadas áreas.

Neste contexto, a aplicação de ferramentas, como a cartografia geotécnica, adquire relevância, por informar a distribuição das características e fenômenos de uma região, com orientações a intervenções não só no tocante ao crescimento da ocupação, mas também na prevenção, mitigação e manejo dos riscos geológicos associados a urbanização. Contudo, salienta-se que a produção e revisão de documentos cartográficos como estes deve ser contínua, uma vez que o meio físico evolui naturalmente e os processos geodinâmicos que modificam o relevo podem ser acelerados com a intervenção humana.

Nos anos recentes, além da utilização urbana do meio ambiente, o uso recreativo de atrativos naturais turísticos, como cachoeiras e balneários, também se tornou foco de estudos sobre perigos geológicos, depois do acidente em Capitólio, em Minas Gerais, no início de 2022. Embora a ocupação desses locais seja temporária, faz-se necessário o entendimento das características geomorfológicas e geológicas dessas áreas, bem como as propriedades mecânicas dos materiais geológicos que os constituem. De modo que sejam identificados os processos geodinâmicos passíveis de deflagração.

O município de Diamantina é caracterizado por uma expansão urbana não homogênea, que se intensificou nos últimos anos. Desde o início do desenvolvimento da cidade, a ocupação do meio físico ocorre de forma não planejada e quando se associa ao crescimento populacional e restrições à urbanização, devido à topografia acidentada, gera diversos problemas de ordem geotécnica. Diamantina apresenta relevância cultural e turística, sendo patrimônio histórico da humanidade pela Unesco, desde 1999, e está situada da Serra do Espinhaço, reconhecida como Reserva Mundial da Biosfera pela UNESCO, em 2005.

Técnicas de caracterização e classificação geomecânica de maciços rochosos, avaliação de perigos e riscos geológicos e geoprocessamento foram empregadas na elaboração do mapa geotécnico para a porção sul do município de Diamantina. No qual foram delimitadas 10 unidades geotécnicas com base nas características geomecânicas das rochas que constituem o seu arcabouço geológico e ICR. Saliente-se o pioneirismo deste tipo de produto cartográfico para a região, indicando as potencialidades das rochas que nela afloram.

Em termos de características geomecânicas, os maciços rochosos apresentam comportamentos mecânicos distintos, que são influenciados por diversos fatores, como grau de fraturamento, colonização vegetal, percolação de água, entre outros. Contudo, o mais evidente é a variação da resistência mecânica das rochas, que é dependente da composição, natureza e grau de intemperismo destas. Mas cabe ressaltar que o método de estimativa da resistência a compressão pontual empregado (Esclerômetro de *Schmidt*), pode subestimar a resistência do maciço rochoso, caso ele esteja intensamente fraturado. Isso pode acontecer devido a rápida dispersão de energia pelo fraturamento.

De modo geral, na região ocorrem, predominantemente, quartzitos, filitos e metaconglomerados, associados ou não. Embora rochas metapsamíticas e metarudíticas apresentem comportamentos mecânicos semelhantes, filitos se distinguem muito neste quesito.

Com a utilização de sistemas de classificação geomecânica, como o sistema RMR (Bieniawski 1989) é possível estimar comportamentos frente a algumas intervenções, bem como parâmetros mecânicos (ângulo de atrito interno e coesão). Porém, neste estudo foi classificado somente o RMR básico, ou seja, sem considerar os ajustes associados a relação entre a orientação de cortes ou encostas e as descontinuidades do maciço rochoso. Dessa forma, pretendeu-se avaliar a qualidade dos maciços como um todo, visto que tais ajustes podem provocar uma grande variação na classe de um mesmo maciço rochoso, de modo que não reflita os parâmetros mecânicos estimados.

Ressalta-se que descontinuidades geomecânicas, como foliações, acamamentos e sistemas de fraturas, tem relevante importância na deflagração de processos da dinâmica superficial. Estas estruturas são muito conspícuas na região e aliadas as características mecânicas das litologias que constituem seu arcabouço geológico, condicionam diversos processos geodinâmicos. Os mais comuns são erosão linear, tombamentos e quedas de blocos, além de escorregamentos associados. Contudo, quando se trata de processos condicionados, sobretudo, pela cobertura pedológica e sedimentar, o número de feições erosivas lineares é bastante elevada e ocorrem, principalmente, associadas a intervenções antrópicas, como abertura de vias e loteamentos, além de lavras garimpeiras, inativas ou não.

Do ponto de vista estrutural, nota-se que foliações e acamamentos mergulham, preferencialmente, para os quadrantes leste, nas rochas metamórficas e metassedimentares da área estudada, mas ocorrem também mergulhos para oeste, visto que as rochas da região se apresentam deformadas. Sistemas de fraturas orientados, preferencialmente, para N-S, NNW-SSE e NNE-SSW seccionam todas as rochas da região. Sendo muito comuns maciços fraturados.

Para um melhor entendimento das relações angulares entre as encostas e as descontinuidades, procedeu-se duas modelagens cinemáticas. A primeira na qual buscou identificar terrenos nos quais os maciços rochosos estivessem desconfinados e houvesse paralelismo entre o sentido do mergulho das estruturas e a direção das encostas. Este corresponde a um cenário de suscetibilidade a escorregamentos translacionais. Na segunda modelagem foram identificados terrenos em que os maciços estivessem confinados e descontinuidades com elevado ângulo de mergulho e sentido contrário às encostas, representando situações de suscetibilidade a tombamentos flexurais. Contudo, salienta-se que esta análise tem caráter puramente geométrico, não considerando parâmetros mecânicos, como ângulo de atrito interno e coesão. Além do fato que se trata de uma análise que avalia aspectos naturais das encostas e que intervenções antrópicas que modifiquem sua morfologia podem modificar a relação angular entre descontinuidades e encostas.

As unidades geotécnicas delimitadas na porção sul de Diamantina apresentam comportamentos distintos frente à dinâmica superficial, refletindo sua composição litológica e grau de intemperismo. As unidades 2, 3 e 10, compostas por filitos, metassiltitos e xistos, mostram elevado risco de escorregamentos planares e circulares, com ocorrência de desplacamentos em camadas delgadas e desenvolvimento de ravinas, principalmente em áreas antropizadas. As unidades 7, 8 e 9, dominadas por quartzitos intensamente fraturados, concentram os principais perigos relacionados ao tombamento e queda de blocos, sobretudo em encostas íngremes e setores de uso turístico. Nas unidades 1 e 5, que apresentam granitos intemperizados e coberturas inconsolidadas, há alta suscetibilidade à erosão linear, com formação de ravinas e voçorocas, favorecendo instabilidades secundárias em taludes naturais ou cortes.

A deflagração de processos geodinâmicos em áreas urbanizadas e em atrativos turísticos naturais, como cachoeiras e balneários, pode gerar cenários de risco geológico aos que ocupam esses espaços. Contudo, as situações inseridas no contexto de cachoeiras tornam o risco temporário, ao passo que em áreas urbanas o risco é permanente, até ser mitigado.

Em termos da avaliação geotécnica dos balneários, nota-se uma grande diversidade nos cenários de perigo geológico nos balneários. Nos 23 balneários analisados, os processos geológicos predominantes estão relacionados aos sistemas de descontinuidades geomecânicas dos maciços rochosos, além das condições ambientais onde a interação entre as descontinuidades geomecânicas, a dinâmica hídrica e o intemperismo acentuam a instabilidade dos maciços. Entre os movimentos de massa mais frequentes estão as quedas e tombamentos de blocos, seguidos, em menor frequência, por rolando de blocos e desplacamento de lascas. Do total, apenas 6 foram classificados como perigo alto e muito alto. Contudo, os considerados como de perigo muito alto (Cachoeira da Toca e Complexo Bambá e Andorinhas) estão na área de ocorrência da Formação Sopa-Brumadinho, especificamente onde ocorrem quartzitos intercalados a filitos, cujas estruturas favorecem os processos mais frequentes.

Destaca-se a validade temporal desta análise, uma vez que ela reflete as condições dos balneários no momento das vistorias, as quais podem se alterar ao longo do tempo, naturalmente ou não. É importante destacar que a análise qualitativa do perigo não tem como finalidade prever acidentes geológicos nos maciços rochosos dos balneários, tampouco determinar sua estabilidade. Ainda assim, essas informações são extremamente relevantes para a região, servindo como ponto de partida para estudos mais aprofundados e quantitativos voltados aos atrativos turísticos com maior potencial de risco geológico

As sugestões de redução dos riscos potenciais aos turistas que frequentam os balneários de Diamantina envolvem desde ações educativas e instalação de sinalização até o monitoramento contínuo e a implementação de medidas de mitigação e controle dos perigos geológicos. Essas ações podem incluir intervenções específicas, realizadas, quando necessário, com o apoio de profissionais especializados, como geólogos e alpinistas.

Do ponto de vista dos riscos geológicos em áreas urbanas, embora ocorram em diversos graus, foram delimitados somente os cenários de risco alto e muito alto. Ainda que somente 36 setores tenham sido identificados, deve-se reiterar que os cenários podem evoluir com o manejo inadequado dos terrenos. Assim como na avaliação dos balneários, os processos geodinâmicos estão relacionados ao fraturamento dos maciços rochosos, porém, por se tratar de áreas urbanas, com intervenção antrópica mais evidente e com maior potencial de modificação da morfologia do relevo, são comuns escorregamentos circulares e rastejos.

Entre os principais perigos observados, destacam-se escorregamentos planares e circulares em cortes mal estabilizados, geralmente em encostas compostas por filitos ou solos coluvionares. Também se registraram quedas e tombamentos de blocos de quartzito em taludes rochosos desprotegidos, próximos a residências, com agravamento do risco durante o período

chuvoso. Em áreas com ausência de drenagem adequada, observou-se a formação de ravinas e voçorocas, que comprometem a estabilidade de fundações e infraestrutura urbana. Além disso, identificaram-se situações de risco combinado, geológico e hidrológico, incluindo erosão regressiva e assoreamento de canais em zonas ocupadas.

Estes são resultados dos primeiros estudos relacionados a cartografia geotécnica e avaliação de perigos e riscos geológicos no município de Diamantina, especificamente em sua porção sul. Podem ser integrados a outras análises do meio físico, obtendo-se produtos cartográficos mais detalhados, principalmente em áreas menores. Deve-se considerar sempre a necessidade de uma constante atualização desse tipo de documento cartográfico.

As fichas de vistoria elaboradas permitiram a sistematização das observações de campo, padronizando os critérios de avaliação e facilitando a comparação entre diferentes setores vistoriados. Os registros contemplam variáveis geológicas, geomecânicas, morfológicas e antrópicas, com base em parâmetros adaptados à realidade local de Diamantina. Este instrumento pode ser adotado por equipes técnicas de municípios, órgãos de Defesa Civil e instituições de pesquisa, como modelo para inspeções sistemáticas em áreas com risco geológico.

É evidente a importância do uso de ferramentas de geoprocessamento em análises do meio físico. Contudo, a escala dos produtos gerados é dependente das escalas das bases utilizadas. Para a execução desta pesquisa podem ser citados mapas geológicos em escala 1:100.000, assim como mapa pedológico em escala 1:650.000. Além do modelo digital de elevação, com resolução de 12,5 metros, empregado na confecção de outras bases cartográficas, como as utilizadas nas análises morfométricas. De modo, que esta produção cartográfica também é apresentada em escala pequena. Porém, ainda sim, fornecem informações relevantes para o planejamento urbano, por meio de metologias não aplicadas para essa região. Servindo como subsídio para decisões do poder público no manejo urbano e turístico do município.

A morfologia dos terrenos está em constante modificação e é intensificada pela ação humana. De modo que existe a necessidade cada vez maior de informações mais detalhadas na execução de cartográfica geotécnica e ambiental, no que tange zoneamento urbano, potencialidades e riscos geológicos. Estudos como este servem como balizadores para futuras pesquisas e revelam a necessidade da produção de bases cartográficas de maior detalhamento para a região, como mapas geomorfológicos, pedológicos e de uso e cobertura do solo, assim como aquelas empregadas na análise de parâmetros morfométricos.

Como perspectivas futuras, destaca-se a necessidade de aprimorar as metodologias voltadas à avaliação de perigo e risco geológico, buscando abordagens mais integradas, capazes

de incorporar parâmetros quantitativos e indicadores comparativos entre áreas com diferentes contextos geodinâmicos. O desenvolvimento de tabelas e métodos padronizados, aliados a análises de qualidade de maciços rochosos, como aquelas baseadas no *Slope Mass Rating* (SMR), pode oferecer novas possibilidades interpretativas e contribuir para o avanço da compreensão dos processos atuantes. Tais iniciativas representam não apenas um aprimoramento técnico, mas também um passo essencial na consolidação de práticas mais seguras e sustentáveis de uso e ocupação do território.

REFERÊNCIAS

Abreu, A. E. S. de; Augusto Filho, O. 2009. Mapeamento geotécnico para gestão municipal. Geotecnia, n. 115, p. 45- 80.

Aitchson G.D. & Grant K. 1976. The PUCE program of terrain description evaluation and interpretation of engineering purposes. In: Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 4, Cape Town, Proceedings..., pp. 1-8.

Almeida-Abreu P. A. 1993. A Evolução Geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil. Tese de doutorado, Geowiss. Fakultät. Universidade de Freiburg, Freiburg, 150 p.

Almeida-Abreu, P.; Fraga, L. M. S. E Neves, S. C. 2005. Capítulo II – Fisiografia. In: Silva, A. C.; Pedreira, L. C.V. S. F. e Almeida-Abreu, P. A. Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes. Belo Horizonte: O Lutador. 2005.

Amaral R. do, Gutjahr M. R. 2015. Desastres naturais. 3. ed. São Paulo: IG-SMA. 100 p.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 1983. D2487 – *Unified soil classification system test procedures. West Conshohocken*, EUA.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2016. D2488 – *Standard practice for description and identification of soils (visual-manual procedure).* West Conshohocken, EUA.

Andrade, R. F. de. 2005. Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Antonelli, T., Menezes, I. P., Filho, I. B., Silva, D. R. A. da, CONCEIÇÃO, R. A. C da, Jesus, D. de, Ferreira, C. E. O. (Orgs.). 2021. Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial – Cartas geotécnicas de aptidão à urbanização. Brasília: CPRM. 23p.

Antonie, P. 1977. Réflexions sur la cartographie Zermos et Bilan des expériences em tours. Bulletin du BRGM, Orléans, section III, n 1-2.

Ávila, C. R. 2012. Determinação das propriedades mecânicas de maciços rochosose/ou descontinuidades utilizando classificação geomecânica – uma comparação entre os diversos métodos de classficação. NUGEO/UFOP. Ouro Preto. 233p. (Dissertação de Mestrado).

Ávila, C. R. & Lana, M. S. 2014. Comportamento geotécnico e classificação geomecânica de maciços rochosos em taludes da região de Belo Horizonte. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. Volume 3, n° 1: 21-30.

Augusto Filho, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de encostas, 1ª COBRAE, Rio de Janeiro. Anais, II:721 – 733.

Augusto Filho, O. 1995. Escorregamento em encostas naturais e ocupadas: Análise e controle. In: Bittar, O. Y. (ed.). Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE/IPT, 77-100.

Augusto Filho, O. & Virgili, J.C. 1998. Estabilidade de taludes. In OLIVEIRA, A. M. S. & BRITO, S.N.A. (Eds). 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 15, p. 243-269.

Barros, J. S.; Oliveira Filho, De J. S.; Oliveira Filho, De I. B.; Fernandes, R. J. A. R. & Nascimento, J. R. S. 2022. Relatório técnico Cânion do Rio Poti – Buriti dos Montes, Piauí. Relatório, no prelo. Teresina: Serviço Geológico do Brasil-CPRM.

Barton, N.; Lien, R. & Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech., v. 6, n.4, p. 189-236.

Barton, N. 1995. The influence of joint properties in modelling jointed rock masses. Keynote Lecture, 8th ISRM Congress, Tokyo, 3: 1023-1032, Balkema, Rotterdam.

Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. 1999. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 355p.

Bieniawski, Z.T. 1973. Engineering classification of jointed rock masses. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs 15, 335-344.

Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.

Bieniawski, Z.T. 1979. The geomechanics classification in rock engineering applications. Proc. 4th Int. Cong. Rock. Mech, ISRM, Montreux, vol 2 p. 41-48.

Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering rock mass classifications: a complete manual. John Wiley & Sons, New York.

Bieniawski, Z.T 1990. Tunnel Design by rock mass classification. Technical Report GL-79-19, Pennsylvania State Universitu, 158pp.

Bittar, O.Y; Cerri, L. F. S.; Nakazawa, V. A. 1992. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 2, 1992. São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, p. 35-41.

Bitar, O. Y. (Org). 2014. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1.25.000 – nota técnica explicativa. São Paulo: IPT; Brasília: CPRM. 50p.

Burnett, A. D. & Styles, K. A. 1982. An approach to urban engineering geological mapping as used in Hong Kong. In: Congress international association of engineering geology, 4. New Delhi, Proceedings...

Campos, L. C. 2011. Proposta de reanálise do risco geológico-geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte – Minas Gerais. Escola de Engenharia/UFMG: Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado. 139p.

Canil K., Freitas C. G. L., Sobreira F. G., Collares, E. G. 2018. Cartografia Geotécnica e Geoambiental. In: Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, p. 421-437.

Carvalho, W. A.; Freire, O.; Rennó, C. D. Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Santo Anastácio. Boletim Científi co, v. 2, n. 2, p. 490-498, 2005.

Casagrande, A. 1948. Classification and Identification of Soils. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 113, 901-930.

Cerri, L. E. S. 1990. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: Congresso Brasileiro De Geologia De Engenharia, 6, 1990, Salvador. Anais... Salvador: ABGE, p. 309-317.

Cerri L.E.S., Akiossi A., Augusto Filho O., Zaine J. E. 1996. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: 8º Congresso brasileiro de geologia de engenharia. Rio de Janeiro, Anais..., v. 2, p. 537 – 548.

Cerri, L. E. Da S. & Amaral, C. P. do. 1992 Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. Dos S. & BRITO, S. N. A. de. (org). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGECNPq-FAPESP. p. 131-144.

Chazan, M. 1974. Le plan Zermos. Annales Mines.

Christofoletti, A. 1980. Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher.

Christofolletti, C. 2014. Correlação entre as classificações geomecânicas RMR e Q e sua relevância geológica. São Paulo. IG/USP. 310 p. (Dissertação de Mestrado).

Conceição, A. R. C.; Simões, P. M. L.; Dantas, M. E. (2019) Using relief patterns and quartile deviation form modeling of flood susceptibility maps: examples from Presidente Kennedy and Conceição do Castelo, Espírito Santo, Braszil. Journal of the Geological Survey of Brazil, v.2, p.75-86.

Cooke, R. U.; Doornkamp, J. C. Geomorphology in environmental management. Oxford: Claredon Press, 1990. 410 p.

Corrêa R. B.B. 2012. O processo de formação de uma nova centralidade urbana em Diamantina: o caso do distrito do Guinda. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 129 p.

Dantas, M.E. (2013). Análise de padrões de relevo: um instrumento aplicado ao mapeamento da Geodiversidade. In: Bandeira I.C.N. (ed.) Geodiversidade do Estado do Maranhão, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 10, Teresina/PI, p.133-140.

DANTAS, M. E. (Org.) 2021. Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: volume 4 – cartas de padrões de relevo municipais, escala 1:25.000. Brasília: CPRM. 38p.

Das. B. M. 2007. Fundamentos de engenharia geotécnica. São Paulo: Thomson Learning. 577p.

Dearman, W. R. & Eyles, P. G. 1982. An engineering geological mpa of the soils and rocks of the United Kingdom. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld, n.25.

Dearman, W. R. 1991. Engineering geological mapping. Osford: Butterworth-Heinemann. 387 p.

Dearman, W. R. & Matula, M. 1976. Environmental aspectsof engineering geological mapping. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld, n.14.

DEERE D.U. 1964. Technical description of rock cores. Rock Mechanics Engineering Geology 1. pp. 16 - 22.

Departamento de Águas e Energia Elétrica/Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (DAEE/IPT). 1989. Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas. São Paulo: Secretaria de Energia e Saneamento, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 92 p.

Diamantina. 2009. Plano Diretor Participativo do Município de Diamantina/MG – Documento Técnico. Diamantina, v.1, 114 p.

Dossin, I. A.; Uhlein, A. E Dossin, T. M. 1984. Geologia da Faixa Móvel Espinhaço em sua porção meridional, MG. Rio de Janeiro: Anais, 23º Congresso Brasileiro de Geologia, 7.

Dossin I. A., Chaves M. L. S. C., Uhlein A., Alvarenga, C. J. S. 1985. Geologia e depósitos diamantíferos da região de Sopa, Diamantina, Minas Gerais. In: 3º Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Belo Horizonte, Anais..., pp. 276-290.

Evans, I.S. 2012. Geomorphometry and landform mapping: What is a landform? Geomorphology, 137, p. 94 – 106.

Evans I. S.; Hengl, T. & Gorsevski, P. 2009. Applications In Geomorphology. In: Hengl, T. & Reuter, H. I. (Org.) Geomorphometry: concepts, software, applications. Developments in Soil Science, vol. 33. Amsterdam: Elsevier. P. 497-525.

Farres, P. 1978. The role of time and aggregate size in the crusting process. Earth Surface Processes, 243-254.

Fell, R., Jordi, C., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W. S. 2008. Guidelines for lanslide susceptibility, hazard and risk zoning land use planning. Engineering Geology: v. 102. (3-4). 85-98 pp.

Fernandes, N. F. E Amaral, C. P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. (Org).1996:Geomorfologia e meioambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. P. 123 – 194.

Fidelis V. P. & Umbelino, G. 2016. Análise da expansão urbana em Diamantina entre 2011 e 2014. In: 17º Seminário sobre a Economia Mineira. Diamantina, p. 1-10.

Fogaça A.C.C. 1997. Geologia da folha Diamantina. In: Grossi-Sad J. H., Lobato L.M., Pedrosa-Soares A.C., Soares-Filho B.S. (coords e eds). Projeto Espinhaço em CD-ROM (Textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG, pp. 1575-1665.

Fogaça, A. C. C. E Schöll, W. V. 1984. Estratigrafia e tectônica das rochas arqueanas e proterozóicas da região de Guinda e Gouveia (MG). Anais, 33º Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro, SBGeo.

Freitas, C. G. L. 2000Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo: São Paulo. 230 p. (Tese de Doutorado)

González De Vallejo, L. I. & Iglesias, A. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid. Prentice Hall. 715p.

Goulart, C. V. 2021. Avaliação de métodos para a extração automática de lineamentos morfoestruturais e magnéticos na região sudoeste do Escudo Sul-Riograndense. PPGSR/UFRGS: Porto Alegre. 96p.

Grant K. 1970. Terrain evaluation: a logical extension of engineering geology. In: International Congress of the International Association of Engineering Geologists. Paris. Proceedings..., v.2, p. 971-980.

Guidicini, G., Nieble, C. M 1976. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. São Paulo, Edgard Blucher Ltda & Universidade de São Paulo, 170p.

Guerra, A. J. T. 2007. In Guerra, A. J. T.; Silva, A. S. & Botelho, R. G. M. (Orgs.). 2007. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Cap. 1, p. 17-56.

Guerra, A. J. T.; Silva, A. S. & Botelho, R. G. M. (Orgs.). 2007. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 340p.

Guerra, A. J. T. Botelho, R. G. M. 1998. Erosão Dos Solos. In: Guerra, A. J. T; Cunha, S. B; (Org.) Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, cap 5. p. 181- 228

Humbert M. 1977. La Cartographie en France des Zones Esposes a des Risques Lies aux Mouvements du Sol: Cartes Zermos. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 16: 80-81.

Infanti Junior, N. & Filho, N. 1998. Processos de Dinâmica Superficial. In Oliveira, A. M. S. e Brito S. N. A. (Eds). 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). 1986. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe – Paranapanema. São Paulo. 6 V.

Knauer L.G., Romano A.W., Friedmann M., Ferreira M. P. 2014. Geologia e recursos minerais da folha Corinto SE.23-Z-A-II: estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, CPRM, 68 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2019. Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões ecológicas. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 179p.

International Association of Engineering Geology (IAEG). 1976. Engineering geological maps: a guide to their preparation. Paris, Unesco Press, 79 p.

International Society for Rock Mechanics snd Rock Engineering (ISRM). 1978. Suggested mothods for the quantitative description of discontinuities in rock mechanics. International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics. Abstract. v.15, pp. 319 - 368.

International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM). 2007. The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014. Suíça: Springer.

Katz O, Reches Z & Roegiers Jc. 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer. Int J Rock Mech Min Sci, 37:723-728.

Laboratório de População e Ambiente (LPA). 2016. Geotecnologias aplicadas ao Cadastro Multifinalitário de Diamantina. Relatório de pesquisa (circulação restrita). Diamantina: LPA/CEGEO.

Lana, J. L.; Jesus de, D. & Antonelli, T. (Orgs.) 2021. Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial, volume 3 – Setorização de áreas de risco geológico. Brasília: CPRM. 49p.

Leão R.P. 2016. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de Nova Lima – MG. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 112p.

Locatelli, P. E. 2014. Avaliação de métodos para correlação entre morfoestruturas superficiais e anomalias magnéticas em profundidade com base em sensoriamento remoto e aerogeofísica. UNICAMP: Campinas. 71p.

Lopes-Silva L. & Knauer L.G. 2011. Posicionamento Estratigráfico da Formação Bandeirinha na Região de Diamantina, Minas Gerais: Grupo Costa Sena ou Supergrupo Espinhaço?. Geonomos 19(2):131-151.

Macedo E.S. & Bressani L. A. (orgs). 2013. Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo. São Paulo, Associaçã Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental e Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 88p.

Macedo, E. S. de; Mirandola, F. A. 2018. Gestão de riscos geológicos. In: OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; Monticeli, João Jerônimo (Eds.) Geologia de engenharia e ambiental**.** São Paulo: ABGE, v.3, cap.37, p.279-300.

Marcelino, E. V. 2008. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 38p.

Martins, T. I. S. Mapeamento geomorfológico da folha Piumhi, Minas Gerais. 2013. Instituto de Geografia/UFU: Uberlândia. 157f. (Dissertação de Mestrado).

Menezes, L. O. 2021. Metodologia para gestão de riscos geológico-geotécnicos em áreas urbanas: os casos do Concelho do Porto e Contagem, MG. IGC/UFMG e Faculdade de Engenharia/Universidade do Porto: Belo Horizonte. Tese de doutoramento. 540p.

Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Brasília: 2007. 176 p.

Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações. Apostila de treinamento. 2004. 73p.

Nakazawa, V.A.; Prandini, F.L.; Santos, A.R. dos & Freitas, C.G.L. de. 1991. Cartografia geotécnica: a aplicação como pressuposto. In: 2º Simpósio de geologia do sudeste. São Paulo, Anais..., p. 329-336.

Nakazawa, V.A.; Prandini, L.F.; Diniz, N.C. Subsidências e colapsos de solo em áreas urbanas. In: Bitar, O.Y. (coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE-DIGEO, p. 101-133. 1995

Nazar, T. I. S. M. 2018. O Chapadão do Diamante na Serra da Canastra/MG, Brasil: caracterização geomorfológicas e análise integrada do meio físico a partir de dados multifontes. UFU: Uberlândia. 270f.

Nery, T.D. 2011. Avaliação da suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos na bacia da Ultrafértil, Serra do Mar (SP). São Paulo. (Dissertação de Mestrado, USP).

Noce C. M. 1997a. Geologia da Folha Itacambira. In: Grossi-Sad J. H., Lobato L. M., Pedrosa-Soares A. C., Soares-Filho B. S. (coords e eds). Projeto Espinhaço em CD-ROM (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG, p. 853-924.

Noce C. M. 1997b. Geologia da Folha Curimataí. In: Grossi-Sad J. H., Lobato L. M., Pedrosa-Soares A. C., Soares-Filho B. S. (coordenadores e editores). Projeto Espinhaço em CD-ROM (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG, p. 1199-1250.

Nogueira, F.R.; Canil, K. (coord.) Carta geotécnica de aptidão à urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios de Caieiras, Itapecerica da Serra, Itapevi e Santana de Parnaíba, Estado de São Paulo. Santo André: Universidade Federal do ABC. Relatório Final. 2017. 133p.

Nonato, C.A. 2002. Contribuição à caracterização geológico-geomecânica no Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte. 186p. (Tese de Doutoramento, UFMG).

Oliveira C. 1983. Dicionário cartográfico. Rio de Janeiro, IBGE, 646 p.

Oliveira, M. A.; Andretta, E. R.; Filho, I. B. O.; Marmos, J. L. E Souza, A. G. H. de (Org.) 2022. Avaliação geotécnica nos atrativos geoturísticos de Presidente Figueiredo, AM. S.l: SBG/CPRM.

Parizzi, M.G. 2004. Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. Ouro Preto. 233 p. (Tese de Doutoramento, UFOP).

Parizzi, M.G; Moura, A.C.M; Memória, E. & Magalhães, D.M. 2010. Mapa de unidade geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. RMBH. 21p. In Programa Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH: Relatório de Geoprocessamento. 2010.

Pasek, J. 1968. The development of engineering geological maps in Czechoslovakia. Zentr. Geol. Inst. Abh., Berlin, v. 14.

Pastore, E.L. & Fontes, R.M. 1998. Caracterização e Classificação de solos. In: Oliveira, A.M.S. & Brito; S.N.A. (eds.). Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo, ABGE, p. 197-210.

Patton, F. D., Hendron Jr., A. J. 1974. General Report on “Mass Movements”. Internacional Congress of the International Association of Engineering Geology, 2, São Paulo, Brazil, Proceedings, 2:V-GR.1–V-GR. 57.

Pedrazzi, A. C.; Cunha, F. L. B. E Dias, R. (org). 2022. Avaliação geotécnica da região dos cânions do Xingó. Relatório. Rio de Janeiro: SBG/CPRM.

Pejon, O. J. 1992. Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba/SP. Estudos de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos. São Carlos: EESC/USP (Tese de doutoramento).

Pejon, O. J. & Ferreira, M. D. 2015. Mapas geotécnicos e geoambientais. In Zuquette, L. V. 2015. Geotecnia Ambiental. Rio de Janeiro, Elsevier. Cap. 3, p. 47-80.

Pflug R. 1968. Observações sobre a Estratigrafia da Série Minas na Região de Diamantina. Notas Preliminares e Estudos. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Produção Mineral, 142, 20p.

Pavlopoulos, K.; Evelpidou, N. & Vassilopoulos, A. 2009. Mapping geomorphological environments. Berlin: Springer.

Pimentel, J. E Santos, T.D. (Orgs). 2018. Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa – Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais – Projeto GIDES. 1º ed. Rio de Janeiro: CPRM.

Pinheiro, A. 2007. Enchente e inudação. In: Santos, R. F. (Org). Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 192p.

PINTO, C. de. S. 2006. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos. 359p.

Pires, F. R. & Souza, C. M. 2013. Práticas mecânicas de conservação do solo e da água. Viçoca: UFV, 216p.

Prandini F.L., Nakazawa V.A., Freitas C.G.L.De, Diniz N.C. 1995. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: Bitar, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo, ABGE/IPTDIGEO, pp. 187-202.

Priest S.D. & Hudson J.A. 1976. Discontinuity spacings in rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 13: 135-148.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. 1999. Material Didático: arquivos de transparências (CD). Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada.

Reis Junior, W. & Parizzi, M. G. 2015. Classificação geomecânica de maciços rochosos na Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG. *In* Anais 15° Cong. Bras. de Geologia de Engenharia e Ambiental. Bento Gonçalves, RS. 8 p.

Reis Junior W. 2016. Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 163 p.

Reis Junior, W. & Parizzi, M. G. 2018. Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG. Geonomos 26(2): 23 – 30pp.

Rennó C.D., Nobre A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., Tomasella, J., Waterloo, M. J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM DEM; Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, 112 (9):3469-3481.

Rodrigues, S. C.; Augustin, C. H. R. & Nazar, T. I. S. M. 2023. Mapeamento geomorfológico do estado de Minas Gerais: uma proposta com base na morfologia. Revista Brasileira de Geomorfologia 24(1): 31p.

Ross, J. L. S. 1992. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. Revista do Departamento de Geografia, n. 6. São Paulo: Edusp, p.17-30.

Rotta, C. M. S. & Zuquette, L. V. 2015. Processos erosivos. In Zuquette, L. V. 2015. Geotecnica Ambiental. Rio de Janeiro: Elsevier. Cap. 5, p. 113-152.

Saadi, A. 1995. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais. Belo Horizonte: Geonomos 3(1): 41-63.

Sampaio, T. V. M. 2018. Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem: uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES. IGC/UFMG: Belo Horizonte. 147p. (Tese de Doutorado).

Sampaio, T. V. M. & Augustin, C. H. R. R. 2014. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. Revista Brasileira de Geomorfologia 15 (1): 14p.

Sanejouand, R. 1972. La cartographie gèotechnique em France. Paris: Ministère de I'Equipement et du Logement.

Santoro, J. 2009. Erosão Continental. In Tominaga, L. K; Santoro, J. & Amaral, R. (Orgs.). 2009. Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico. Cap. 4, p. 53-70.

Santos, R. F. dos (Organizadora). 2007. Vulnerabilidade Ambiental. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 192 p.

Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. Dos; Oliveira, V. A. de; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. De; Cunha, T. J. F.; Oliveira, J. B. de. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa. 353 p.

Scholl, W. U. & Fogaca, A.C.C. 1979. Estratigrafia da Serra do Espinhaço na Região de Diamantina. In: Simp. Geol. Minas Gerais, 1, Dimantina, 1979. Atas... Diamantina, SBG, p. 55-73.

Selby, M. J. 1993. Hillslope: materials and processes. Oxford, England: Oxford University Press, p 451.

Silva, A.F. 2009. Estudo de previsão de deslizamentos a partir do fator de segurança 3D: Campos do Jordão, SP. São Carlos. (Dissertação de Mestrado, USP).

Silva, W.F.; Molleri, G.S.F.; Pinto, M.B.P, Araújo Junior, G.J.L.D. Análise do modelo HAND para a indicação de áreas suscetíveis a eventos críticos de cheias. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. São José dos Campos: Inpe. p. 7001-7008, 2013.

Silva, L. F. M.; Kuhlmann, L. G. E Ribeiro, L. M. A. L. (Org). 2022. Avaliação geotécnica nos atrativos turísticos no Paruqe Nacional da Serra da Canastra: São Roque de Minas e Delfinópolis, MG. Relatório. Rio de Janeiro: SBG/CPRM.

Silva, M. L. 2012. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional: mapeamento e estoque de matéria orgânica. Dissertação de mestrado. Diamantina: FCA/UFVJM.

Simões, M. L. S. & Conceição, R. A. C. 2020. Metodologia de modelagem de inundação utilizada nas castas de suscetibilidade. In II Encontro Nacional de Desastres. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

Shinzato, E.; Renk, J. F. C.; Dantas, M. E.; Teixeira, W. G.; Vargas, L. 2012. Geotecnologia 3D na compartimentação geomorfológica das bacias hidrográficas dos rios Macacu e Caceribu - Recôncavo da Baixada da Guanabara /RJ. In: Simpósio nacional de geomorfologia, 9., 2012, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: UFRJ.

Soares P.C. & Fiori A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícias geomorfológicas, v.6, 32:71-104.

Sobreira F. G. 1991. Riscos geológicos: definição de pontos críticos em Ouro Preto. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, 44:213-223.

Sobreira F.G. & Souza L.A. 2012. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, p. 79-97.

Souza, C. M. & Pires, F. R. 2003. Práticas mecânicas de controle da erosão. Brasília: SENAR, 87 p. (Coleção Trabalhador no Cultivo de Grãos e Oleaginosas, 75).

Souza, C. G. de. 2006. Caracterização de solos nos arredores da Serra Três Irmãos e da Serra da Moeda: Quadrilátero Ferrífero/MG. Instituto de Geociências/UFMG: Belo Horizonte. 97p. (Dissertação de mestrado).

Souza, C. R. G. 2009. Erosão costeira. In Tominaga, L. K; Santoro, J. & Amaral, R. (Orgs.). 2009. Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico. Cap. 5, p. 71-84.

Souza, L. A. 2015. Diagnóstico geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas: aplicação na bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais. 456p. Ouro Preto. (Tese de doutoramento).

Souza M. A. T. A. & Grossi-Sad J. H. 1997. Geologia da Folha Rio Vermelho. In: Grossi-Sad J. H., Lobato L. M., Pedrosa-Soares A. C., Soares-Filho B. S. (coords e eds). Projeto Espinhaço em CD-ROM (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG, p. 1667-1806.

Souza, L. A. & Sobreira, F. G. 2014. Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente a desastres naturais. Brasília, DF. 68p.

Tominaga L.K. 2007. Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 240 p.

Tominaga, L.K., Ferreira, C.J., Vedovello, R., Tavares, R., Santoro, J. & Souza, C. R. 2004. Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do litoral norte de São Paulo: conceitos e técnicas. In: Pejon, O. & Zuquette, L. eds. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5: 2004: São Carlos. 205-215 pp.

Tominaga, L. K.; Santoro, J & Amaral, R. Do (Orgs). 2015. Desastres naturas: conhecer para prevenir. 3ª ed. São Paulo: Instituto Geológico. 196p.

Union Nations - International Strategy for Disaster Reduction (UN-ISDR). 2004. Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives. Genebra: ONU.

Union Nations - International Strategy for Disaster Reduction (UN-ISDR). 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. Genebra: ONU.

Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquista Filho". Módulo 3 – Interação Homem-Ambiente – 3. Geodinâmica Externa. São Paulo, 2005.

Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras & Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2010. Belo Horizonte: FEAM. 49p.

Valadão, R. C. 1998. Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental: desnudação, superfície de aplanamento e movimentos crustais. Tese de doutorado. Salvador: IGC/UFBA.

Varajão G. F. D. 2015. Por uma Geografia de Diamantina-MG. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 232 p.

Vargas, M. 1985. Origem e desenvolvimento da Geotecnologia no Brasil. Quipo, São Paulo, v.2, n.2, p.263-279.

Vedovello R. 1993. Zoneamento geotécnico por Sensoriamento Remoto, para Estudos de planejamento do meio físico – Aplicação em expansão urbana. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 88 p.

Weiss, A. D. 2001. Topographic positions and landforms Analysis. Conference Poster. In: ESRI internationa user conference, San Diego, CA. P. 9 – 13.

Wischmeier, W. H. & Mannering, J. V. 1969. *Relation of soil properties to its erodibility. Proceedings of Soil Society of America*, 33, 133-137.

Wolski M.S. 1997. Contribuição à cartografia geotécnica de grandes áreas com o uso de sistema de informações geográficas: uma aplicação à região do médio Uruguai (RS). Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 103 p.

Wolski, M. S., Dias, R. D. & Orth, D. M. 1998. Contribuição à Cartografia geotécnica de grandes áreas com o uso de sistemas de informações geográficas: Uma Aplicação à Região do Médio Uruguai (RS). In: Congresso Brasileiro de Cadastro, 1998, Florianópolis (SC). III COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro. Florianópolis (SC): UFSC.

Zaine J. E. 2000. Mapeamento geológico-geotécnico por meio da sistemática do detalhamento progressivo: aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 149 p.

Zebera, K. 1947. Geologie in der regionalen planung. Geotechica, Prague, n. 4.

Zuquette L.V. 1981. Mapeamento geotécnico preliminar da região de São Carlos. São Carlos: EESC/USP (Dissertação de mestrado).

Zuquette L.V. 1987. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 3v, 673p.

Zuquette L.V.1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para exploração. Tese de Livre docência, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2v.

Zuquette L.V. & Gandolfi N. 1992. The importance of the engineering geological mapping for regional planning an example from the Campinas Region (Brazil). In: II Simpósio Latino Americadno de Riesgo Geologico Urbano. Pereira/Colombia, Anais..., v.1, p. 469-483.

Zuquette, L. V. & Gandolfi, N. 2004. Cartografia Geotécnica. Oficina de textos, São Paulo. 190p.

Zuquette L.V. & Nakazawa V.A. 1998. Cartas de Geologia de Engenharia. In: Oliveira A.M.S. & Brito S.N.A. (eds). Geologia de Engenharia. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, p. 283-300.

APÊNDICE A – Ficha de vistoria para balneários

FICHA DE VISTORIA DE BALNEÁRIOS

Balneário:	**Data:**
Município/UF:	**Distrito:**
Referência:	
Coordenadas UTM:	***Datum:***

Caracterização geral dos acessos

- ☐ Possui mais de um acesso: (nº:)
- ☐ Somente o acesso principal foi vistoriado.
- ☐ Há perigos iminentes.

Tipos de acesso

- ☐ Estrada pavimentada
- ☐ Margem de rio
- ☐ Leito rochoso
- ☐ Trilha
- ☐ Estrada/caminho não pavimentado

Outras considerações / Fotografias com geolocalização (Anexo)

Processos geodinâmicos deflagrados	**Processos previstos**	**Suscetibilidade B**	**M**	**A**
☐ Queda/rolamento de blocos	☐ Queda/rolamento de blocos	☐	☐	☐
☐ Tombamento de blocos	☐ Tombamento de blocos	☐	☐	☐
☐ Escorregamento planar	☐ Escorregamento planar	☐	☐	☐
☐ Escorregamento circular	☐ Escorregamento circular	☐	☐	☐
☐ Escorregamento em cunha	☐ Escorregamento em cunha	☐	☐	☐
☐ Escorregamento complexo	☐ Escorregamento complexo	☐	☐	☐
☐ Ravina	☐ Ravina	☐	☐	☐
☐ Voçoroca	☐ Voçoroca	☐	☐	☐
☐ Erosão fluvial	☐ Erosão fluvial	☐	☐	☐

Descrição geral do balneário

Número de vertentes ao redor do corpo d'água/rio:

Ambiente fisiográfico	**Características**	**Vertente 1**	**Vertente 2**	**Vertente 3**
☐ Cânion	Declividade			
☐ Vale estreito	Altura			
☐ Planície de inundação	Extensão			
☐ Platô	Distância do corpo d'água			
☐	Orientação			

Outras considerações

Fotografias

Vertente 1

1 2 3 4

Vertente 2

1 2 3 4

Vertente 3

1 2 3 4

Panorâmica

1 2 3 4

FICHA DE VISTORIA DE BALNEÁRIOS

Caracterização das vertentes

Obs.: Replicar esta folha em caso de mais de uma vertente.

Vertente

Material constituinte

- ☐ Rocha
- ☐ Solo
- ☐ Misto

Granulometria do solo

- ☐ Cascalho
- ☐ Areia grossa
- ☐ Areia média
- ☐ Areia fina
- ☐ Silte
- ☐ Argila

Consistência do solo

- ☐ Dura
- ☐ Rija
- ☐ Média
- ☐ Mole
- ☐ Muito mole

Cor do solo

Rocha

- ☐ Quartzito
- ☐ Filito
- ☐ Xisto
- ☐ Metaconglomerado
- ☐

Granulação

- ☐ M. grossa (>3cm)
- ☐ Grossa (1-3cm)
- ☐ Média (1-10mm)
- ☐ Fina (0,1-1mm)
- ☐ M. Fina (<0,1mm)

Feições estruturais

- ☐ Fratura
- ☐ Foliação
- ☐ Dobra
- ☐ Acamamento
- ☐

Caracterização de maciços rochosos

	DG1	DG2	DG3
Orientação			
Espaçamento (mm) - (S)			
Persistência (m)			
Abertura (mm)			
Percolação			
Grau de alteração			
Preenchimento			
Rugosidade			
DG/metro (f)			
Nº de golpes de martelo			

Estrutura mais significativa para movimentação/condicionamento mecânico: ☐ ☐ ☐

☐ Há necessidade de zonear o maciço, devido a heterogeneidade do padrão das descontinuidades geomecânicas.

Descrição da dispersão de padrão de fraturamento

	DG	DG	DG	DG
Espaçamento (mm) - (S)				
Persistência (m)				
Abertura (mm)				
Percolação				
Grau de alteração				
Preenchimento				
Rugosidade				
DG/metro (f)				
Orientação				

Setor zoneado

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4

Altura da área zoneada

Caracterização geral

Croqui/Fotografia de detalhe

FICHA DE VISTORIA DE BALNEÁRIOS

Parâmetros descritivos

Resistência	Descrição
Rocha extr. Fraca	Risca com a unha.
Rocha muito fraca	Esmigalha com golpes firmes com a ponta do martelo de geólogo e pode ser raspada com canivete.
Rocha Fraca	Pode ser raspada/riscada com canivete, mas podem ser fraturadas com golpes de martelo.
Rocha medianamente resistente	As amostras pode ser fraturadas com golpes de martelo de geológo.
Rocha resistente	É necessário mais de um golpe com o martelo de geólogo para fraturar-se.
Rocha muito resistente	São necessários muitos golpes com o martelo de geólogo para fraturar-se.
Rocha extr. Resistente	As amostras podem ser somente lascadas com martelo de geólogo.

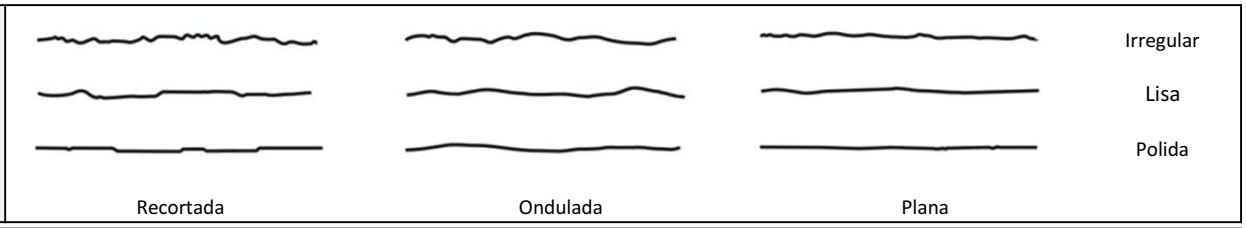
Descrição	Espaçamento (mm)
Extr. próximas	< 20
M. próximas	20 - 60
Próximas	60 - 200
Mod. próximas	200 - 600
Afastadas	600 - 2000
M. afastadas	2000 - 6000
Extr. afastadas	> 6000

Descrição	Persistência (m)
Muito baixa	< 20
Baixa	1 - 3
Mediana	3 - 10
Alta	10 - 20
Muito alta	> 20

Descrição		Abertura (mm)
Fechadas	M. apertada	< 0,1
	Apertada	0,1 - 0,25
	Parc. Aberta	0,25 - 0,5
Abertas	Aberta	0,5 - 2,5
	Mod. Larga	2,5 - 10
	Larga	> 10
Afastadas	M. larga	10 - 100
	Extr. Larga	100 - 1000
	Cavernosa	> 1000

Alteração	Descrição
Fresca	Nenhuma sinal visível de alteração, podendo haver leve descoloração.
Lev. alterada	Descoloração indica alteração da rocha e das DG. Pode estar descolorido pelo intemperismo, levemente mais fraco externamente.
Mod. alterada	Menos da metade do material rochoso está decomposto e/ou desintegrado em solo. Rocha fresca ou descolorida estão presentes em uma estrutura contínua ou em pedaços.
Alt. Alterada	Mais da metade do material rochoso está decomposto e/ou desintegrado em solo. Rocha fresca ou descolorida esta presente como uma estrutura descontínua ou em pedaços.
Compl. Alterada	Todo o material está decomposto e/ou desintegrado em solo. A estrutura original do maciço está intacta.
Solo residual	Todo o material rochoso foi convertido em solo e estrutra original destruída. Houve uma grande mudança no volume, mas o solo não foi significativamente transformado.

Perfis de rugosidade



Permeabilidade e conteúdo de água nas descontinuidades		
Descontinuidades sem preenchimento	Descontinuidades preenchidas	Grau
A descontinuidade é muito fechada e seca, não parecendo ser possível o aparecimento de fluxos de água.	O preenchimento é fortemente consolidado e seco, improvável presença de fluxos de água significativos devido a baixa permeabilidade.	1
A descontinuidade é seca com nenhuma evidência de fluxo de água.	O preenchimento está úmido, mas não apresenta água livre.	2
A descontinuidade é seca, mas mostra evidência de fluxo de água (manchas de ferrugem, etc.)	O preenchimento está molhado, com gotas de água ocasionais.	3
A descontinuidade é úmida, mas não existe água livre.	O preenchimento mostra sinais de lavagem e fluxo de água contínua.	4
A descontinuidade apresenta percolação, ocasionalmente apresenta gotas de água, mas não fluxo contínuo.	Os materiais de preenchimento estão lavados localmente, apresentando fluxo considerável de água ao longo dos canais de carregamento.	5
A descontinuidade mostra um fluxo contínuo de água.	O preenchimento apresenta-se completamente lavado e existe considerável pressão de ágia, principalmente na primeira exposição.	6

FICHA DE VISTORIA DE BALNEÁRIOS

Ocorrência de lascas e blocos rochosos isolados/soltos

Obs.: Replicar esta folha em caso de mais de uma vertente.

Descrição	Setor 1	2	3	4	Altura (s)	Dimensões
☐ Bloco assentado em DG com orientação favorável a movimentação	☐	☐	☐	☐		
☐ Bloco assentado em vertente composta por solo	☐	☐	☐	☐		
☐ Lascas subhorizontalizadas sem sustentanção em paredes rochosas (tetos)	☐	☐	☐	☐		
☐ Matacão imerso em solo	☐	☐	☐	☐		
☐ Bloco tombado/movimentado	☐	☐	☐	☐		
☐ Bloco delimitado por DG's muito abertas	☐	☐	☐	☐		

Informações complementares

Depósitos de movimentos de massa anteriores

Material depositado	Dimensão dos fragmentos	Arredondamento	Seleção dos fragmentos	Dimensões do depósito	Setor 1	2	3	4
☐ Blocos rochosos					☐	☐	☐	☐
☐ Solo/Material decomposto					☐	☐	☐	☐
☐ Fragmentos de rocha e solo					☐	☐	☐	☐

Informações complementares

Indícios de instabilidade

	Setor 1	2	3	4	Altura
☐ Cicatrizes de deslizamentos circulares	☐	☐	☐	☐	
☐ Cicatrizes de deslizamentos planares	☐	☐	☐	☐	
☐ Cicatrizes de deslizamentos em cunha	☐	☐	☐	☐	
☐ Trincas	☐	☐	☐	☐	
☐ Árvores inclinadas	☐	☐	☐	☐	
☐ Degraus de abatimento	☐	☐	☐	☐	
☐ Colonização vegetal em DG	☐	☐	☐	☐	
☐ Ravina	☐	☐	☐	☐	
☐ Voçoroca	☐	☐	☐	☐	
☐ Surgência de água	☐	☐	☐	☐	
☐ Intumescência basal	☐	☐	☐	☐	
☐ Erosão fluvial	☐	☐	☐	☐	

Informações complementares

Processos suscetíveis

	Setor 1	2	3	4	Altura	Área de atingimento
☐ Deslizamento circular	☐	☐	☐	☐		
☐ Deslizamento planar	☐	☐	☐	☐		
☐ Deslizamento em cunha	☐	☐	☐	☐		
☐ Deslizamento complexo	☐	☐	☐	☐		
☐ Queda de bloco	☐	☐	☐	☐		
☐ Rolamento de bloco	☐	☐	☐	☐		
☐ Tombamento de bloco	☐	☐	☐	☐		
☐ Eroão fluvial	☐	☐	☐	☐		

Informações complementares

FICHA DE VISTORIA DE BALNEÁRIOS

Classificação geomecânica *Rock Mass Rating* (Bieniawski 1989)

Parâmetros		Coeficientes						
1	Compressão uniaxial	<1	1-5	5-25	25-50	50-100	100-250	>250
	Pesos	0	1	2	4	7	12	15
2	RQD (%)	>25		25-50		50-75	75-90	90-100
	Pesos	3		8		13	17	20
3	Espaçamento (m)	<0,06		0,06-0,2		0,2-06	0,6-2,0	>2,0
	Pesos	5		8		10	15	20
4a	Persistência (m)	>20		20-10		10-3	3-1	<1
	Pesos	0		1		2	4	6
4b	Abertura (mm)	>5,0		5,0-1,0		1,0-0,1	<0,1	Nenhuma
	Pesos	0		1		4	5	6
4c	Rugosidade	Liso		Polido		Lig. Rugoso	Rugoso	M. rugoso
	Pesos	0		1		3	4	6
4d	Preenchimento	Mole >5mm		Mole <5mm		Duro >5mm	Duro <5mm	Nenhum
	Pesos	0		2		2	4	6
4e	Grau de alteração	Decompostas		M. alteradas		Mod. Alteradas	Lig. Alteradas	Inalteradas
	Pesos	0		2		3	5	6
5	Percolação de água	Fluxo d'água		Gotejamento		Molhado	Úmido	Seco
	Pesos	0		4		7	10	15

Cálculo RQD Jv = 1/S1 + …1/Sn RQD = 115 - 3,3 Jv RQD = 100 $e^{-0,1f}$ x (0,1f + 1)

Índice RMR	<21	21-40	41-60	61-80	81-100
Classe	I	II	III	IV	V
Descrição do maciço	M. fraco	Fraco	Razoável	Bom	M. Bom
Ângulo de atrito interno (°)	<15	15-25	25-35	35-45	>45

	DG1	DG2	DG3	DG	DG
1					
2					
3					
4a					
4b					
4c					
4d					
4e					
5					

Índice RMR	
DG1	
DG2	
DG3	
DG	
DG	
Ângulo de atrito interno (°) - Maciço - Menor RMR	

Análise cinemática

Obs.: Replicar esta folha em caso de mais de uma vertente.

Deslizamento planar

	DG1	DG2	DG3	DG	DG
Vertente e DG paralelas (±20°)	☐	☐	☐	☐	☐
Declividade superior ao α	☐	☐	☐	☐	☐
α < ϕ	☐	☐	☐	☐	☐

Famílias de DG suscetíveis: atendem aos três critérios.

Tombamento flexural

	DG1	DG2	DG3	DG	DG
Vertente e DG paralelas (±20°)	☐	☐	☐	☐	☐
Vertente e DG em sentidos contrários	☐	☐	☐	☐	☐
(ângulo de mergulho do talude - ϕ) < α	☐	☐	☐	☐	☐

Famílias de DG suscetíveis: atendem aos três critérios.

Ângulo de atrito interno - ϕ

Ângulo de mergulho da DG - α

FICHA DE VISTORIA DE BALNEÁRIOS

Classe de Perigo	Descrição
Baixo	Os balneários não apresentam feições de instabilidade e embora possam haver raros e pequenos depósitos gerados por antigos movimentos de massa, a possibilidade de futura deflagração é baixa. Nesses locais, espera-se observar maciços rochosos com descontinuidades fechadas, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal, grau de fraturamento baixo e com mergulhos contrários aos taludes. Esta condição geométrica permite que os possíveis blocos formados estejam assentados sobre estrutura planar confinante, impossibilitando movimentação. Podem estar relacionadas a áreas sem grandes quebras topográficas e ocorrência de maciços rochosos em seu entorno, reduzindo a probabilidade de outros processos geodinâmicos.
Moderado	Estes atrativos naturais não apresentam conspícuas feições de instabilidade e ainda que ocorram depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa pretéritos, a suscetibilidade a tais processos geodinâmicos é moderada. Mesmo que possam ser observados blocos rolados, estes são muito angulosos e, de modo geral, bastante imbricados, reduzindo a probabilidade de rolamento. Nesses locais, podem ser observados famílias de descontinuidades com aberturas variadas, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal. Contudo, pode haver cenários isolados suscetíveis a movimentação de blocos rochosos em áreas de difícil acesso aos visitantes.
Alto	Nestes locais são observados relevantes indícios de instabilidade e depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa anteriores, a suscetibilidade a movimentos de massa é alta. Observam-se descontinuidades abertas, intensa percolação de água e colonização vegetal, além de um elevado grau de fraturamento. Podem ser identificados inúmeros blocos rochosos que já sofreram movimentação e/ou estão em situação de iminente queda, contudo, podem estar assentados em descontinuidades com mergulho contrário aos paredões das cachoeiras. De modo geral, estão relacionados a vales encaixados.
Muito alto	As feições de instabilidade são patentes, observam-se depósitos gerados por movimentos de massa anteriores e cicatrizes de escorregamentos. A probabilidade de ocorrência desses processos geodinâmicos é muito alta. Comumente, as estruturas que seccionam os maciços rochosos são muito abertas, caracterizadas por elevado grau de fraturamento, colonização vegetal e intensa percolação, apresentando sinais de surgência de água. De modo geral, estão relacionados a paredões rochosos verticalizados. Podem ser descritos inúmeros blocos caídos e/ou em situação de movimentação iminente, como calhaus sem sustentação e blocos assentados em descontinuidades desconfinadas, cujo plano de base mergulha no mesmo sentido que as paredes do balneário.

Qualificação Geral de Perigo

- ☐ Baixo
- ☐ Moderado
- ☐ Alto
- ☐ Muito alto

☐ Necessidade de zoneamento ou indicação pontual de perigo.

Qualificação específica:

Imagem complementar

+

Ações recomendadas

- ☐ Fechamento do balneário — Justificativa:
- ☐ Remoção de blocos soltos — Altura: — Setor:
- ☐ Estabilização de blocos e lascas rochosas — Altura: — Setor:
- ☐ Investigações geotécnicas de detalhe — Especificação:
- ☐ Limpeza de vertente
- ☐ Sinalização em pontos específicos — Especificação:

Outras especificações:

Elaborado por Walter dos Reis Junior

APÊNDICE B – Ficha de vistoria para áreas urbanas

FICHA DE VISTORIA DE ÁREAS URBANAS

Logradouro:		**Data:**	
Número:	**Complemento:**		
Bairro:	**Município:**		
Referência:		**Data:**	
Coordenadas geográficas (UTM):		**Casa:**	**Setor:**
Nome do morador:			
Contato do morador:			

Características gerais da moradia

Tipo de construção
- ☐ Alvenaria
- ☐ Madeira
- ☐ Misto
- ☐ Lona

Estruturas
- ☐ Pilar
- ☐ Vigas
- ☐ Laje
- ☐ Telhado

Pavimentos
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3

Idade da contrução
- ☐ <15 anos
- ☐ 15 - 30 anos
- ☐ >30 anos

Cenário em caso de acidentes
- ☐ Atingimento
- ☐ Queda
- ☐ Ambos

Indícios de instabilidade
- ☐ Trincas e rachaduras
- ☐ Flexas exageradas
- ☐ Abatimento do piso
- ☐ Desplacamento de concreto

Posição da moradia/talude

Distância da base:

Distância da crista:

Observações:

Largura da plataforma:

Características do terreno e adjacências

Morfologia ☐ Encosta ☐ Planície aluvial ☐ Área aplainada ☐ Fundo de vale ☐ Margem de córregos

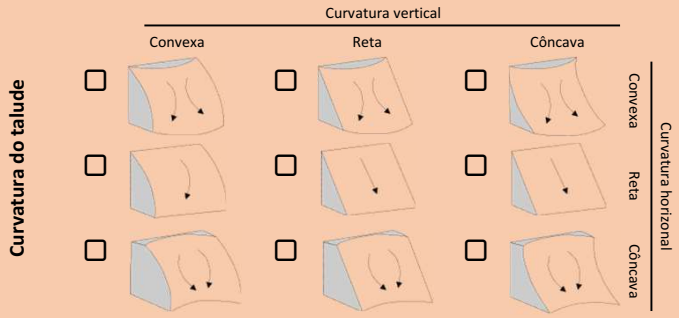
Talude à montante

Tipo

☐ Natural ☐ Corte ☐ Aterro ☐ De córrego

Altura: **Inclinação:**

Ocupação:



Material constituinte

☐ Rocha ☐ Solo ☐ Misto

Litologia

- ☐ Quartzito
- ☐ Filito
- ☐ Xisto
- ☐ Metaconglomerado
- ☐

Estruturas — **Posição** (Fav. / Desfav.)

- ☐ Fratura
- ☐ Foliação
- ☐ Acamamento

Grau de alteração
- ☐ Fresca
- ☐ Leve
- ☐ Moderado
- ☐ Intensamente
- ☐ Saprolito

Consistência/solo
- ☐ Dura
- ☐ Rija
- ☐ Média
- ☐ Mole
- ☐ Muito mole

Granulometria
- ☐ Cascalho
- ☐ Areia grossa
- ☐ Areia média
- ☐ Areia fina
- ☐ Silte/argila

Cobertura superficial:

Espessura:

Tipo de vegetação
- ☐ Vegetação rasteira
- ☐ Presença de árvores
- ☐ Área desmatada
- ☐ Cultivo:

Área coberta (%) por vegetação:

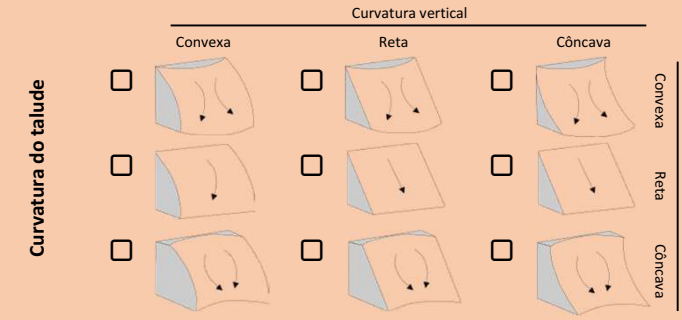
Talude à jusante

Tipo

☐ Natural ☐ Corte ☐ Aterro ☐ De córrego

Altura: **Inclinação:**

Ocupação:



Material constituinte

☐ Rocha ☐ Solo ☐ Misto

Litologia

- ☐ Quartzito
- ☐ Filito
- ☐ Xisto
- ☐ Metaconglomerado
- ☐

Estruturas — **Posição** (Fav. / Desfav.)

- ☐ Fratura
- ☐ Foliação
- ☐ Acamamento

Grau de alteração
- ☐ Fresca
- ☐ Leve
- ☐ Moderado
- ☐ Intensamente
- ☐ Saprolito

Consistência/solo
- ☐ Dura
- ☐ Rija
- ☐ Média
- ☐ Mole
- ☐ Muito mole

Granulometria
- ☐ Cascalho
- ☐ Areia grossa
- ☐ Areia média
- ☐ Areia fina
- ☐ Silte/argila

Cobertura superficial:

Espessura:

Tipo de vegetação
- ☐ Vegetação rasteira
- ☐ Presença de árvores
- ☐ Área desmatada
- ☐ Cultivo:

Área coberta (%) por vegetação:

FICHA DE VISTORIA DE ÁREAS URBANAS

Predisposição a processos geodinâmicos

Movimentos de massa

- ☐ Escorregamento planar
- ☐ Escorregamento em cunha
- ☐ Escorregamento circular
- ☐ Escorregamento misto
- ☐ Queda de solo (Solapamento)
- ☐ Queda e rolamento de blocos
- ☐ Tombamento de blocos

Processos erosivos

- ☐ Sulcos
- ☐ Ravina
- ☐ Voçoroca

Processos hidrológicos

- ☐ Enchente
- ☐ Inundação
- ☐ Alagamento

Indícios de instabilidade no terreno

- ☐ Estruturas deformadas: _____
- ☐ Árvores e estruturas rígidas inclinadas
- ☐ Trincas no terreno
- ☐ Degraus de abatimento
- ☐ Entumecimento basal
- ☐ Erosão pluvial/fluvial na base do talude
- ☐ Cicatrizes de escorregamentos
- ☐ Blocos rochosos ☐ Rampa ☐ Topo do talude/aterro

Agentes potencializadores

- ☐ Sistema de drenagem precário/ausente ☐ Concentração de água pluvial
- ☐ Vazamento ☐ Esgoto ☐ Rede de abastecimento de água
- ☐ Lançamento ☐ Água servida ☐ Esgoto a céu aberto
- ☐ Presença de bananeiras
- ☐ Fossa
- ☐ Surgência de água ☐ Base ☐ Meio ☐ Topo do talude/aterro
- ☐ Disposição de materiais ☐ Lixo ☐ Entulho

Condicionantes

Presença de agentes potencializadores	☐ Sim (2 ptos)	☐ Não (1 pto)	
Presença de indicativos de instabilidade	☐ Sim (2 ptos)	☐ Não (1 pto)	
Relação altura da encosta/Afastamento da edificação	☐ 3/1 (3 ptos)	☐ 2/1 (2 ptos)	☐ 1/1 (1 pto)
Vulnerabilidade da edificação	☐ Alta (2 ptos)	☐ Baixa (1 pto)	

Qualificação Geral de Perigo

- ☐ Baixo a inexistente (< 5 ptos)
- ☐ Moderado (6 ptos)
- ☐ Alto (7 ptos)
- ☐ Muito alto (> 8 ptos)

Fatores atenuantes

Obras executadas ☐ Eliminou o risco (-3 ptos) ☐ Apenas minimizou o risco (-2 ptos) ☐ Aparentemente inadequada (-1 pto)

Constituição e estrutura do talude
- ☐ Rocha sã ou saprólito com estrutura favorável a estabilidade (-1 pto)
- ☐ Rocha são ou saprólito sem estrutura significativa (-2 ptos)

☐ Baixa ou nula probabilidade da edificiação ser atingida pelo processo (-2 ptos)

Recomendações

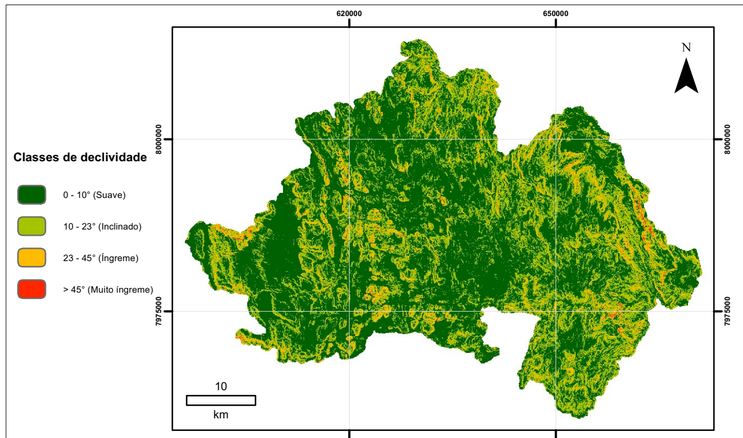
☐ Remoção de entulho	☐ Não expandir edificação	☐ Instalação de estrutura de contenção
☐ Remoção de vegetação	☐ Instalação de drenagem superficial	☐ Instalação de proteção superficial
☐ Não permanecer no local	☐ Recuperação de drenagem	☐ Outros:

Imagem complementar

Elaborado por Walter dos Reis Junior

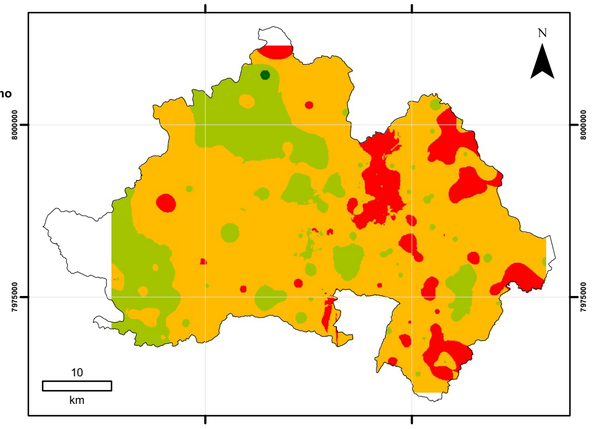
APÊNDICE C – Modelo cinemático para escorregamento planar

Modelagem cinemática para suscetibilidade a deslizamentos translacionais



Classes de declividade

- 0 - 10° (Suave)
- 10 - 23° (Inclinado)
- 23 - 45° (Íngreme)
- > 45° (Muito íngreme)

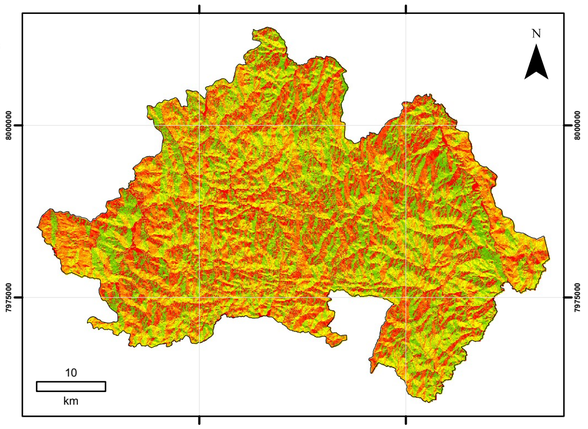


Intensidade de mergulho das descontinuidades

- 0 - 10°
- 10 - 23°
- 23 - 45°
- > 45°

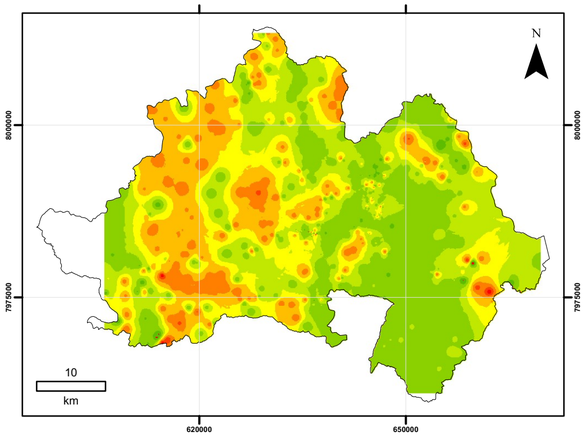
Legenda

- Limite da área de estudo



Orientação de encostas

- Norte
- Nordeste
- Leste
- Sudeste
- Sul
- Sudoeste
- Oeste
- Noroeste
- Norte

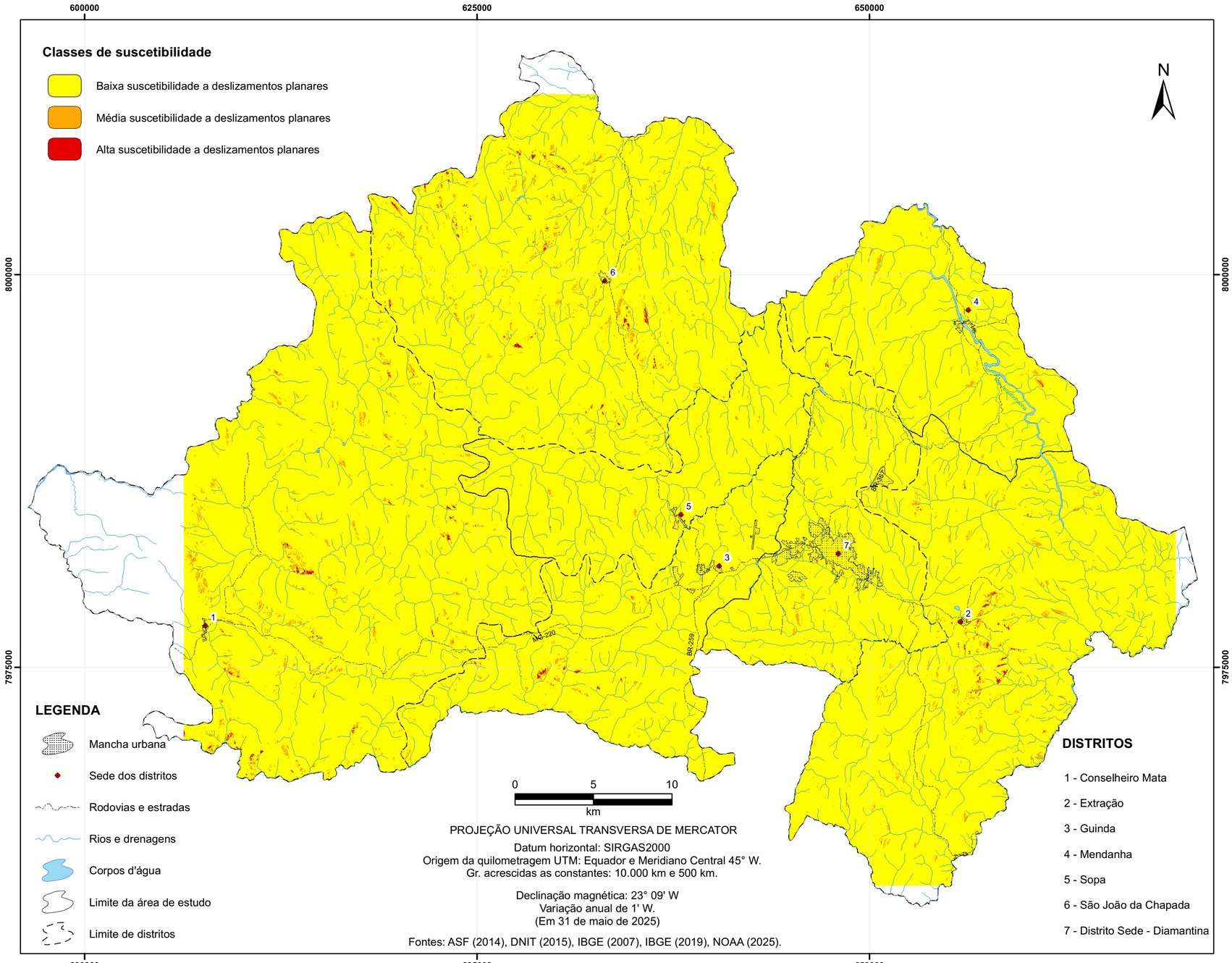


Sentido de mergulho das descontinuidades

- Norte
- Nordeste
- Leste
- Sudeste
- Sul
- Sudoeste
- Oeste
- Noroeste
- Norte

Legenda

- Limite da área de estudo



Classes de suscetibilidade

- Baixa suscetibilidade a deslizamentos planares
- Média suscetibilidade a deslizamentos planares
- Alta suscetibilidade a deslizamentos planares

LEGENDA

- Mancha urbana
- Sede dos distritos
- Rodovias e estradas
- Rios e drenagens
- Corpos d'água
- Limite da área de estudo
- Limite de distritos

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Datum horizontal: SIRGAS2000
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45° W.
Gr. acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km.

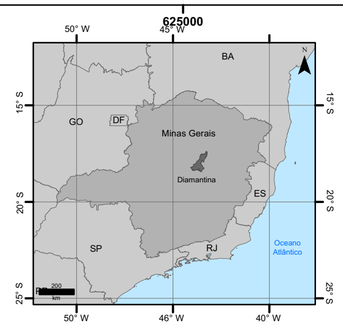
Declinação magnética: 23° 09' W
Variação anual de 1' W.
(Em 31 de maio de 2025)

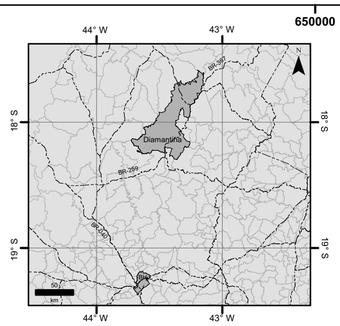
Fontes: ASF (2014), DNIT (2015), IBGE (2007), IBGE (2019), NOAA (2025).

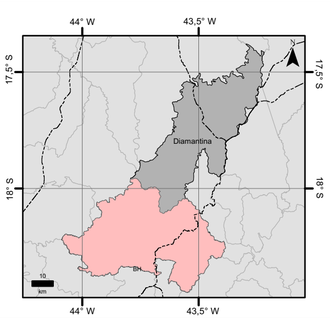
DISTRITOS

1 - Conselheiro Mata
2 - Extração
3 - Guinda
4 - Mendanha
5 - Sopa
6 - São João da Chapada
7 - Distrito Sede - Diamantina



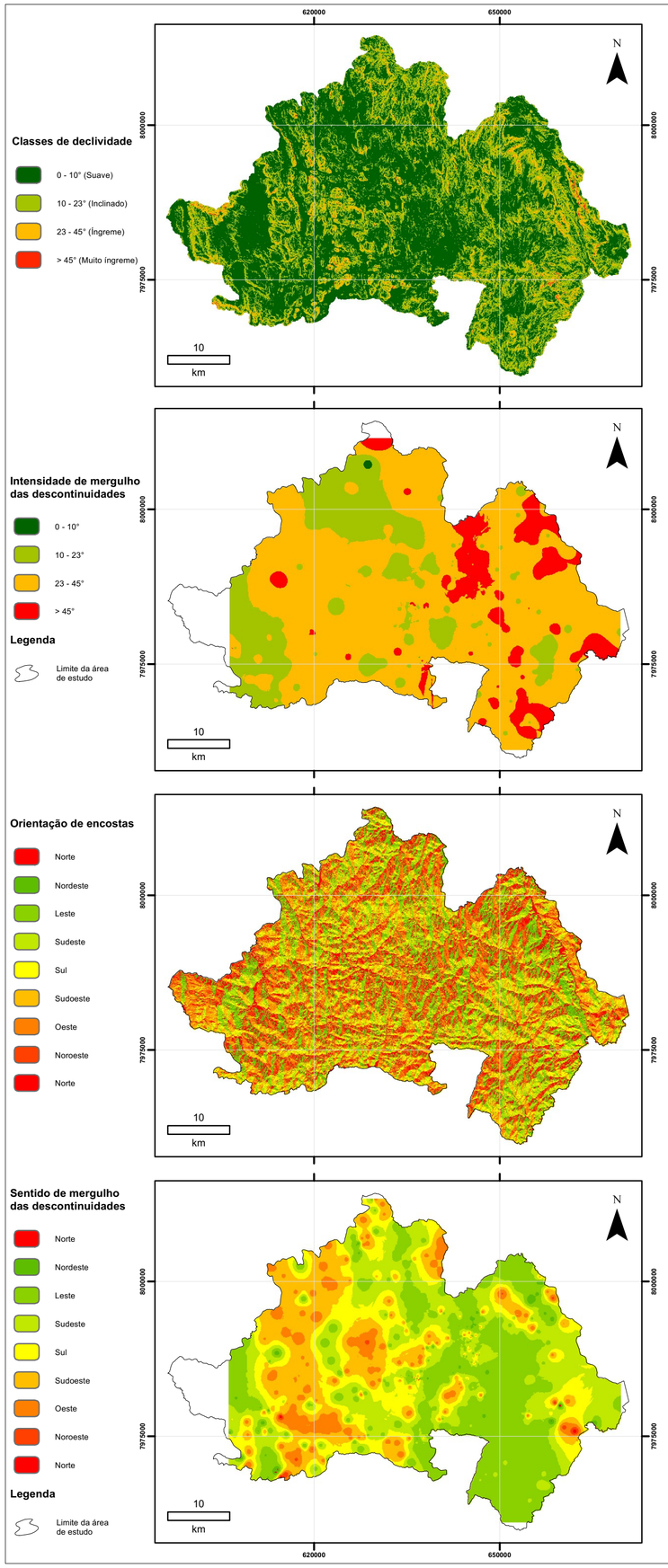


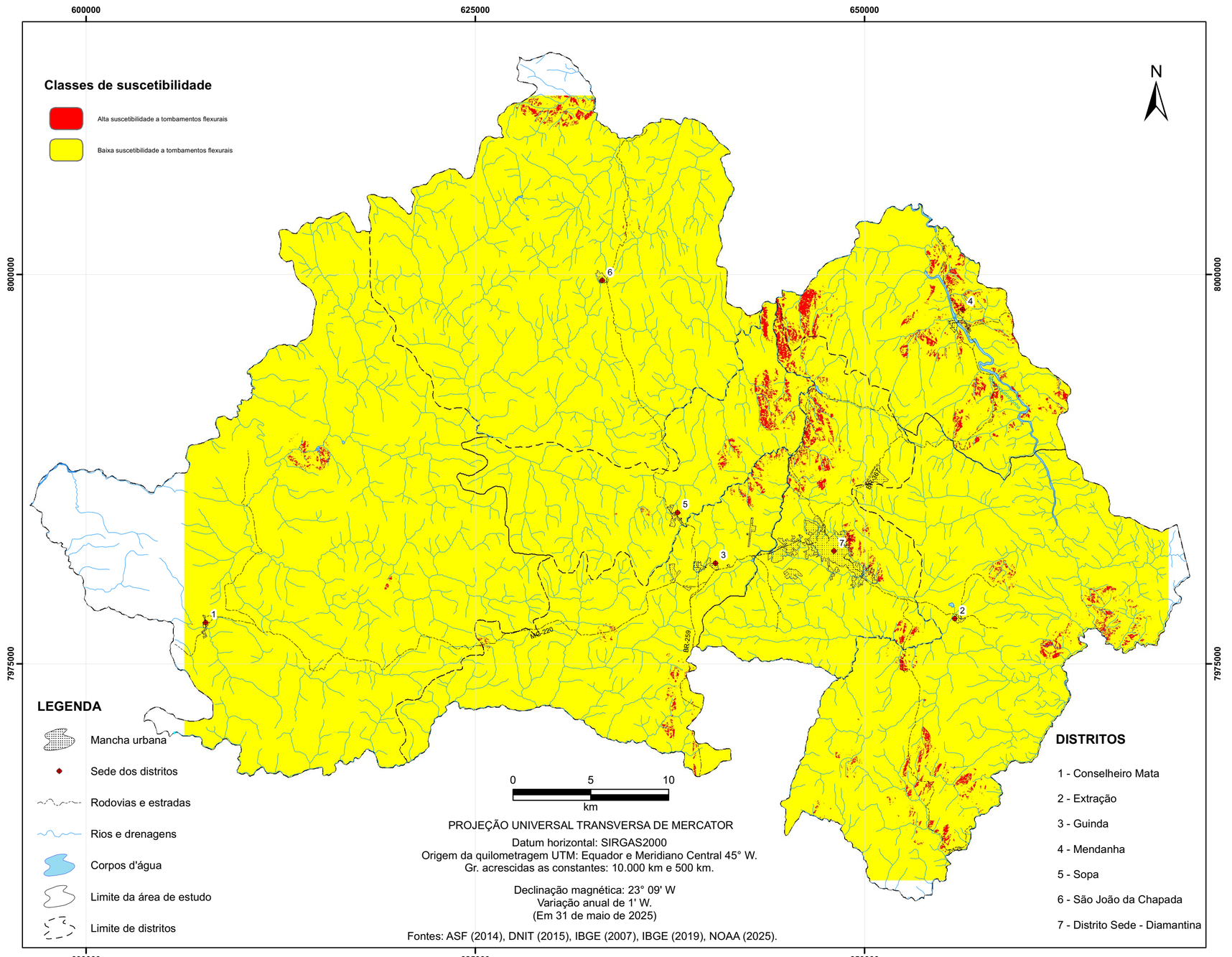




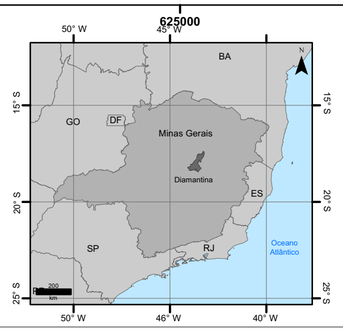
APÊNDICE D – Modelo cinemático para tombamentos flexurais

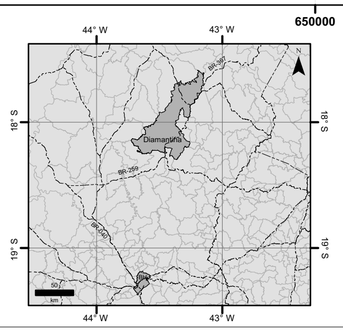
Modelagem cinemática para suscetibilidade a tombamentos flexurais

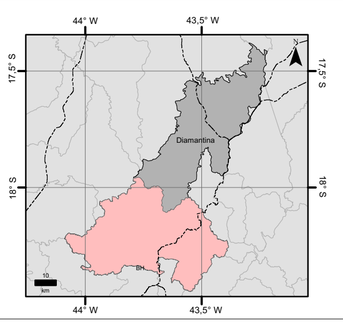






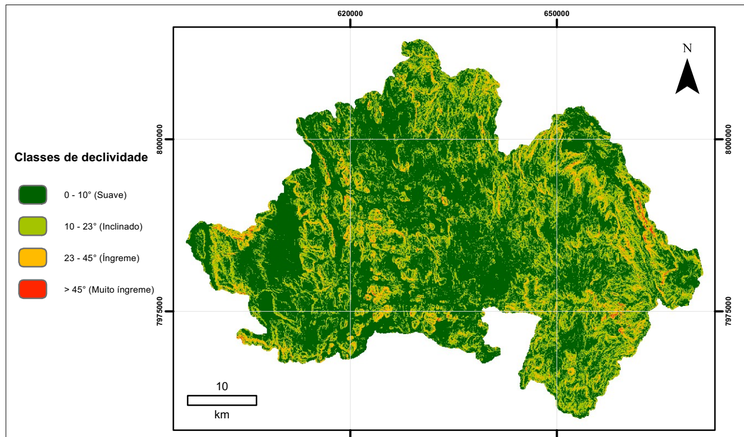






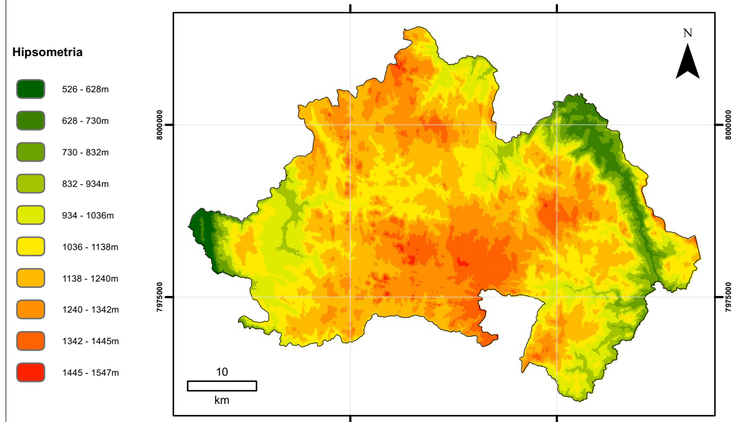
APÊNDICE E – Mapa geotécnico da porção sul do município de Diamantina, MG

Mapa geotécnico da porção sul do município de Diamantina



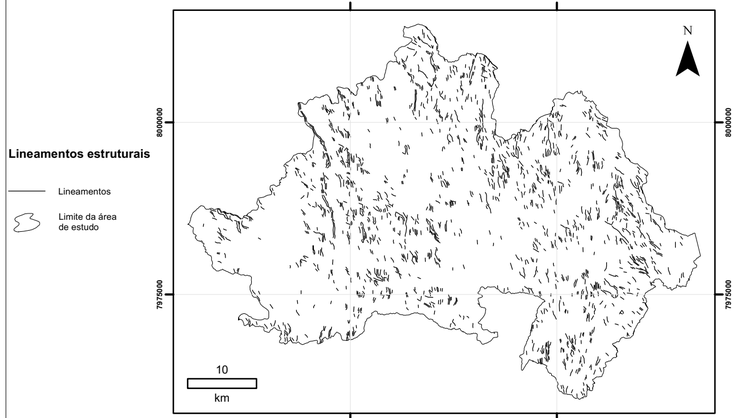
Classes de declividade

- 0 - 10° (Suave)
- 10 - 23° (Inclinado)
- 23 - 45° (Íngreme)
- > 45° (Muito íngreme)



Hipsometria

- 526 - 628m
- 628 - 730m
- 730 - 832m
- 832 - 934m
- 934 - 1036m
- 1036 - 1138m
- 1138 - 1240m
- 1240 - 1342m
- 1342 - 1445m
- 1445 - 1547m



Lineamentos estruturais

- Lineamentos
- Limite da área de estudo

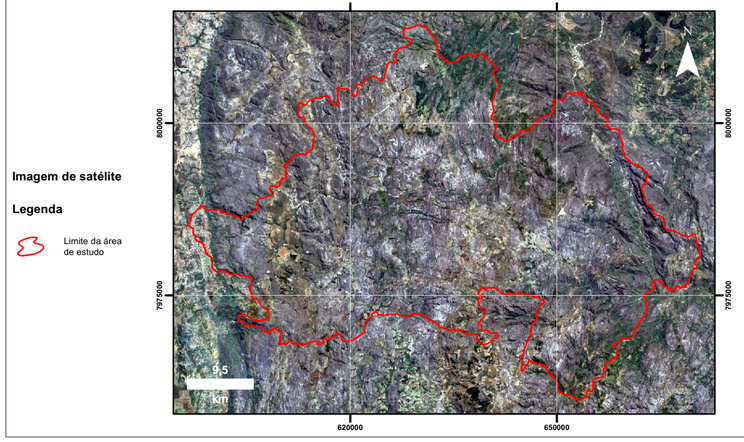
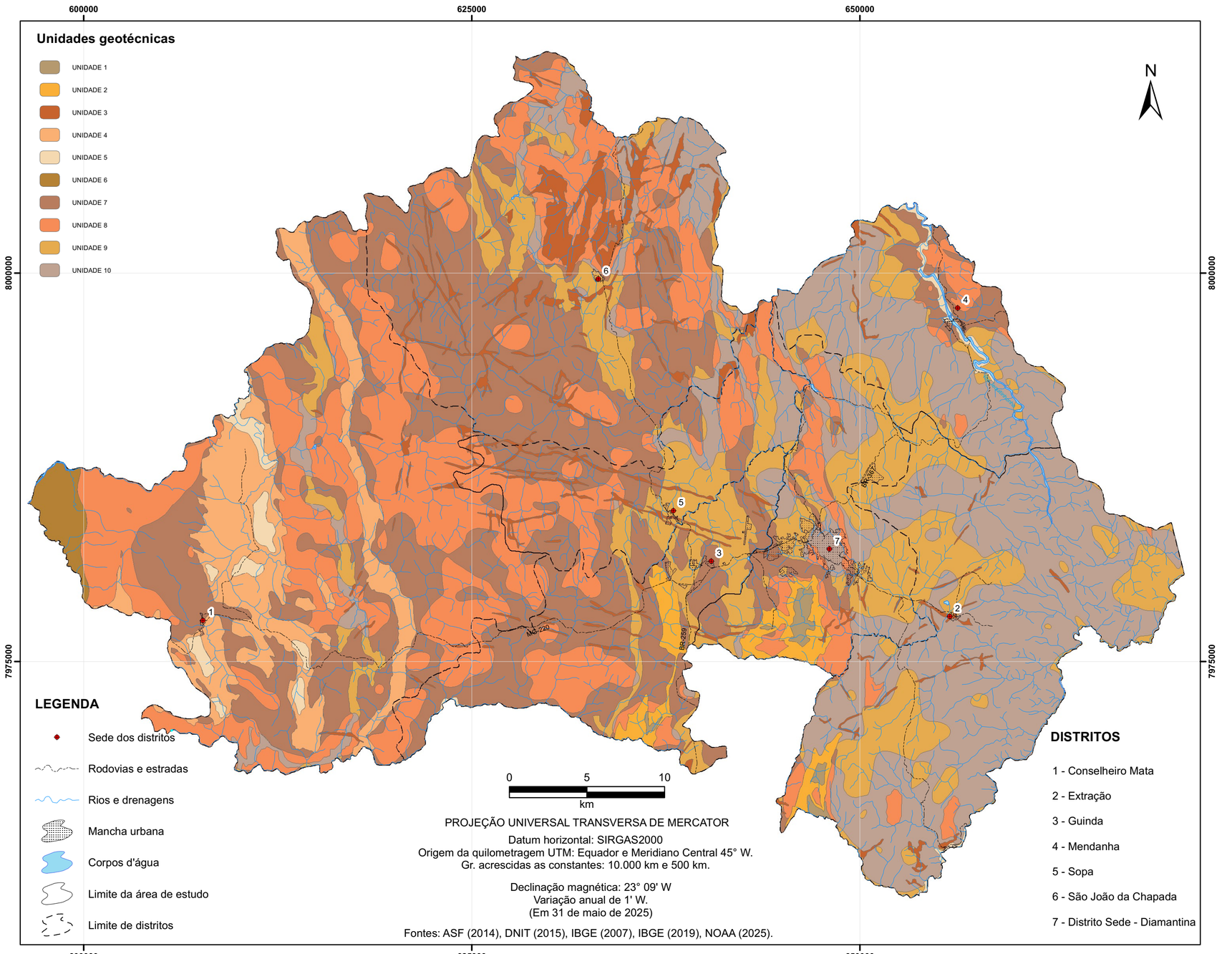


Imagem de satélite

Legenda

- Limite da área de estudo



Unidades geotécnicas

- UNIDADE 1
- UNIDADE 2
- UNIDADE 3
- UNIDADE 4
- UNIDADE 5
- UNIDADE 6
- UNIDADE 7
- UNIDADE 8
- UNIDADE 9
- UNIDADE 10

LEGENDA

- Sede dos distritos
- Rodovias e estradas
- Rios e drenagens
- Mancha urbana
- Corpos d'água
- Limite da área de estudo
- Limite de distritos

DISTRITOS

1. Conselheiro Mata
2. Extração
3. Guinda
4. Mendanha
5. Sopa
6. São João da Chapada
7. Distrito Sede - Diamantina

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Datum horizontal: SIRGAS2000

Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45° W.

Gr. acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km.

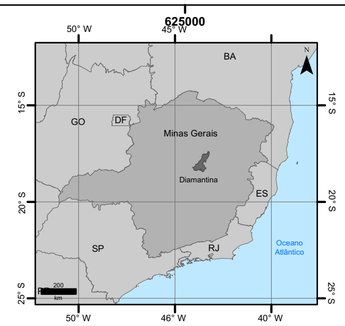
Declinação magnética: 23° 09' W

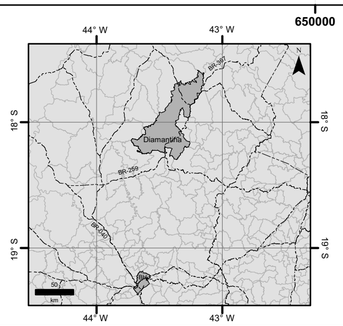
Variação anual de 1' W.

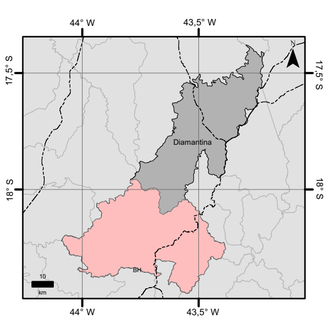
(Em 31 de maio de 2025)

Fontes: ASF (2014), DNIT (2015), IBGE (2007), IBGE (2019), NOAA (2025).



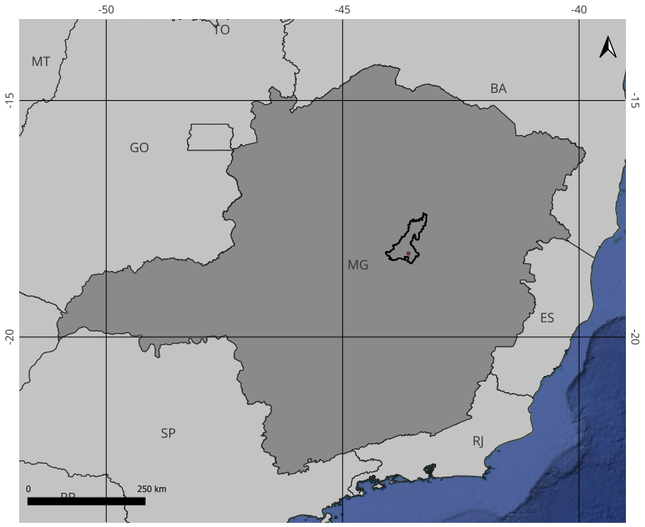


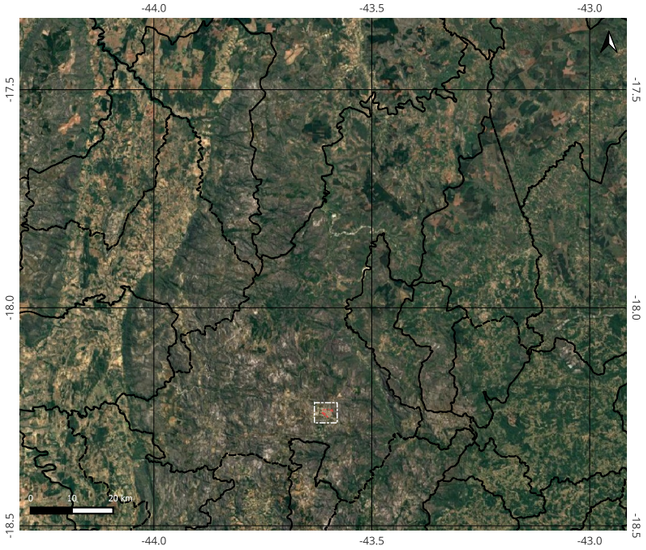




APÊNDICE F – Mapa índice de setores de risco geológico







CARTOGRAFIA DE RISCO GEOLÓGICO

DIAMANTINA - MG

JULHO/2025

Legenda

- Limites municipais
- Setores de risco geológico

Principais riscos geológicos identificados: deslicamentos, desplacamentos, rolamento, tombamento e queda de blocos.

Autor: Walter dos Reis Junior

APÊNDICE G – Pranchas e classificações de riscos geológicos

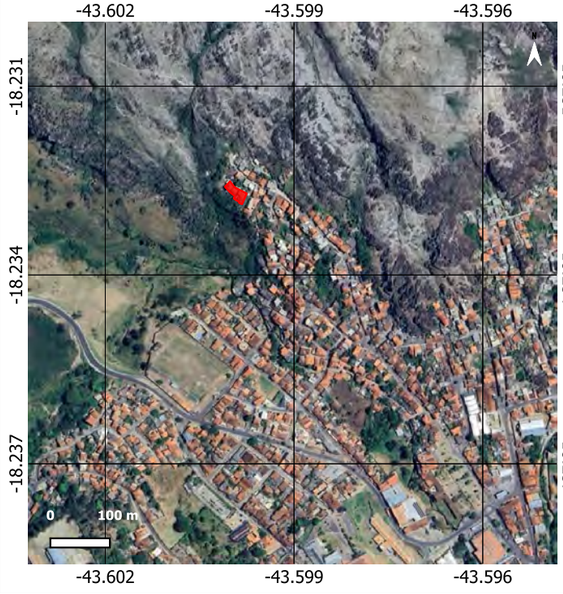


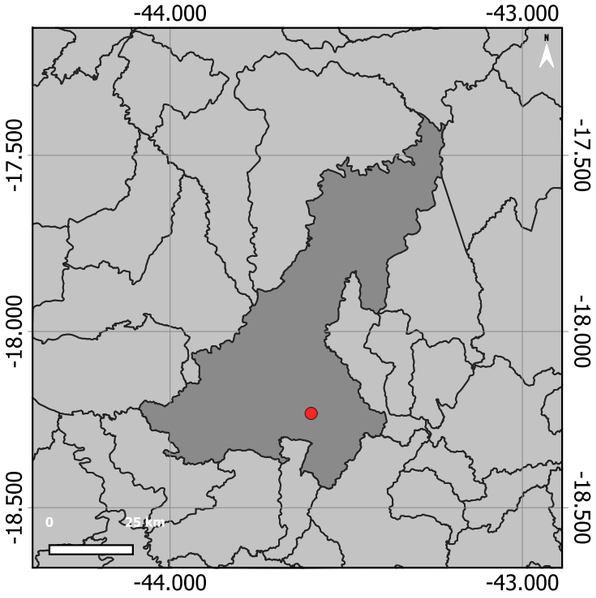












Setor 1

Rua Zeca Severino
Bairro Rio Grande

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Casas construídas à beira de encosta de elevada declividade e altura. As vertentes são sustentadas por blocos rochosos. Contudo, observa-se cobertura inconsolida composta por fragmentos de granulometrias variadas, plantação de bananeiras e lançamento de água servida. É possível notar grandes blocos rolados nas porções inferiores da vertente. Há possibilidade de queda de blocos e escorregamentos do material da cobertura inconsolidada afetando a base das construções e/ou risco de queda a depender no volume de material movimentado.

Sugestões:

(1) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(2) Proteção superficial;
(3) Identificação de blocos que possam estar em meio a vegetação;
(4) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção. Orienta-se a realização de estudos geológico-geotécnicos detalhados e orientação de profissionais qualificados.
(5) Controle dos indícios de movimentações na vertente (trincas, abatimento, inclinação de árvores e surgências de água);
(6) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 03/04/2025

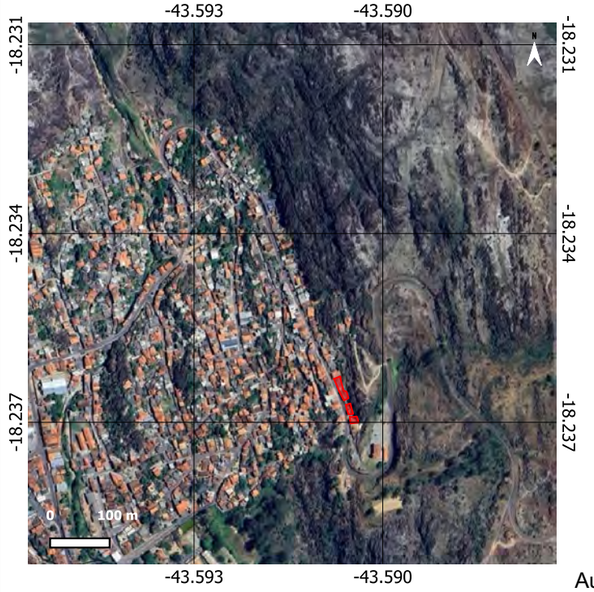






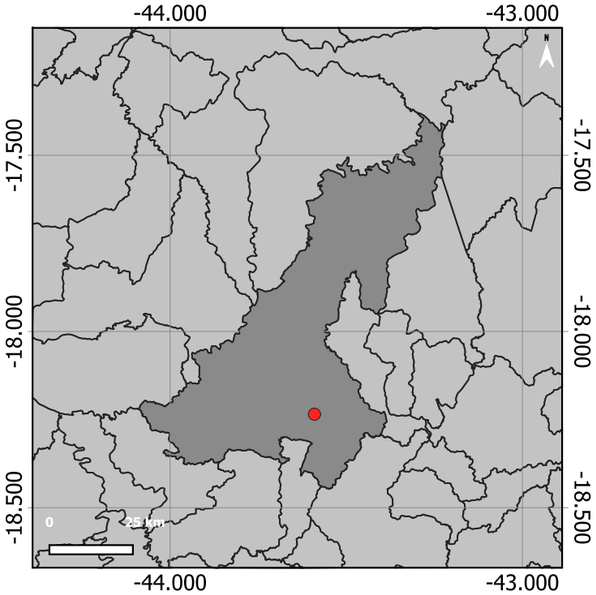






-43.593 -43.590

-44.000 -43.000



Setores 2, 3 e 4

Rua Salto da Divisa
Bairro Rio Grande

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Casas construídas em meia encosta, adjacentes a paredes rochosas muito fraturadas e com estruturas mergulhando em sentido contrário à vertente, sem cobertura superficial ou contenção. São descritos indícios de percolação de água e colonização vegetal nas descontinuidades. Observam-se lascas e blocos rochosos isolados e movimentados. Há possibilidade de desplamento, queda e tombamentos de blocos, que podem atingir as moradias. É relatada ocorrência de queda de blocos em áreas à montante.

Sugestões:

(1) Disciplinamento do fluxo superficial;
(2) Evitar a escavação ou modificação de morfologia da encosta;
(3) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção. Orienta-se a realização de estudos geológico-geotécnicos detalhados e orientação de profissionais qualificados.
(4) Contenção da vertente. Orientações similares ao item anterior.
(5) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(6) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

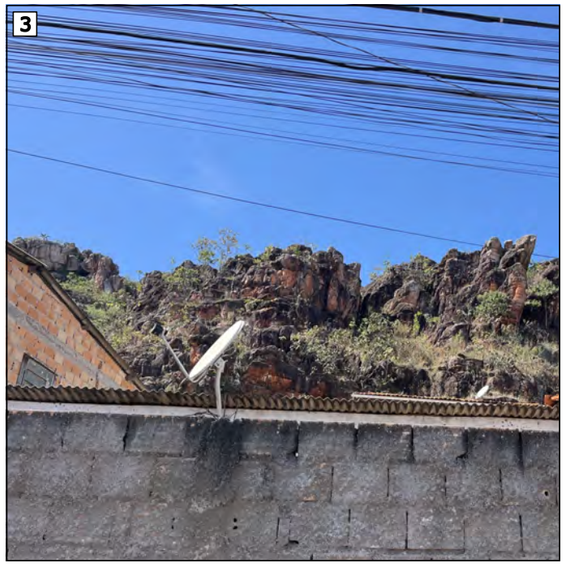
Autoria: Walter dos Reis Junior

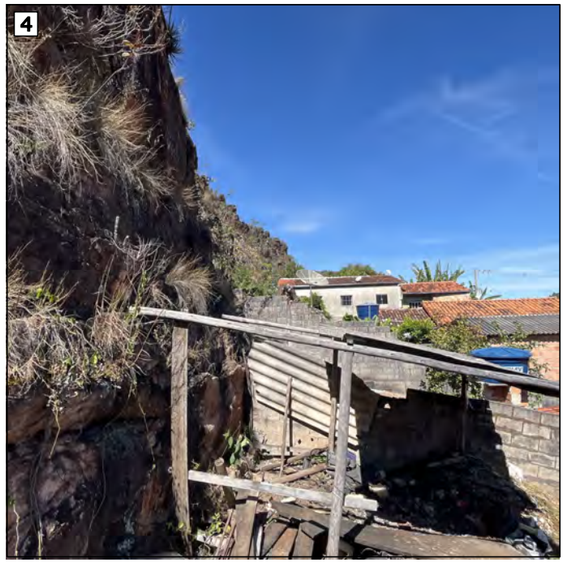
Data de vistoria: 03/04/2025

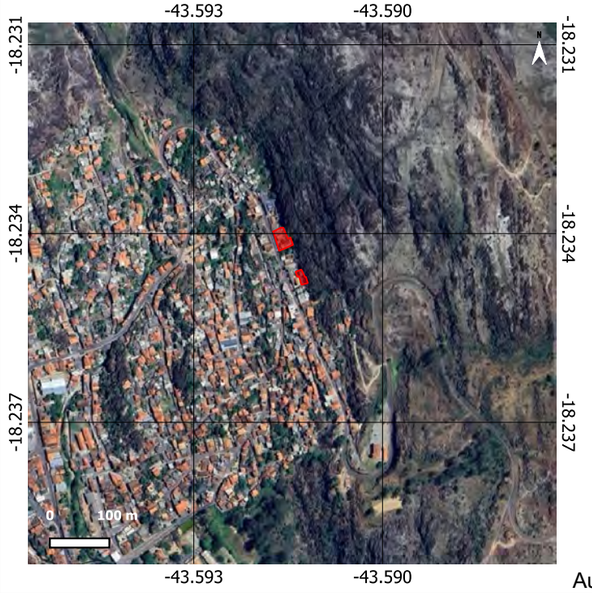












Setores 6 e 7

Rua Salto da Divisa
Bairro Rio Grande

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Casas construídas em meia encosta, adjacentes a paredes rochosas muito fraturadas e com estruturas mergulhando em sentido contrário à vertente, sem cobertura superficial ou contenção. São descritos indícios de percolação de água e colonização vegetal nas descontinuidades. Observam-se lascas e blocos rochosos isolados e movimentados, inclusive na base da vertente. Há possibilidade de rolamento, queda e tombamentos de blocos, que podem atingir as moradias.

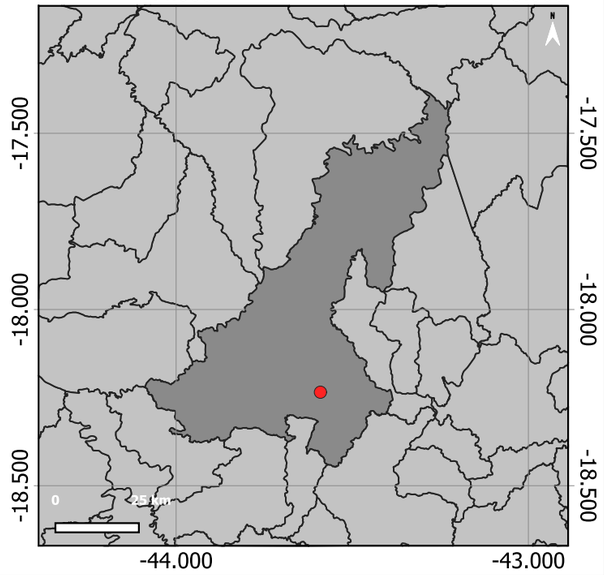
Sugestões:

(1) Disciplinamento do fluxo superficial;
(2) Evitar a escavação ou modificação de morfologia da encosta;
(3) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção. Orienta-se a realização de estudos geológico-geotécnicos detalhados e orientação de profissionais qualificados.
(4) Contenção da vertente. Orientações similares ao item anterior.
(5) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(6) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

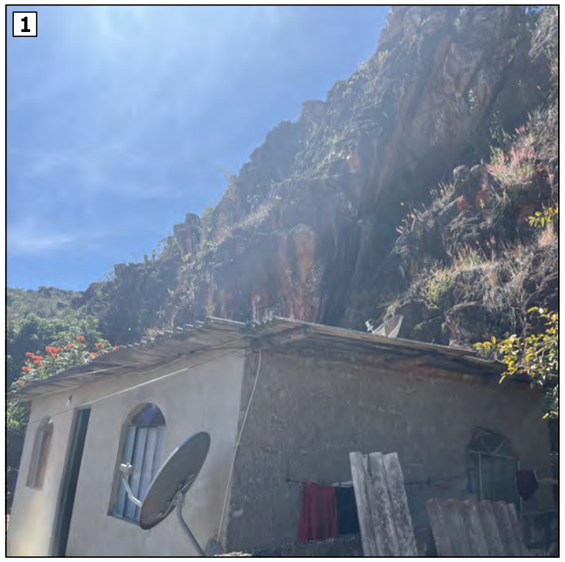
1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 03/04/2025

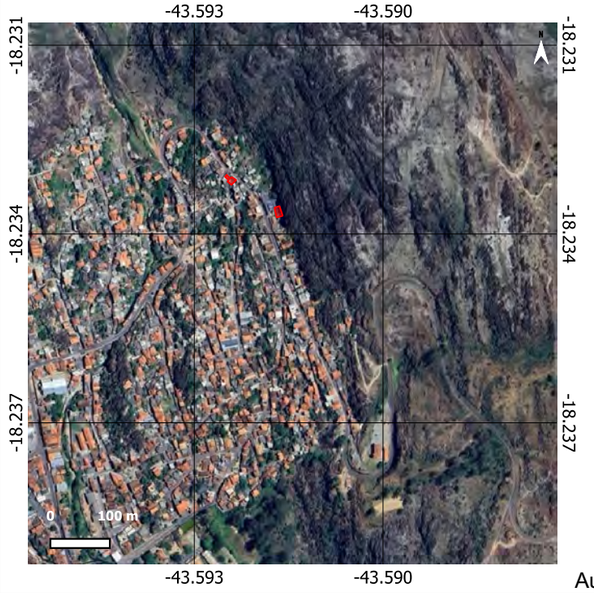












Setores 8 e 9

Rua Salto da Divisa
Bairro Rio Grande

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: (Setor 7) Casas construídas em meia encosta, adjacentes a paredes rochosas muito fraturadas e com estruturas mergulhando em sentido contrário à vertente, sem cobertura superficial ou contenção. São Observam-se lascas e blocos rochosos isolados e movimentados, inclusive na base da vertente. Há possibilidade de rolamento, queda e tombamentos de blocos. (Setor 8) Moradia edificada abaixo do nível da rua, muito próxima a corte de encosta de elevelada declividade, composta por blocos e solo arenoso. Risco de deslizamento.

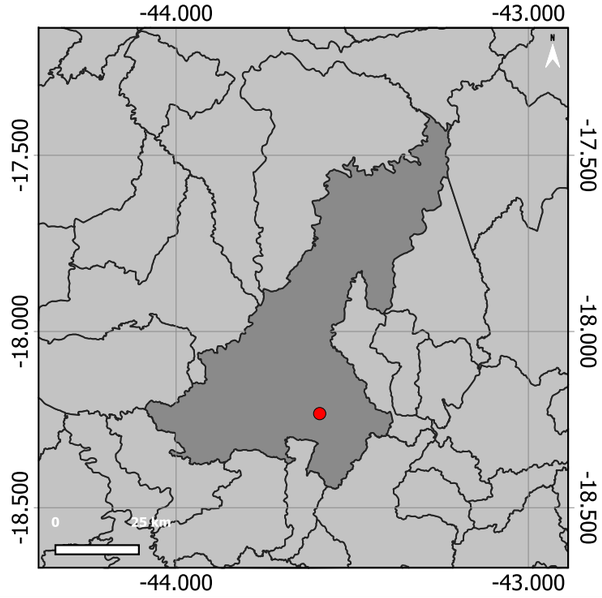
Sugestões:

(1) Disciplinamento do fluxo superficial;
(2) Evitar a escavação ou modificação de morfologia da encosta;
(3) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção. Orienta-se a realização de estudos geológico-geotécnicos detalhados e orientação de profissionais qualificados.
(4) Contenção da vertente;
(5) Proteção superficial.
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 03/04/2025

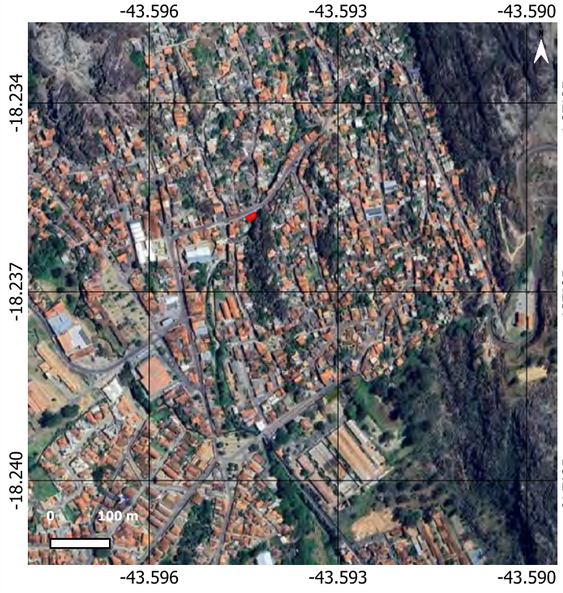












Setores 10 e 11

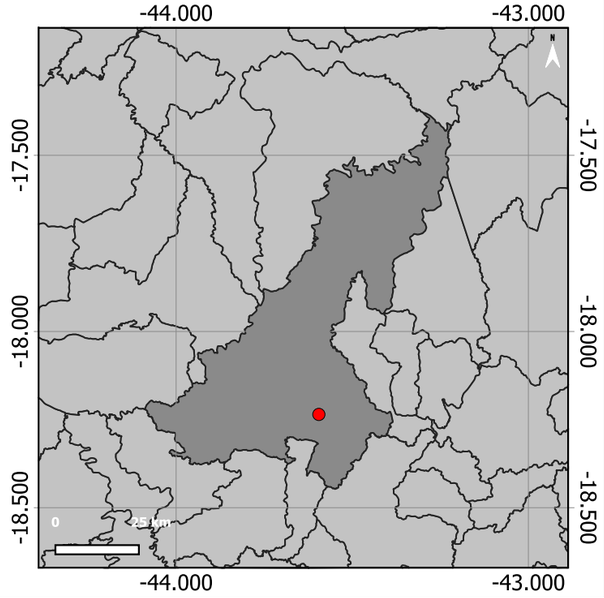
Rua Salto da Divisa
Bairro Rio Grande

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: (Setor 9) Moradia ao lado de drenagem e adjacente a verdente de elevada declividade. As estruturas mergulham contrariamente a encosta, formando lapas que podem tombar sobre a residência. (Setor 10) Residências adjacentes a vertente, cujas estruturas principais mergulham contrariamente a sua orientação. Formam-se lascas rochosas inclinadas que podem tombar, atingindo as residências.

Sugestões:

(1) Manutenção da morfologia da encosta;
(2) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção. Orienta-se a realização de estudos geológico-geotécnicos detalhados e orientação de profissionais qualificados.
(3) Contenção da vertente;
(4) Acompanhamento de indícios de movimentação de lascas rochosas, como aumento da abertura de descontinuidades, surgência de água, delimitação de novos blocos.
(5) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.



LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 04/04/2025

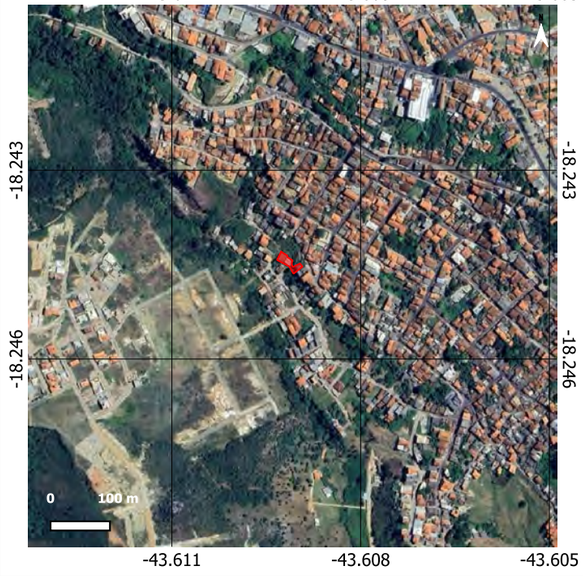


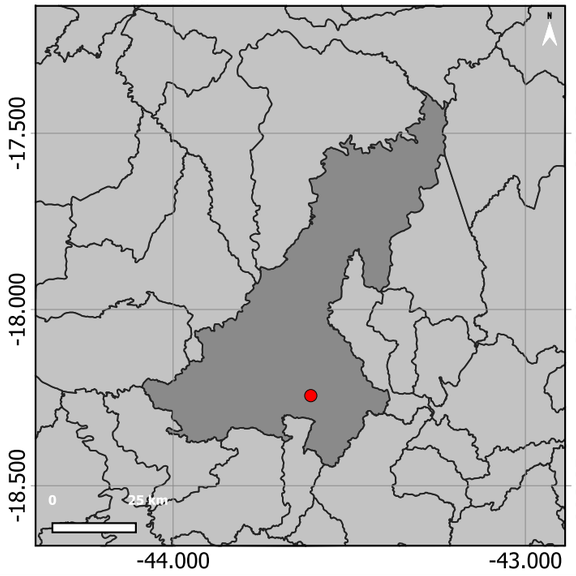












Setor 12

Rua do Cativo
Bairro Vila Operária

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Casas construídas em meia encosta, algumas djacentes a parede rochosa, muito fraturada, e outras em sua crista. Observam-se bananeiras, colonização vegetal, blocos rolados abaixo da residência. Há risco de queda e atingimento das moradias no setor. Morador relata rolamento de blocos rochosos nas adjacências. Há possibilidade de rolamento e queda de blocos.

Sugestões:

(1) Disciplinamento do fluxo superficial;
(2) Identificação de blocos rochosos que possam estar em meio da vegetaçaão.
(3) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção. Orienta-se a realização de estudos geológico-geotécnicos detalhados e orientação de profissionais qualificados.
(4)
(5) Proteção superficial.
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
Indicação de setor

Fonte: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 07/04/2025Data de vistoria: 07/04/2025

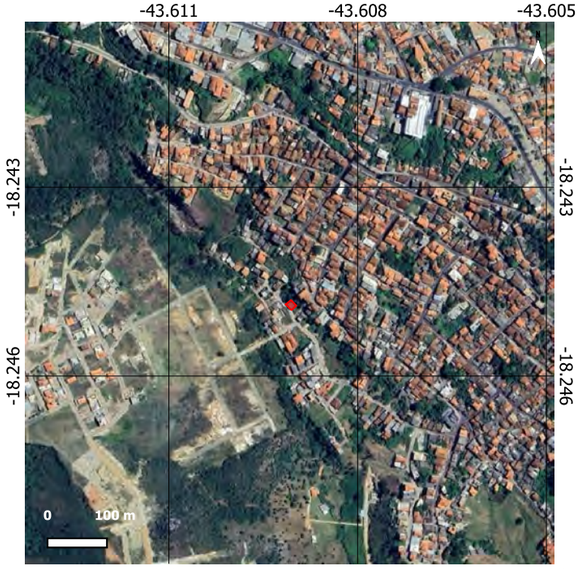












Setor 13

Rua do Cativo
Bairro Vila Operária

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Moradia edificada em talude de corte verticalizado em encosta composta por rochas bastante fraturadas. Há risco de atingimento pela deflagração de queda de blocos.

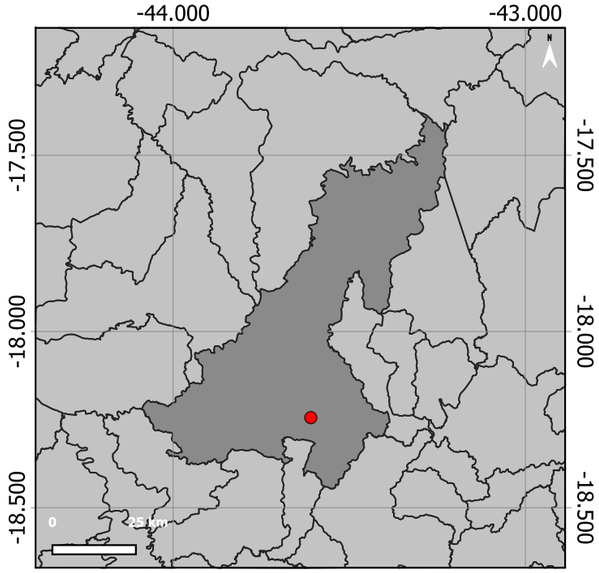
Sugestões:

(1) Disciplinamento do fluxo superficial;
(2) Identificação de blocos rochosos que possam estar em meio da vegetaçaão.
(3) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção. Orienta-se a realização de estudos geológico-geotécnicos detalhados e orientação de profissionais qualificados.
(4) Proteção superficial.
(5) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(6) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 07/04/2025



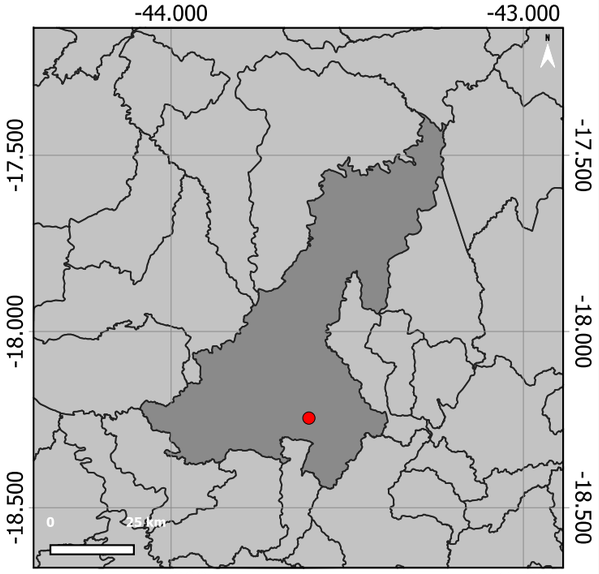












Setores 14 e 15

Rua do Cativo
Bairro Vila Operária

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Edificações construídas em vertente de elevada declividade. A encosta constituí-se por rochas bastante fraturadas com cobertura de material inconsolidado e fragmentos rochosos. Observa-se movimentação de blocos, bananeiras, surgência de água na base dos taludes naturais, além de lançamento de esgoto e drenagem mal dimensionada e danificada. Há risco de queda e rolamento de blocos, que desestabilizar a base das edificações, causando danos às residências.

Sugestões:

(1) Disciplinamento do fluxo superficial;
(2) Recuperação da rede de drenagem e canalização de esgoto.
(3) Identificação de blocos rochosos que possam estar em meio da vegetaçaão.
(4) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção. Orienta-se a realização de estudos geológico-geotécnicos detalhados e orientação de profissionais qualificados.
(5) Proteção superficial.
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 07/04/2025

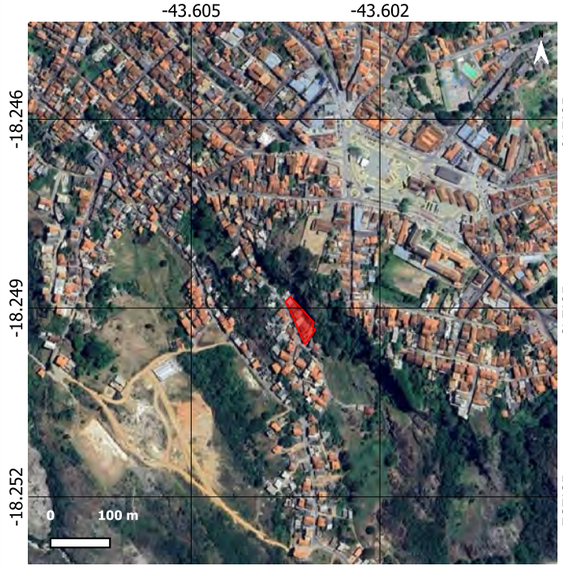












Setor 16

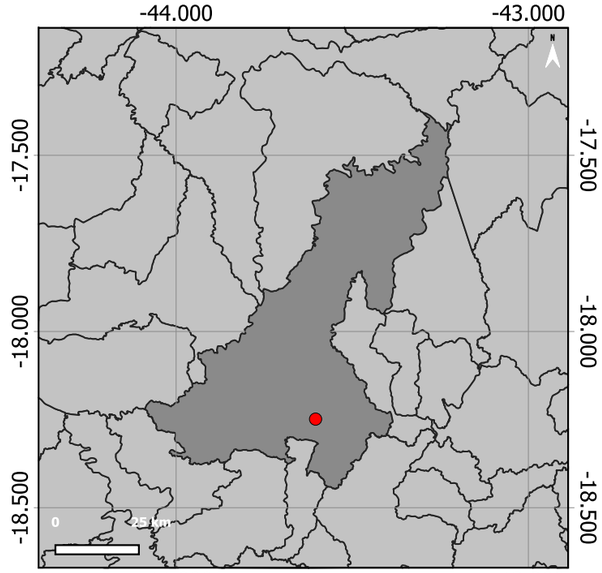
Rua Francisco Lourença Machado
Bairro Prata

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Casas construídas em área adjacente a paredão rochoso verticalizado, bastante fraturado. Há risco de atingimento caso ocorra desprendimento de blocos do maciço rochoso. Nota-se indícios de percolação de água, colonização vegetal e blocos delimitados por sistemas de descontinuidades.

Sugestões:

(1) Manutenção da morfologia da encosta;
(2) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção. Orienta-se a realização de estudos geológico-geotécnicos detalhados e orientação de profissionais qualificados.
(3) Contenção da vertente;
(4) Acompanhamento de indícios de movimentação de lascas rochosas, como aumento da abertura de descontinuidades, surgência de água, delimitação de novos blocos.
(5) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.



LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 12/04/2025

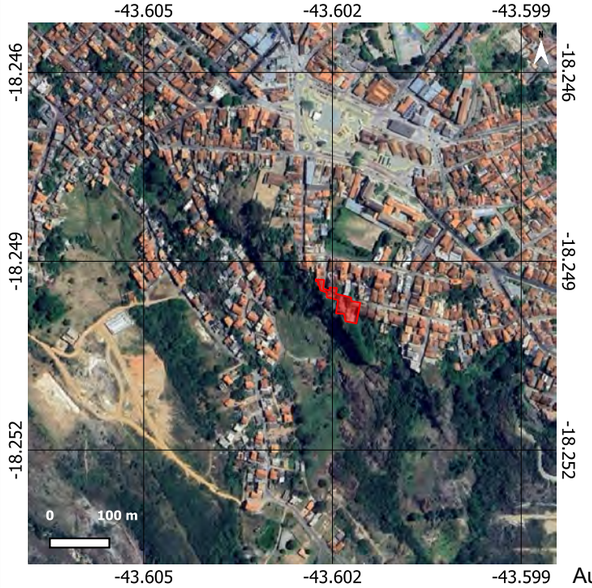


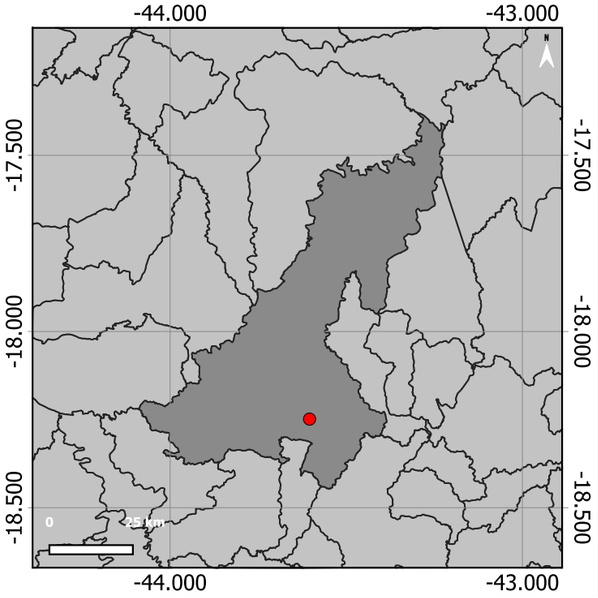












Setor 17

Rua Vereador Gustavo Botelho
Bairro Sagrado Coração de Jesus

Grau de risco geológico: MUITO ALTO

Descrição: edificações na crista de vertente rochosa muito íngreme. As construções têm suas fundações diretas nas rochas ou em aterros. Nessa área há evidentes indícios de movimentação do terreno (deformação de estruturas rígidas). Na porção próxima a rua Profa. Darcília Godói é possível notar intensa surgência de água em fraturas e leve abatimento de solo (pequenas trincas). Morador relata queda de blocos de grandes dimensões e ruptura parcial da estrutura de um dos aterros.

Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para avaliação da estabilidade de blocos e das fundações e aterros sobre eles instalados;
(2) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção;
(3) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno, como aumento da abertura de descontinuidades, trincas, abatimentos;
(4) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(5) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
17 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria:12/04/2025

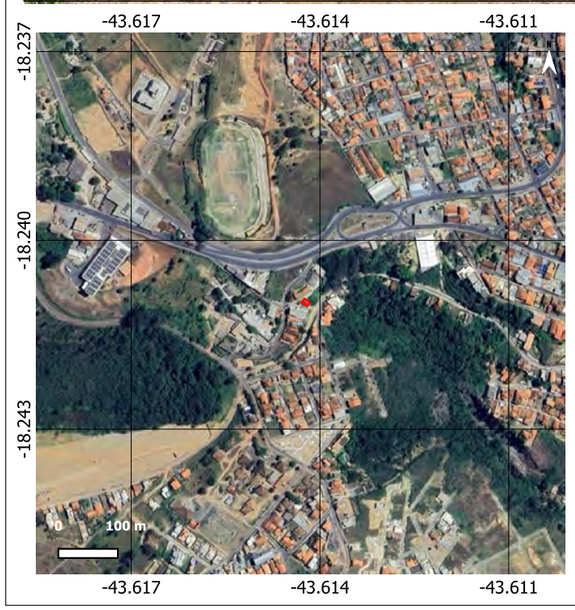












Setor 18

Rua das Bicas
Bairro Serrano

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: moradia bem próxima a crista de vertente composta por solo e material inconsolidado (aterro). Observa-se presença de bananeiras, encanamento danificado, processos erosivos e escorregamento circular ativo. Nessa porção movimentos de massa, como escorregamentos e rastejos são recorrentes. É relatado que boa parte do material que constitui a vertente adjcente corresponde a material lançando de aberturas de ruas e outras escavações. A edificação está submetido a risco de queda.

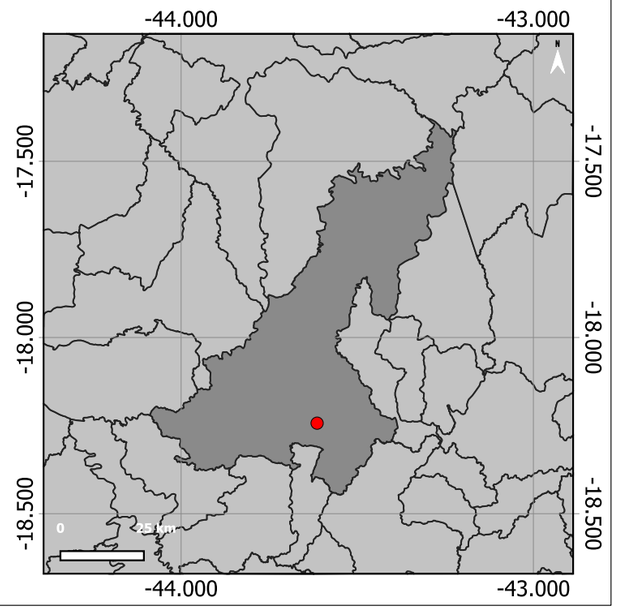
Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(4) Proteção superficial;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (trincas, abatimentos, inclinação de árvores);
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 18/04/2025





646575



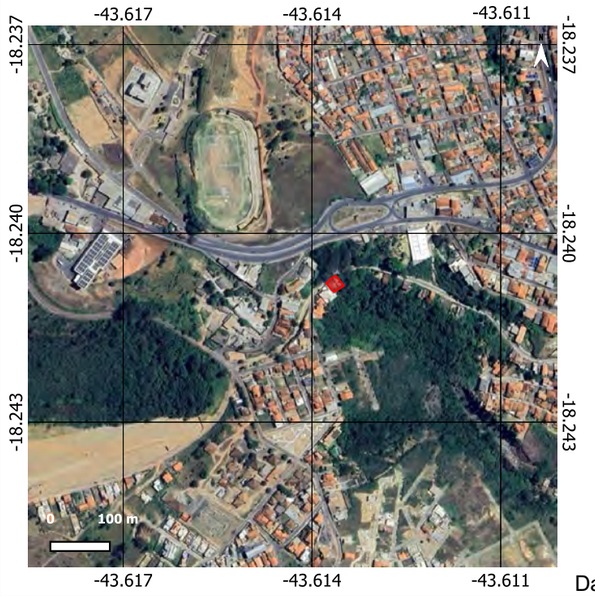




7982550

646575

Autoria: Walter dos Reis Junior



Setor 17

Rua São João Evagelista Rocha
Bairro Vila Arraiolo

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: edificação na posição intermediária de vertente de elevada declividade. A encosta apresenta cobertura de material lançado inconsolidado (aterro), de diferentes granulometrias. São evidentes os indícios de rastejo, que se desenvolve durante por anos. Nota-se, ainda, ampla ocorrência de bananeiras, corresponde a uma área de concentração de fluxo pluvial. Há elevada possibilidade de que a movimentação do terreno desestabilize a base da construição. Observa-se a utilização de lona para impermealização de uma porção do terreno,

Data de vistoria: 18/04/2025

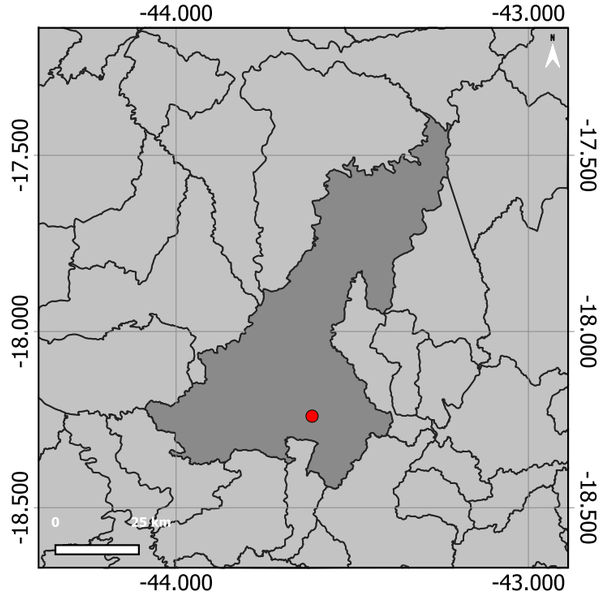
Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(4) Proteção superficial;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (trincas, abatimentos, inclinação de árvores);
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
17 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



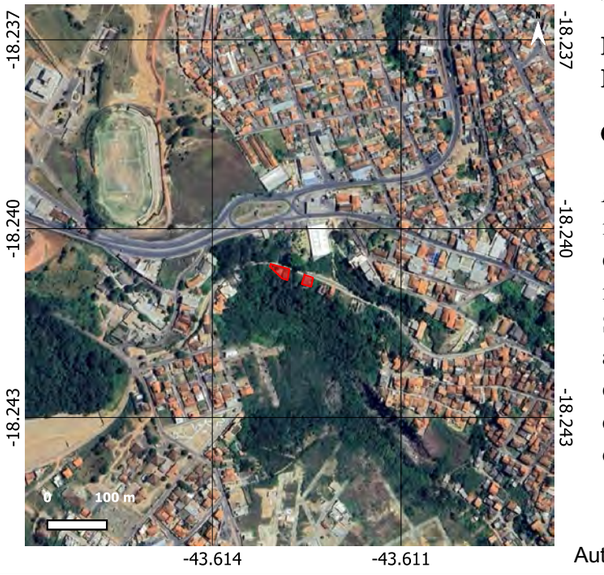












Setores 20 e 21

Rua São João Evagelista Rocha
Bairro Vila Arraiolo

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: moradias construídas na posição intermediária de vertente de elevada declividade. A encosta apresenta cobertura de material lançado inconsolidado (aterro), de diferentes granulometrias. São evidentes os indícios de rastejo. Nota-se, ainda, ampla ocorrência de bananeiras e cicatriz de escorregamento circular. Há elevada possibilidade de que a movimentação do terreno desestabilize a base das residências.

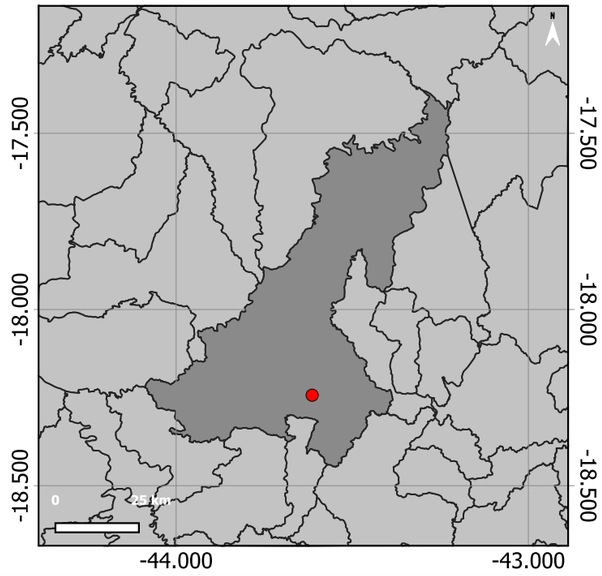
Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(4) Proteção superficial;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (trincas, abatimentos, inclinação de árvores);
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 18/04/2025

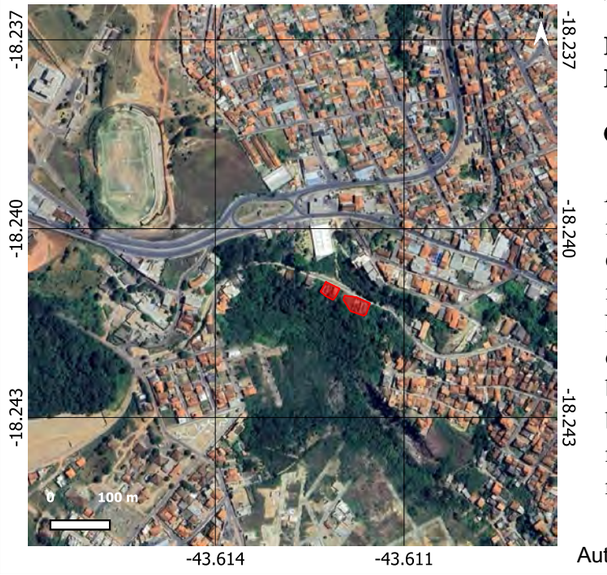


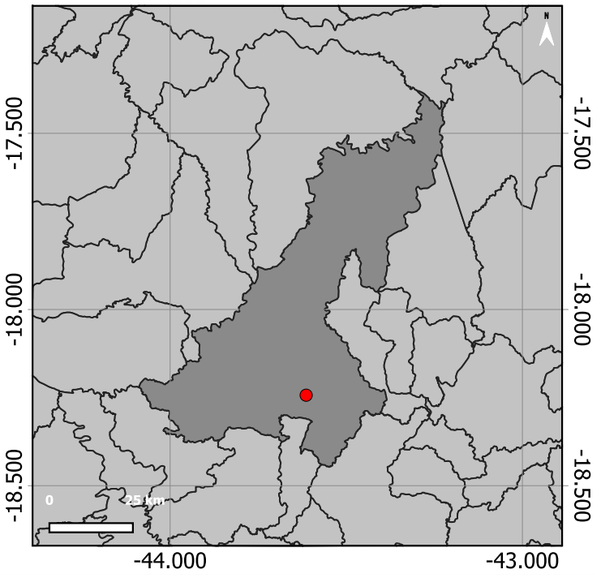












Setores 22 e 23

Rua São João Evagelista Rocha
Bairro Vila Arraiolo

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: moradias construídas na posição intermediária de vertente de elevada declividade. A encosta apresenta cobertura de material lançado inconsolidado (aterro), de diferentes granulometrias. Na vertente são observados diveros blocos rochosos de grandes dimensões. Nota-se, ampla ocorrência de bananeiras, porções sem proteção superficial e blocos rolados. Há elevada possibilidade de que a movimentação do terreno desestabilize a base das residências.

Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(4) Proteção superficial;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (trincas, abatimentos, inclinação de árvores);
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 18/04/2025



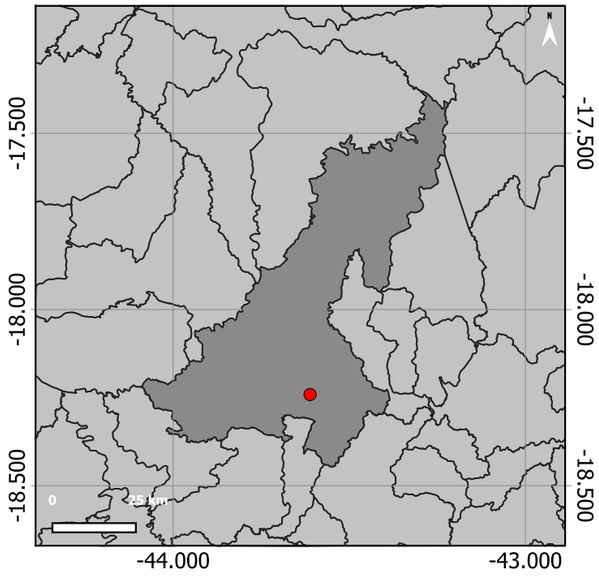












Setor 24

Rua São João Evagelista Rocha
Bairro Vila Operária

Grau de risco geológico: MUITO ALTO

Descrição: edificação na posição intermediária de vertente de elevada declividade. A encosta apresenta cobertura de material lançado inconsolidado (aterro), de diferentes granulometrias. Observa-se cicatriz de escorregamento circular muito próxima a moradia e outros indícios de movimentação como trincas e estruturas tortas. Há registro de desabamento parcial da residência devido a pretérita movimentação. As obras executadas de contenção são mal executadas. Há risco de ruptura brusca e, consequente, desabamento da residência.

Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(4) Proteção superficial;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (trincas, abatimentos, inclinação de árvores);
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 18/04/2025



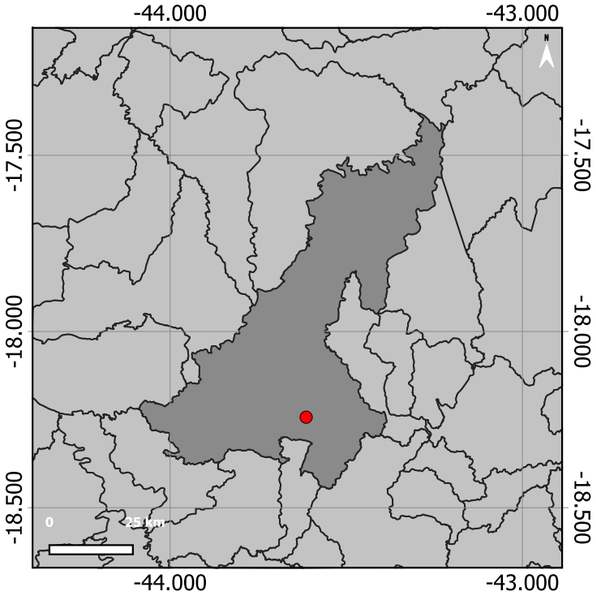












647025 Data de vistoria: 25/04/2025 647100 Autoria: Walter dos Reis Junior

Setores 23 e 24

Rua São João Evagelista Rocha
Bairro Vila Operária

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: (Setor 23) construções na base de talude de corte verticalizado, sem estruturas de contenção. A encosta é composta rochas fraturadas e solo. Nota-se bastante colonização vetegal e percolação de água. Há risco de atingimento em caso de deflagração de movimentos de massa, que são comuns nessa vertente. (Setor 24) Residência edificada em meia encosta, contudo, na vertente à montante observa-se muro de contenção. Na vertente a jusante é possível observador cicatrizes de escorregamentos e processos erosivos. Nota-se, também, sinais de movimentação do terreno. A moradia corre risco de queda.

Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(4) Proteção superficial;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (trincas, abatimentos, inclinação de árvores);
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

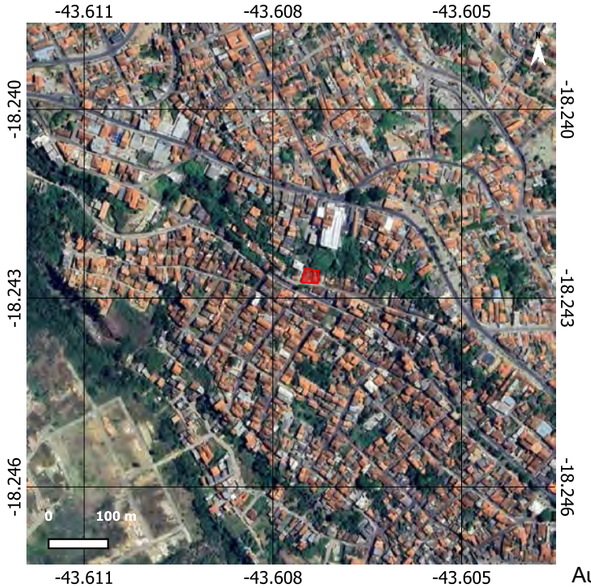












Setor 27

Rua São João Evagelista Rocha
Bairro Vila Arraiolo

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: moradias na base de talude de corte e composto por solos e rochas muito intemperizadas. Embora o talude não seja muito alto, encontra-se muito instável. Pequena residência, a montante, com elevada possibilidade de queda. Há latentes indícios de instabilidade (cicatrizes de escorregamento e colapso de estruturas).

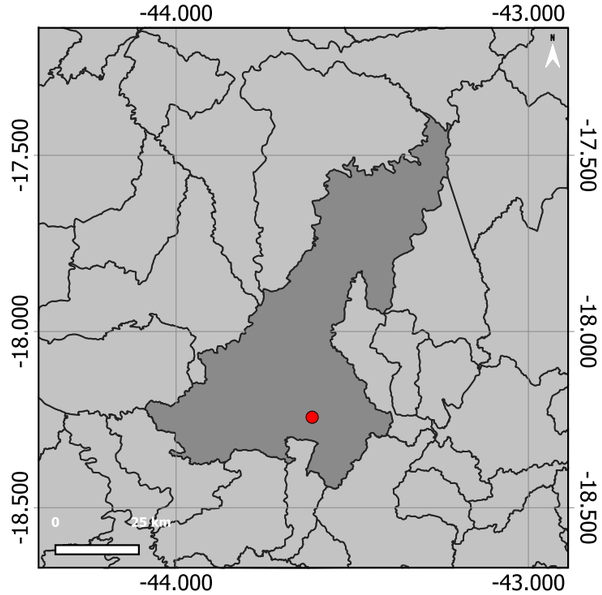
Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção;
(3) Desmonte da moradia já colapsada;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(4) Proteção superficial;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (trincas, abatimentos)
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 25/04/2025













Setor 28

Rua da Abolição
Bairro Bela Vista

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: moradias em topo de morro, adjacentes a cortes íngremes. Observam-se cicatrizes de deslizamentos de material misto (quartzito e fragmentos de rocha). Morador relata ocorrência de escorregamento que atingiu a residência. Não há nenhum tipo de estrutura de contenção ou cobertura superficial. Possibilidade de atingimento em caso de reativação do processo geodinâmico.

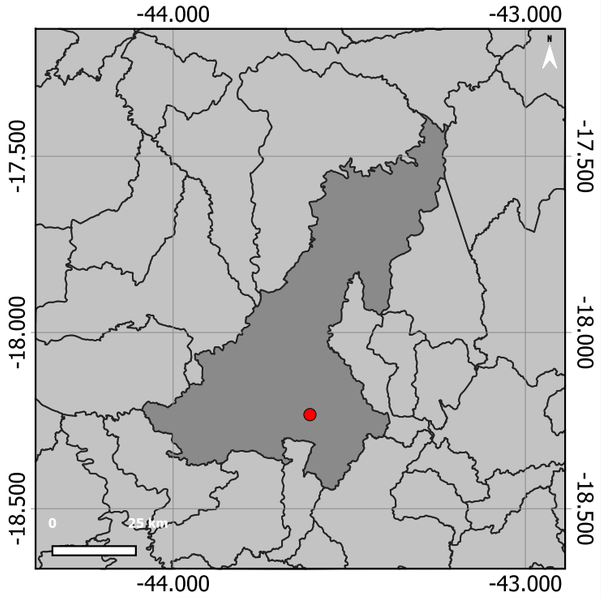
Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção para estabilização do talude;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(4) Proteção superficial;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (formação de novos depósitos sedimentares no pé do talude);
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Setor de risco geológico
Sentido de movimentação
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 26/04/2025

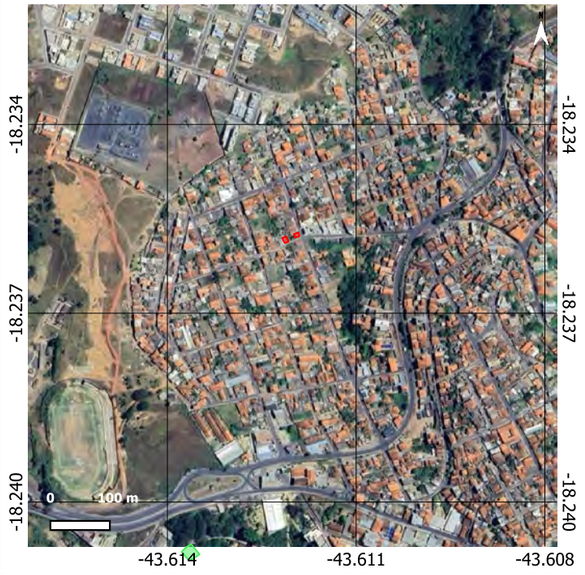


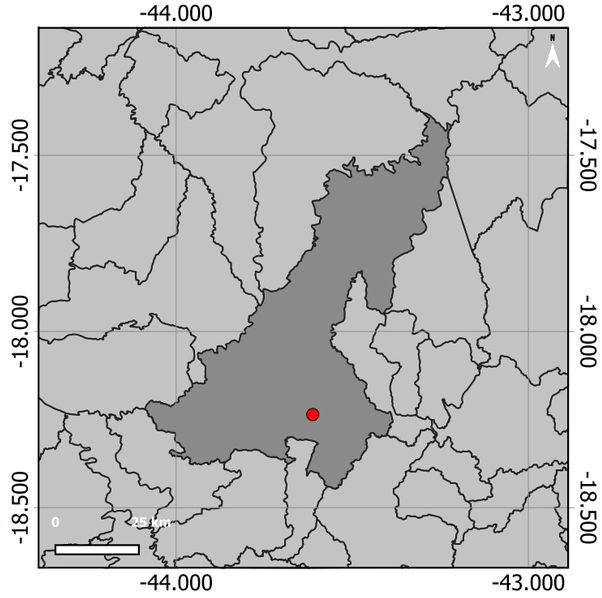












Setores 29 e 30

Rua São Paulo
Bairro Bela Vista

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: (Setor 26) residência na base de vertente, quase justaposta a encosta. Observa-se movimentação de solo areno-argiloso. Risco de atingimento em casa de deflagração de escorregamento. Há indícios de estabilidade na crista da encosta e movimentação. (Setor 27) Há possibilidade de queda e desestabilização da base da moradia com a ocorrência de deslizamento de solo.

Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção para estabilização do talude;
(3) Proteção superficial;
(4) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (formação de novos depósitos sedimentares no pé do talude);
(5) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(6) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 26/04/2025













Setor 31

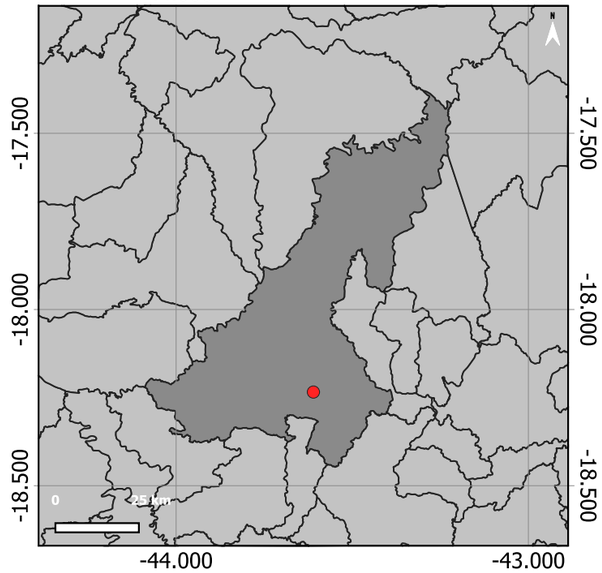
Rua Mil Oitavas
Bairro Bela Vista

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Edificação a beira de córrego. Observa-se bananeiras na margem e indícios de abatimento (trincas). É relatada a ocorrência de movimentação de massa, com consequente colapso da estrutura.

Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica das margens do córrego;
(2) Obra de contenção para estabilização da margem;
(4) Proteção superficial da margem do córrego;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (trinchas e abatimentos);
(6) Disciplinamento da ocupação das margens de córregos com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.



LEGENDA

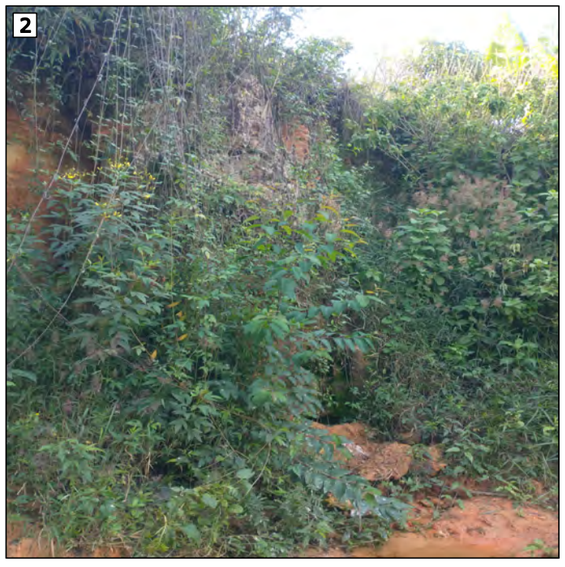
1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 21/03/2025













Setor 32

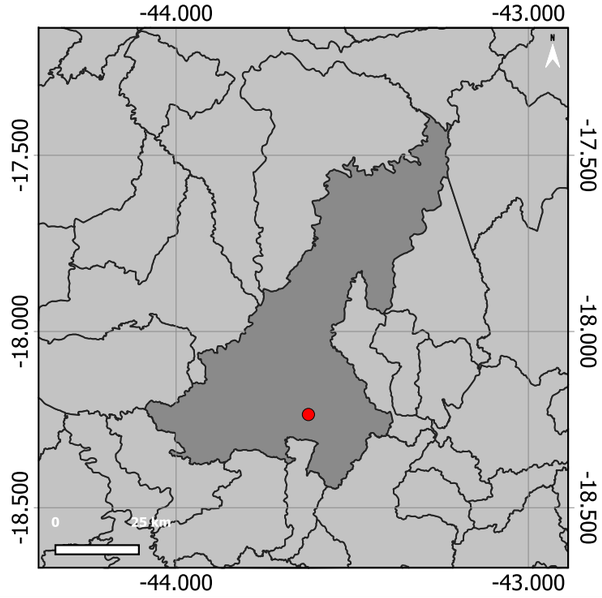
Ocupação Vitória
Bairro Cazuza

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Moradia muito próxima a crista de talude de corte Observa-se cicatriz de escorregamento e queda de blocos de quartzito neste talude verticalizado. Nas adjacências, há surgência de água na base do corte, na porção onde predomina rochas. Também, nota-se intensa colonização vegetal e reativação do processo geodinâmico em períodos chuvosos.

Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para análise de sua estabilidade;
(2) Obra de contenção para estabilização do talude;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial na encosta;
(5) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno (trincas, abatimentos e depósitos de material mobilizado na base do talude);
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.



LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)

Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 21/05/2025













Setores 33 e 34

Rua A
Bairro Vila Operária

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: Moradias na crista de encosta bastante íngreme. A vertente é composta rochas muito fraturadas, contudo observa-se cobertura inconsolidada com fragmentos quartzosos de granulometria variada. Nota-se indícios de moviementação da cobertura, a área apresenta elevada suscetibilidade a quedas de blocos. Edificações instaladas sobre pilares diretamente sobre blocos rochosos. Há risco de queda caso o processo geodinâmico seja deflagrado.

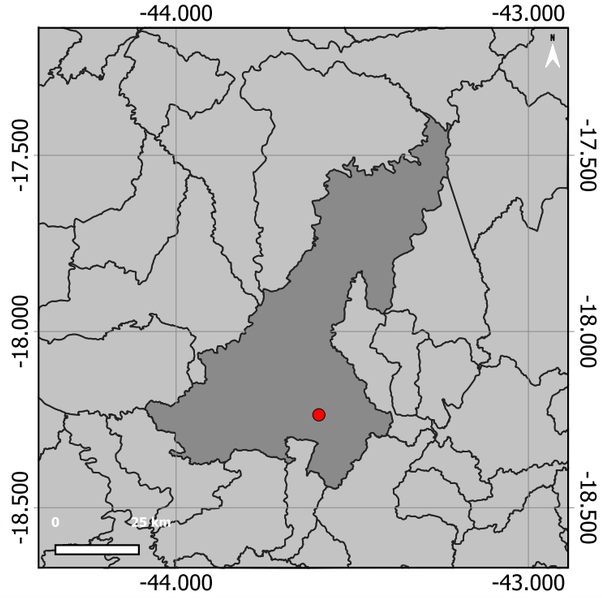
Sugestões:

(1) Avaliação geotécnica da encosta, sobretudo na porção próxima a crista, para avaliação da estabilidade de blocos e das fundações sobre eles instalados;
(2) Remoção ou escoramento de blocos destacados na encosta, por meio de obra de contenção;
(3) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno, como aumento da abertura de descontinuidades, trincas, abatimentos;
(4) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(5) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



Autoria: Walter dos Reis Junior

Data de vistoria: 14/05/2025

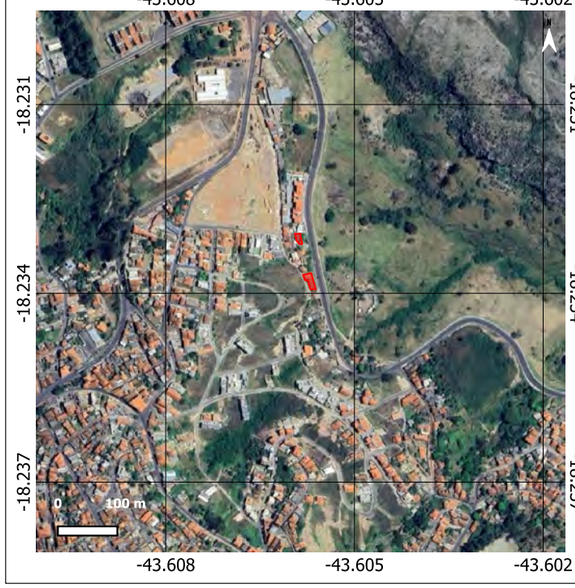












Setores 35 e 36

Rua Barão de Paraúna
Bairro Horto Florestal

Grau de risco geológico: ALTO

Descrição: (Setor 35) Edificações próximas a crista de talude de corte vertizzalido. A encosta é composta por rochas em variados estados de alteração. O talude encontra-se sem proteção superficial, canalização danificada e indícios de movimentação superficial. (Setor 36) Moradias em crista de encosta bastante íngreme. A vertente é predominantemente rochosa e muito fraturadas, porém, observa-se cobertura inconsolidada com fragmentos quartzosos de granulometria variada. As descontinuidades nos dois setores estão desconfinadas e caso ocorra movimentação de massa, há risco de queda das residências.

Data de vistoria: 15/05/2025

Sugestões:

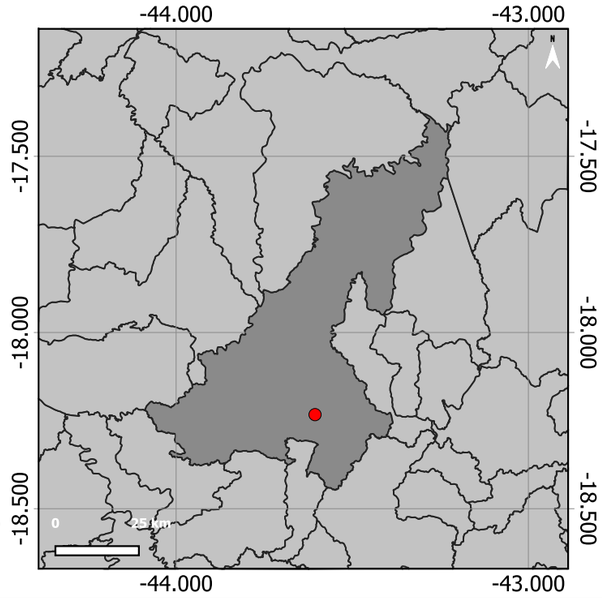
(1) Avaliação geotécnica da encosta,, para avaliação da estabilidade do talude;
(2) Proteção superficial;
(3) Disciplinamento do fluxo superficial;
(4) Acompanhamento de indícios de movimentação do terreno, como trincas e abatimentos;
(5) Obra de contenção;
(6) Disciplinamento da ocupação da vertente, com informações sobre os riscos associados ao manejo inadequado da área sem conhecimento técnico;
(7) Reavaliação periódico da classificação de risco da área.

Autoria: Walter dos Reis Junior

LEGENDA

1 Fotografias
Sentido de movimentação
Setor de risco geológico
1 Indicação de setor

Fontes: Google Satellite; IBGE (2019)



APÊNDICE H – Artigo publicado: Revista Espinhaço

REVISTA ESPINHAÇO
ISSN 2317-0611
Revista Espinhaço, 2025, 15 (1)

Avaliação geotécnica de balneários no município de Diamantina, Minas Gerais

Geotechnical assessment of balnearies in Diamantina, Minas Gerais

Walter dos Reis Junior, Programa de Pós-Graduação em Geologia - IGC/UFMG e Instituto de Ciência e Tecnologia/UFVJM

walter.reis@ict.ufvjm.edu.br

https://orcid.org/0000-0002-5667-3875

Maria Giovana Parisi, IGC/UFMG

mgparizzi18@gmail.com

https://orcid.org/0000-0001-5616-9540

Resumo

Diamantina (MG) atrai turistas com suas serras, trilhas e cachoeiras, situadas em balneários desenvolvidos sobre rochas metassedimentares, com predomínio de quartzitos de composições variadas, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço e Grupo Macaúbas, controlados por sistemas de fraturas nas direções N-S, NW-SE e E-W. Esses atrativos podem apresentar perigos devido à instabilidade dos maciços rochosos. Por esta razão, este estudo classifica qualitativamente o perigo nessas áreas. A metodologia abrangeu a caracterização geomecânica das rochas e suas descontinuidades, a identificação de indícios de processos geodinâmicos e cenários de iminente deflagração de movimentos de massa. Foram avaliados 23 balneários, sendo considerados 15 de perigo geológico baixo, 2 de perigo moderado, 4 de perigo alto e 2 de perigo muito alto. Salienta-se que esta análise tem caráter temporal, já que as condições dos balneários se modificam com o tempo, exigindo monitoramento constante. Os resultados são muito relevantes para a região como instrumentos de gestão, auxiliando na implementação de ações voltadas à mitigação e controle dos perigos geológicos, como sinalizações dos cenários de perigo aos visitantes.

Palavras-chave: Perigo geológico, Atrativos naturais, avaliação geotécnica, balneários.

Abstract

Diamantina (MG) attracts tourists with its mountains, trails, and waterfalls, located in bathers' areas developed on metasedimentary rocks, predominantly quartzites of varied compositions, which belong to the Espinhaço Supergroup and Macaúbas Group. These areas are controlled by fracture systems oriented in the N-S, NW-SE and E-W directions. These attractions may present hazards due to the instability of rocky masses. For this reason, this study qualitatively classifies the hazard levels in these areas. The methodology included geomechanical characterization of the rocks and their discontinuities, identification of evidence of geodynamic processes and analysis of scenarios with imminent mass movement. A total of 23 balnearies were analysed, of which 15 were classified as having low geological hazard, 2 moderate, 4 high, and 2 very high. It is emphasized that this analysis has a temporal nature, as the conditions of the balnearies

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

change over time, requiring continuous monitoring. The results are highly relevant for the region as management tools, assisting in the implementation of actions aimed at mitigating and controlling geological hazards, such as signaling hazard scenarios to visitors.

Keywords: geological hazard, natural attractions, geotechnical assessment, balnearies.

1. Introdução

Com a evolução da morfologia das paisagens de uma região pela intensificação do intemperismo e erosão, além da atuação de diversos outros fenômenos da dinâmica superficial, as encostas são modificadas constantemente, alterando também suas condições de estabilidade. Materiais geológicos, como rochas e solos, apresentam características e comportamentos geotécnicos muito variados. Quando associados a agentes, naturais ou não, podem deflagrar diferentes processos geodinâmicos, submetendo as adjacências a riscos geológicos. As condições regionais como geologia, geomorfologia e clima exercem grande influência na estabilidade de rochas e solos frente a processos da dinâmica superficial (Sobreira, 1991). Contudo, deve-se ressaltar também as características inerentemente ligadas aos materiais geológicos, como natureza e composição de rochas e solos, estado de confinamento, intensidade de intemperismo, descontinuidades, coesão, condição de poro-pressão, resistência mecânica, entre outros (Reis Junior, 2016). Pode-se considerar que os principais processos atuantes na construção de paisagens são erosão, assoreamento, inundações, subsidências, colapsos e movimentos de massa (Infanti Jr e Filho, 1998), sendo estes os de maior ocorrência no território brasileiro (Augusto Filho, 1995). Macedo e Bressani (2013) salientam a importância de documentos adequados e atualizados que descrevam as características geomecânicas e considerações no tocante a suscetibilidade e aos perigos geológicos no uso dos solos.

Macedo e Mirandola (2018) comentam sobre o reconhecimento da importância da gestão de riscos geológicos, embasando-se nas ações da Organização das Nações Unidas (ONU), a partir de 1994, com iniciativas visando prevenção e redução de desastres físicos. A avaliação geológico-geotécnica das áreas ocupadas ou utilizadas pelo Homem é de grande relevância, subsidiando a prevenção e mitigação de riscos físicos. Tal procedimento abrange aquisição de informações que objetivam a determinação da probabilidade de determinados eventos, magnitude e as potenciais consequências (UNO, 2009). Tominaga (2007) reitera que a necessidade de adotar ações

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

adequadas de prevenção e gestão de risco para mapeamento de perigos geoambientais em esfera municipal é urgente.

O acidente ocorrido em Capitólio – Minas Gerais, no início de 2022, alertou sobre a necessidade da realização de estudos geológico-geotécnicos nos atrativos turísticos naturais. Neste contexto, diversas ações emergenciais para o reconhecimento, identificação e avaliação de riscos geológicos nesses lugares foram realizadas, destacando-se as campanhas do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, como Pedrazzi et al., (2022), Barros et al., (2022), Oliveira et al., (2022) e Silva et al., (2022).

O município de Diamantina, em Minas Gerais, tem grande importância histórica, sendo considerado patrimônio mundial pela UNESCO, em 1999. A cidade também conta com um grande e variado patrimônio natural, que está situada na Serra do Espinhaço, reconhecida como Reserva Mundial da Biosfera pela UNESCO, em 2005 (IABS e RBSE 2017). Diante da intensa atividade turística nos balneários no município de Diamantina, é relevante a realização de estudos dos perigos geológicos nessas áreas, para que além da gestão desses espaços, também haja a devida sinalização e indicação das potencialidades dos atrativos geoturísticos visitados. Nesse contexto, objetivou-se realizar uma avaliação geológica-geotécnica nos principais balneários da cidade, visando a qualificação de perigos.

2. Caracterização da área de estudo

Os balneários analisados estão concentrados na porção sul do município de Diamantina, nos distritos Sede, Mendanha, Guinda, Extração, Conselheiro Mata e no Povoado do Vau (Quadro 1 – Figura 1), inserindo-se no Alto Vale do Rio Jequitinhonha.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

Quadro 1 – Balneários visitados.

Balneário	*Localização*
Balneário abaixo da ponte do Acaba Mundo	Extração
Balneário entre os rios Pinheiro e Jequitinhonha	Mendanha
Barragem de Curralinho	Extração
Complexo cachoeiras da Raiz e Tombadouro	Conselheiro Mata
Cachoeira Bicas	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Cachoeira da Florença	Povoado do Vau
Cachoeira da Sentinela	Parque Estadual do Biribiri
Cachoeira da Toca	Distrito Sede
Complexo cachoeiras das Andorinhas e Bambá	Distrito Sede
Cachoeira das Fadas	Conselheiro Mata
Cachoeira do Pai Rocha	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Cachoeira do Sotter	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Cachoeira do Telésfero	Conselheiro Mata
Cachoeira do Vó Toninho	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Cachoeira dos Cristais	Parque Estadual do Biribiri
Cachoeira dos Remédios	Extração
Cachoeira Santa Apolônia	Mendanha
Complexo da Água Limpa	Parque Estadual do Biribiri
Lagoa Azul	Guinda
Poço do Estudante	Parque Estadual do Biribiri
Poço Verde	Caminho dos Escravos (Parque Biribiri)
Ribeirão das Pedras	Vila de Biribiri
Ribeirão do Inferno	Distrito Sede

Fonte: elaboração própria.

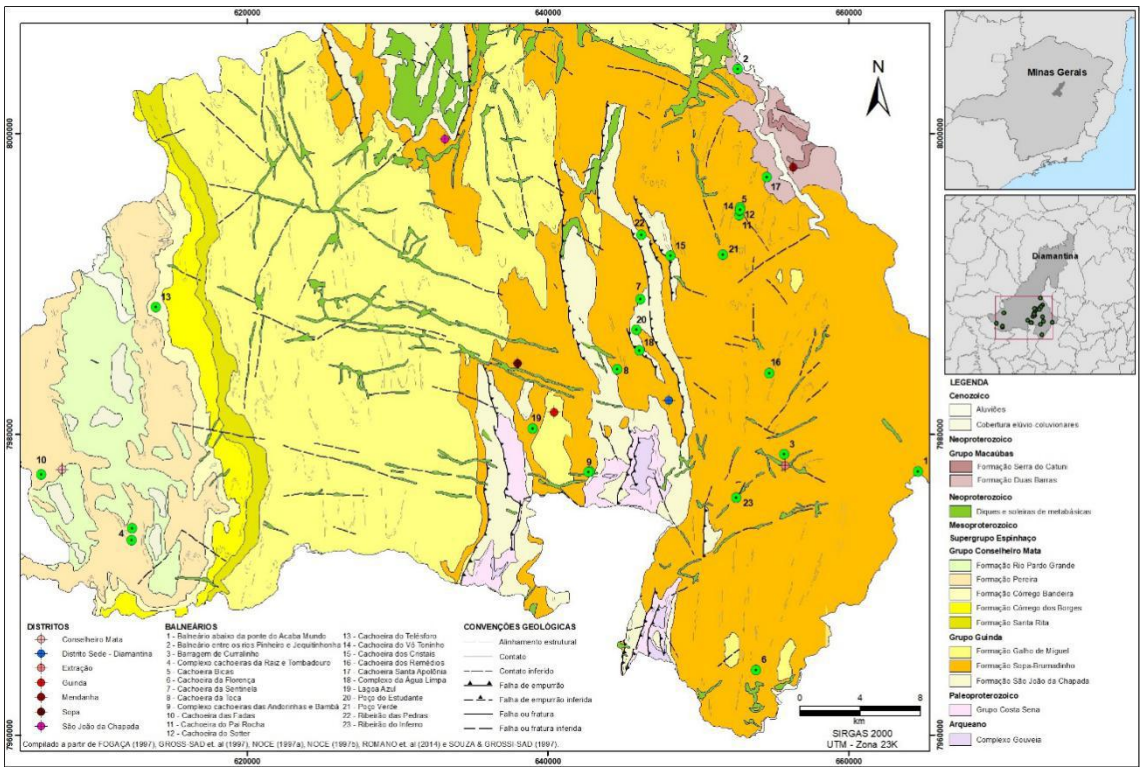
A cidade desenvolveu-se sobre uma grande variedade litológica. Seu arcabouço geológico constitui-se por rochas do Complexo Gouveia, sucedidas por sequências proterozóicas, predominantemente metassedimentares, correspondentes aos supergrupos Rio Paraúna, Espinhaço e São Francisco. Além de intrusões metabásicas pós-Espinhaço e coberturas cenozoicas (Figura 1). Os atrativos turísticos naturais visitados estão majoritariamente inseridos no contexto das formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho, Córrego Bandeira, Córrego Pereira (Supergrupo Espinhaço) e Duas Barras (Grupo Macaúbas).

Os litotipos que constituem o Supergrupo Espinhaço ocorrem na maior parte do município. Nas porções central e oeste podem ser descritas oito formações definidas por Pflug (1968). As formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho e Galho do Miguel, que compõem o Grupo Guinda (Almeida-Abreu, 1993), ocorrem na porção central do município. O Grupo Conselheiro Mata (Dossin et al., 1985) é constituído pelas formações Santa Rita, Córrego Bandeira, Córrego dos Borges, Córrego Pereira e Rio Pardo Grande. Suas unidades ocorrem mais a oeste da cidade. A Formação São João da Chapada é constituída por quartzitos micáceos, geralmente grossos, associadas a lentes de metaconglomerados polimíticos e metabrechas quartzíticas, filito hematítico e xistos verdes (Fogaça, 1997; Noce, 1997b). Filitos, quartzo-filitos, quartzitos, metaconglomerados polimíticos e xistos verdes (níveis variados de metavulcanitos

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

básicos) compõem a Formação Sopa-Brumadinho. As unidades do Grupo Conselheiro Mata ocorrem em faixas N-S, na porção ocidental de Diamantina. A Formação Córrego Bandeira caracteriza-se por alternância não uniforme de filitos/metassiltitos e quartzitos finos (Fogaça, 1997). Os quartzitos da formação subjacente gradam para os quartzitos puros da Formação Córrego Pereira, porém no topo da unidade são descritos quartzitos feldspáticos.

Figura 1. Mapa geológico simplificado da porção sul do município de Diamantina e localização dos balneários analisados.



Fontes: Fogaça (1997); Grossi-Sad et al. (1997); Noce (1997a); Noce (1997b); Grossi-Sad (1997).

O Grupo Macaúbas ocorre no centro leste do município, sendo representado na área pelas formações Domingas, Duas Barras, Serra do Catuni e Chapada Acauã. Na Formação Duas Barras ocorrem quartzitos de granulação média a grossa e mal selecionados, às vezes arcosianos, e metarenitos com quantidades variadas de matriz, chegando a quase ausência dessa, com intercalações menores de microconglomerados polimíticos (Fogaça, 1997; Grossi-Sad et al., 1997).

A região é caracterizada por relevo muito acidentado, marcado por elevações e espigões de rochas nuas, que se apresentam intensamente fraturadas e falhadas, que permite a rede de drenagem esculturar a paisagem segundo as direções tectônicas e

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

estruturais, gerando uma ampla ocorrência de escarpas, linhas de cumeada e grandes desníveis topográficos (Saadi, 1995; Valadão, 1998 in Silva, 2012; Almeida-Abreu et al., 2005).

O Supergrupo Espinhaço está estruturado, na porção central do município de Diamantina, por um importante sistema de falhas de empurrão e zonas de cisalhamento com direção geral N-S e por amplas dobras, de eixos próximos a N-S, abertas com vergência para W (Fogaça e Schöll, 1984; Noce, 1997b). Dossin et al. (1984) descrevem a estruturação, para oeste, em anticlinais e sinclinais abertos sucessivos. Na porção mais oriental, os sistemas de falhas de empurrão e zonas de cisalhamento se apresentam mais desenvolvidos, o que mascara parte dos amplos dobramentos (Fogaça, 1997). Segundo Noce (1997b) são observadas zonas de cisalhamento subverticais entre NE-SW e E-W, cortando as estruturas anteriores. Particularmente, os quartzitos evidenciam o sistema de fraturamento da unidade, com predominância da direção E-W. Fogaça (1997) salienta que, especialmente no setor oriental, predomina fraturas com mergulho para leste.

Destaca-se uma foliação, cuja direção média varia entre N5°W e N10°W, com mergulhos moderados para nordeste, porém em zonas próximas às falhas inversas é possível observar um incremento progressivo do mergulho de até 70°. Noce (1997b) salienta que as rochas do Supergrupo Espinhaço apresentam mergulhos, em torno de 45° para leste, sobretudo próximo ao contato com o Grupo Macaúbas.

Segundo Noce (1997b) a estruturação do Grupo Macaúbas, na porção ocidental de sua área de afloramento em Diamantina, exibe dobras relativamente abertas, com orientação entre N-S e ENE-WSW. As estruturas planares que caracterizam essas rochas, acamadamentos e foliações, apresentam o máximo para medidas de foliação próxima de N-S, mergulhando para E. A xistosidade orienta-se segundo NNE-SSW, com mergulho de 30° para leste. Nos filitos, xistos e quartzitos micáceos também é descrita uma clivagem ardosiana, de direção média N30°E e com mergulhos variáveis para noroeste.

3. Materiais e métodos

A etapa inicial de elaboração da avaliação geotécnica consistiu na obtenção de informações bibliográficas para a análise preliminar das áreas avaliadas. Posteriormente, foram realizados trabalhos de campo, entre os meses de outubro de 2022 e abril de 2023, em 23 balneários indicados pela Secretaria de Turismo de Diamantina (SECTUR), de acordo com a relevância turística e local dos atrativos.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

A caracterização dos balneários envolveu a descrição das propriedades geomecânicas dos maciços rochosos, identificação de indícios de ocorrência de processos geodinâmicos e cenários de iminente deflagração de movimentos de massa.

Um maciço rochoso pode ser considerado como o conjunto formado pela rocha intacta e as descontinuidades que a seccionam. Dessa forma, para caracterizá-los foram descritos parâmetros, tais como, orientação, espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, preenchimento, percolação de água, estado de alteração e resistência das paredes dessas estruturas, conforme diretrizes propostas pela ISRM (2014), como descrito a seguir.

a) Orientação: mediu-se a atitude das descontinuidades, bem como a orientação das encostas e paredões.

b) Espaçamento: relaciona-se ao espaçamento modal entre descontinuidades de uma mesma família de junta ou fratura.

c) Persistência: refere-se à continuidade do plano de descontinuidade de acordo com o observado em escala de afloramento.

d) Abertura: representa a distância perpendicular entre as paredes adjacentes de uma mesma descontinuidade, pode estar preenchida ou não por outros materiais.

e) Rugosidade: consiste na mensuração das irregularidades do relevo da descontinuidade.

f) Preenchimento: corresponde ao material que preenche a abertura, ou seja, separa as paredes da mesma.

g) Percolação de água: avaliação da intensidade do fluxo de água e umidade livre observáveis em descontinuidades individuais ou ainda no maciço como um todo.

h) Estado de alteração e resistência das paredes: estimativa do grau de intemperismo da rocha intacta nas paredes de descontinuidades e análise da resposta do material rochoso ao ser percutido.

A interação entre os parâmetros apresentados, bem como o número de famílias de descontinuidades geomecânicas, condiciona o grau de fraturamento dos maciços rochosos. De um modo geral, quanto maior for a quantidade de sistemas de descontinuidades e persistência, e menor o espaçamento, maior será o grau de fraturamento. Ou seja, maior será a quantidade de blocos rochosos formada e menores serão estes, além de tornar o comportamento do maciço cada vez mais isotrópico.

Outro aspecto importante no condicionamento de processos geodinâmicos e

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

formação de blocos rochosos é a relação angular entre a orientação das descontinuidades e dos paredões que compõem os balneários. A interseção destas estruturas planares pode gerar condições geométricas para a deflagração de movimentos de massa, como deslizamentos planar, quedas e tombamentos de blocos.

Neste contexto, buscou-se identificar blocos delimitados e/ou isolados, cuja descontinuidade que define sua base estivesse desconfinada, ou seja, esteja exposta e com sentido de mergulho subparalelo às encostas, possibilitando futura movimentação. Também, observou-se a ocorrência de lascas ou colunas rochosas condicionadas por descontinuidades com elevado ângulo de mergulho e sentido contrário às encostas.

Ainda foram identificados indícios de instabilidade e movimentação nesses terrenos, como cicatrizes de escorregamentos, degraus de abatimento, trincas e blocos rochosos caídos e/ou rolados. Para estes volumes de material geológico se descreveu dimensão, grau de arredondamento e imbricamento.

Para a classificação de perigo geológico associado a cada balneário se utilizou parcialmente e com algumas modificações a metodologia proposta pelo Projeto GIDES (Pimentel e Santos, 2018). Os procedimentos são empregados na elaboração de cartas de perigo e risco a movimentos gravitacionais e se baseiam em critérios topográficos e indícios de instabilidade na determinação dos tipos de movimentos gravitacionais passíveis de ocorrência em uma área de estudo, uma vez que os mecanismos de ruptura em diferentes processos geodinâmicos são distintos. A primeira etapa se relaciona a levantamentos da base de dados e definição da área de estudo. Já na fase seguinte são aplicados os critérios topográficos para a identificação de perigo potencial e delimitação de áreas suscetíveis a deflagração (área crítica - AC) e/ou atingimento relativas (área de dispersão - AD) a deslizamentos planar e circular, fluxo de detritos e queda de blocos. São atribuídas quatro classes de perigo a movimentos de massa: P1 (perigo baixo), P2 (perigo moderado), P3 (perigo alto) e P4 (perigo muito alto). Em síntese, tal qualificação está baseada na intensidade e dimensão de registros de depósitos de movimentos de massa anteriores e dos indícios de instabilidade dos terrenos. A etapa final corresponde a análise do risco, na qual se deve relacionar os resultados da fase anterior ao grau de vulnerabilidade das edificações suscetíveis a serem atingidas pelos processos geodinâmicos analisados.

Faz-se necessário esclarecer o conceito de perigo geológico, que pode ser definido como a possibilidade de ocorrência de um processo geodinâmico que possa gerar dano

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

financeiro, humano e/ou material em um determinado período de tempo. Embora as definições de perigo e risco sejam muito semelhantes, salienta-se que ao se tratar de risco, os danos possíveis devem ser mensurados. Contudo, essas áreas por não apresentarem ocupação permanente, a circulação de turistas cria uma situação de risco temporário e variável, de acordo com a quantidade de visitantes, uma vez, que o risco geológico é função do perigo e dos prováveis danos. Sob essa ótica, quanto maior o volume de frequentadores, maior será o grau de risco associado ao atrativo natural.

Diante à diferença entre a ocupação e finalidade do uso das áreas dos balneários e seu caráter mais pontual, as etapas relacionadas a delimitação das áreas críticas e de dispersão não foram executadas, dessa forma, não se justifica o emprego dos critérios topográficos, bem como a qualificação de risco, que se baseia em ocupações urbanas. Portanto, levou-se em consideração como diretrizes apenas as orientações relacionadas a qualificação de perigo baseadas em indícios de instabilidade nos balneários, além de algumas características das famílias de descontinuidades geomecânicas descritas. Dessa forma, estabelece-se os seguintes cenários de perigo geológico:

Baixo – Os balneários não apresentam feições de instabilidade e embora possa haver raros e pequenos depósitos gerados por antigos movimentos de massa, a possibilidade de futura deflagração é baixa. Nesses locais, espera-se observar maciços rochosos com descontinuidades fechadas, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal, grau de fraturamento baixo e com mergulhos contrários aos taludes. Esta condição geométrica permite que os possíveis blocos formados estejam assentados sobre estrutura planar confinante, impossibilitando movimentação. Podem estar relacionadas a áreas sem grandes quebras topográficas e ocorrência de maciços rochosos em seu entorno, reduzindo a probabilidade de outros processos geodinâmicos.

Moderado – Estes atrativos naturais não apresentam conspícuas feições de instabilidade e ainda que ocorram depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa pretéritos, a suscetibilidade a tais processos geodinâmicos é moderada. Mesmo que possam ser observados blocos rolados, estes são muito angulosos e, de modo geral, bastante imbricados, reduzindo a probabilidade de rolamento. Nesses locais, podem ser observadas famílias de descontinuidades do tipo junta ou fratura, com aberturas variadas, além da xistosidade e acamamento, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal. Contudo, pode haver cenários isolados suscetíveis a movimentação de blocos rochosos em áreas de difícil acesso aos visitantes.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

Alto – Nestes locais são observados relevantes indícios de instabilidade e depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa anteriores, a suscetibilidade a movimentos de massa é alta. Observam-se descontinuidades abertas, intensa percolação de água e colonização vegetal, além de um elevado grau de fraturamento. Podem ser identificados inúmeros blocos rochosos que já sofreram movimentação e/ou estão em situação de iminente queda, contudo, podem estar assentados em descontinuidades com mergulho contrário aos paredões das cachoeiras. De modo geral, estão relacionados a vales encaixados.

Muito alto – As feições de instabilidade são patentes, observam-se depósitos gerados por movimentos de massa anteriores e cicatrizes de escorregamentos. A probabilidade de ocorrência desses processos geodinâmicos é muito alta. Comumente, as estruturas que seccionam os maciços rochosos são muito abertas, caracterizadas por elevado grau de fraturamento, colonização vegetal e intensa percolação, apresentando sinais de surgência de água. De modo geral, estão relacionados a paredões rochosos verticalizados. Podem ser descritos inúmeros blocos caídos e/ou em situação de movimentação iminente, como calhaus sem sustentação e blocos assentados em descontinuidades desconfinadas, cujo plano de base mergulha no mesmo sentido que as paredes do balneário.

Os 23 atrativos turísticos naturais avaliados apresentam áreas de visitação muito distintas, alguns muito restritos, devido a grandes quebras topográficas e vales muito encaixados, e outros abrangendo áreas mais amplas. Dessa forma, para os balneários de maior extensão, optou-se por indicar pontualmente as situações de perigo geológico mais elevado em um contexto geral de perigo mais baixo.

4. Resultados e discussões

Os balneários analisados se desenvolveram em substrato rochoso composto por quartzitos, metaconglomerados e filitos, controlados por diferentes sistemas de descontinuidades geomecânicas, que correspondem à planos de fraqueza estrutural. Estruturas como acamamento, foliação e, principalmente, fraturas compartimentam maciços rochosos, intensificando a fragmentação das rochas e, portanto, interferem em propriedades, como a permeabilidade, o que possibilita uma maior percolação de água e consequente aumento no grau de alteração das rochas. Dessa forma, há redução de

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

parâmetros geomecânicos dos maciços, tais como coesão e ângulo de atrito interno, conduzindo cenários de instabilidade.

Os atrativos turísticos, em sua maioria, estão associados a quartzitos. Estes litotipos são constituídos, majoritariamente, por quartzo, conferindo à rocha elevada resistência ao intemperismo. De modo geral, os maciços analisados apresentam textura granoblástica, leve alteração e elevada resistência mecânica, entre 100 a 150 Mpa. Eventualmente, registra-se a ocorrência de cristais de mica, originando uma foliação incipiente. Entretanto, a estratificação e as fraturas são as estruturas relevantes para o comportamento geomecânico dos maciços rochosos, devido a formação de blocos. Os metaconglomerados possuem características muito similares aos quartzitos e ocorrem intercalados ou como transição de uma rocha para outra. Quando localizadas nesses cenários, as vertentes dos balneários comumente possuem considerável suscetibilidade a rolamentos, quedas e tombamentos de blocos, sobretudo em regiões com vales fechados e paredões rochosos íngremes. Já os filitos são ricos em minerais planares, como sericita e muscovita, o que os torna altamente suscetíveis ao intemperismo e mecanicamente pouco resistentes. Sua foliação metamórfica característica pode condicionar escorregamentos planares e em cunha, tombamentos e desplacamento de blocos. A tipologia do processo geodinâmico passível de deflagração é dependente das relações angulares entre a face das vertentes e orientação das descontinuidades. Ressalta-se que os maciços rochosos analisados ora eram compostos somente por quartzitos, ora por uma intercalação entre as litologias citadas. A fragmentação dessas rochas ocasiona a formação de tálus na base e no entorno das encostas. Esses depósitos são caracterizados por grande variedade granulométrica e sedimentos mais angulosos, conferindo ao material uma maior permeabilidade e, por conseguinte, elevada suscetibilidade a movimentos de massa, como escorregamentos e rastejos.

Os principais processos geodinâmicos identificados foram rolamento, tombamento, queda de blocos e, subordinadamente, escorregamentos rotacionais. O quadro 2 sintetiza a classificação de perigo dos balneários avaliados.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

Quadro 2. Classificação de perigo geológico nos balneários vistoriados.

Balneário	*Processos geodinâmicos*	*Grau de perigo*
Balneário abaixo da ponte do Acaba Mundo	Tombamento de blocos	Baixo
Balneário entre os rios Pinheiro e Jequitinhonha	Tombamento de blocos	Baixo
Barragem de Curralinho	-	Baixo
Complexo cachoeiras da Raiz e Tombadouro	Queda de blocos	Baixo
Cachoeira Bicas	Queda de blocos	Baixo
Cachoeira da Florença	Tombamento e rolamento de blocos	Moderado
Cachoeira da Sentinela	Queda de blocos	Baixo
Cachoeira da Toca	Queda de blocos e escorregamento circular	Muito Alto
Complexo cachoeiras das Andorinhas e Bambá	Tombamento e queda de blocos	Muito Alto
Cachoeira das Fadas	Qeuda de blocos	Alto
Cachoeira do Pai Rocha	Queda de blocos e escorregamento	Alto
Cachoeira do Sotter	Queda de blocos	Alto
Cachoeira do Telésfero	Rolamento de blocos	Baixo
Cachoeira do Vó Toninho	Queda de blocos	Baixo
Cachoeira dos Cristais	Desplacamento de bloco	Baixo
Cachoeira dos Remédios	Queda de blocos e escorregamento	Alto
Cachoeira Santa Apolônia	Queda e rolamento de blocos	Moderado
Complexo da Água Limpa	Solapamento da margem	Baixo
Lagoa Azul	Escorregamento	Baixo
Poço do Estudante	Queda de blocos	Baixo
Poço Verde	Queda de blocos	Baixo
Ribeirão das Pedras	-	Baixo
Ribeirão do Inferno	-	Baixo

Fonte: Elaboração própria, com adaptação do Projeto Gides (Pimentel e Santos 2018), na coluna de Grau de Perigo.

4.1. Perigo baixo – P1

Quinze balneários foram classificados como de perigo baixo. Embora esses atrativos naturais estejam em contextos litológicos semelhantes, há diferenças marcantes nos parâmetros utilizados para a qualificação de perigo nestes locais.

Em alguns casos, trata-se somente de leitos de rios e córregos, caracterizados por assoalhos rochosos ou canais recobertos por sedimentos de granulometrias muito variadas. Nas margens não são observados grandes maciços rochosos com descontinuidades muito abertas, colonização vegetal ou indícios de intensa percolação de água, além de serem áreas sem grandes quebras topográficas. Esses cenários podem ser observados nos balneários sob a ponte do Acaba Mundo, Ribeirão do Inferno, Ribeirão das Pedras, Barragem de Curralinho e entre os rios Pinheiro e Jequitinhonha. De maneira análoga, a Lagoa Azul se estabeleceu em uma antiga lavra garimpeira, rodeada por grande volume de material arenoso e em sua cabeceira podem ser observadas encostas compostas por quartzito puro, da Formação Sopa-Brumadinho muito intemperizado, porém, sem indícios de qualquer tipo de movimentação, contudo, registram-se feições de erosão linear.

O Poço Verde e as cachoeiras Bicas e Vó Toninho, no Caminho dos Escravos, Poço do Estudante no Parque Estadual do Biribiri (PEBi) e as cachoeiras do Telésforo, da Raiz e Tombadouro, no distrito de Conselheiro Mata, apresentam forte controle

ISSN 2317-0611

estrutural e variáveis graus de compartimentação. Embora sejam observados blocos delimitados e/ou isolados nesses maciços rochosos, em sua maioria, estão assentados sobre alguma família de descontinuidades, cujo mergulho é contrário as paredes das cachoeiras, de modo que a movimentação de blocos se torna impossibilitada. Contudo, podem ser descritos diversos blocos nos leitos das drenagens associadas, além de situações pontuais suscetíveis a tombamento e/ou rolamento de blocos. Todavia, esses cenários que sugerem perigo maior, estão inseridos em pontos de difícil acesso ou inacessíveis aos visitantes.

As cachoeiras da Sentinela e dos Cristais, as mais frequentadas no PEBi, são balneários que abrangem uma ampla área de visitação, sendo compostos por vários níveis topográficos. Dessa forma, são descritas mais detalhadamente.

A Cachoeira da Sentinela está esculpida em quartzito puro, da Formação São João da Chapada, e é composta por três patamares, separados por duas quedas d'água. O poço inferior (Figura 2A) é alimentado por uma por uma cachoeira, cuja parede tem aproximadamente 10 metros de altura e forma escalonada. A estrutura metassedimentar mais proeminente corresponde ao acamamento ainda preservado, contudo este mergulha em sentido contrário a orientação do paredão.

Na porção superior desta cachoeira, três sistemas de fraturas se tornam mais evidentes, indicando maior grau de fraturamento, entretanto, blocos rochosos individualizados são raros. É possível observar um bloco individualizado no topo à esquerda da parede, delimitado por descontinuidades abertas e colonização vegetal. Neste cenário, há possibilidade de rolamento de blocos, caso se desprenda do maciço rochoso.

No lado direito da cachoeira (em relação ao sentido do rio), embora não estejam delimitados blocos rochosos, um sistema de fratura, subparalelo à orientação da parede, condiciona a formação de prismas de rochas, que podem sofrer tombamento, entretanto, caso haja a deflagração do processo (Figura 2A), a área atingida é pouco acessível aos turistas.

O poço principal possui um paredão verticalizado com cerca de 3 metros de altura (Figura 2B). Parte do poço está encaixado em uma pequena incisão, formada entre a parede da cachoeira e um grande bloco rochoso, já movimentado e estável. Acima deste, são observados diversos blocos soltos (Figura 2C) que podem se movimentar em direção ao poço, entretanto estão repousados sobre planos sub-horizontais a levemente

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

inclinados em direção ao poço. Nos poços superiores (Figura 2D) da Cachoeira do Sentinela não foram identificadas situações que gerem risco aos visitantes.

Figura 2. Cachoeiras classificadas como perigo baixo.



(A) Poço inferior da Cachoeira do Sentinela e lascas de rochas (indicado por seta vermelha) na porção inferior direita com baixo perigo de tombamento (B) Vista frontal do poço principal da Cachoeira do Sentinela (C) Blocos soltos (indicado por seta vermelha) acima do poço principal com perigo de rolamento (D) Vista do patamar superior da Cachoeira do Sentinela (E) Vista da Cachoeira dos Cristais (F) Poço superior da Cachoeira dos Cristais (G) Placas rochosas (indicado por seta vermelha) com elevado perigo a desplacamento e queda de blocos (H) Vista dos poços inferiores adjacentes ao acesso a Cachoeira dos Cristais.
Fonte: elaboração própria.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

A Cachoeira dos Cristais é composta por três patamares (Figura 2E), um poço bem restrito na porção mais elevada da área, o poço principal, mais frequentemente visitado, e uma sequência de pequenas quedas d'água que seguem o curso da drenagem. O acesso a estes locais não apresenta situações de perigo aos turistas.

Na porção superior, um pequeno poço (Figura 2F) está encaixado em quartzito bastante recristalizado com muitos veios de quartzo, características que conferem a rocha uma elevada resistência mecânica e ao intemperismo.

Nas paredes mais ocidentais, as principais estruturas, que compartimentam o maciço, são foliações e planos de acamamento que mergulham em sentido contrário a estas paredes. Estes sistemas de descontinuidades são pouco persistentes e bem fechados, portanto, não são verificados blocos rochosos delimitados que possam se movimentar. Em algumas áreas, bem restritas, o maciço é muito fraturado, individualizando pequenos blocos, que não ultrapassam 12 cm de extensão, porém, ocorrem em paredes com cerca de 1 metro de altura, representando um cenário de perigo basicamente inexistente.

Na porção superior esquerda das paredes da queda d'água que alimenta o poço principal, são identificados pequenos blocos soltos, cujo tamanho é condicionado pela interação dos sistemas de descontinuidades geomecânicas (fraturas, foliações e acamadamento). Contudo, não há potencial de atingir áreas frequentadas do balneário.

Na porção inferior esquerda, é possível observar um bloco ainda preso, superior a um metro de extensão, entretanto, caso haja seu desprendimento do maciço, este cairá de pequena altura. Já na porção direita da queda d'água não há indicações de perigo de queda de blocos ou outros movimentos de massa.

Observa-se, contudo, na porção logo abaixo da queda d'água um elevado potencial de desplacamento de lascas rochosas (Figura 2G), condicionadas pela foliação/acamamento das rochas que compõem este maciço e influenciada por intensa percolação de água e eventual colonização vegetal.

Nos patamares inferiores (Figura 2H) ao poço principal, na margem norte da drenagem é possível identificar sistemas de descontinuidades geomecânicas que condicionam a formação de blocos, contudo a possibilidade de rolamento é baixa, visto que os fragmentos rochosos formados estão assentados sobre uma descontinuidade sub-horizontal.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

Existem dois acessos para a Cachoeira dos Cristais, mas esses não apresentam situações de perigo aos turistas.

4.2. Perigo moderado – P2

Dois balneários foram classificados como de perigo moderado. As diferenças mais relevantes dos balneários supracitados são a abertura das descontinuidades, ocorrência de blocos isolados, indícios de instabilidade e movimentação de blocos um pouco mais evidentes.

O complexo é constituído pela Cachoeira Santa Apolônia e o leito do rio que dá acesso ao atrativo turístico, ambos compostos por uma sequência de quartzitos e metaconglomerados, das formações Sopa-Brumadinho (Supergrupo Espinhaço) e Duas Barras (Grupo Macaúbas). No topo da cachoeira existe uma barragem de concreto (Figura 3A), para barramento de água. Contudo se observa percolação de grande fluxo de água no contato entre a construção de concreto e rochas, que contribui para a redução da estabilidade da estrutura.

O maciço rochoso é bastante fraturado, condicionando a formação de blocos rochosos. Na lateral direita, observa-se grandes blocos e matacões de metaconglomerado e quartzito (Figura 3B). Na encosta baixo da barragem há a presença de inúmeros blocos rochosos formados pelos sistemas de descontinuidades geomecânicas (Figura 3C). O poço a jusante da cachoeira (Figura 3D) não apresenta em seu entorno blocos em situação que possa gerar algum perigo geológico aos visitantes.

No caminho para acessar a cachoeira, ao longo do leito do rio, outros processos geodinâmicos que podem oferecer perigo aos banhistas são percebidos, como queda de blocos, tombamentos, além escorregamento planar, deslizamento de terra e desplacamento.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

Figura 3. Cachoeiras classificadas como perigo geológico moderado.



(A) Vista frontal da Cachoeira Santa Apolônia, em Mendanha. Evidencia a percolação de água no contato entre a barragem de concreto e as rochas (indicado por seta vermelha) (B) Blocos e matacões de metaconglomerado e quartzito formados na lateral direita da cachoeira (C) Maciço rochoso estruturalmente compartimentado, formando blocos de diversos tamanhos (D) Poço a jusante da Cachoeira Santa Apolônia. Não apresenta situações de perigo aos banhistas (E) Vista frontal da Cachoeira da Florença, no Povoado do Val (F) Blocos rochosos na porção esquerda da Cachoeira da Florença (G) Matacão de quartzito na porção central da cachoeira (indicado por seta vermelha) (H) Vista superior do poço abaixo da Cachoeira da Florença.
Fonte: elaboração própria.

A Cachoeira da Florença corre sobre um maciço rochoso constituído por quartzito. Verifica-se vários degraus neste atrativo natural (Figura 3E). Lateralmente, observa-se vertentes, mais elevadas que a cachoeira, onde registra-se diversos blocos angulosos, também de quartzito. Embora a compartimentação do leito do curso d'água não seja

ISSN 2317-0611

muito intensa, existem em ambos os lados blocos angulosos de grandes dimensões, bastante imbricados (Figura 3F).

Na porção superior da cachoeira são registrados muitos blocos grandes deslocados. Ainda, nesse setor um grande matacão se encontra encaixado na porção central no atrativo (Figura 3G). Há possibilidade de tombamento, na parte superior. A cachoeira alimenta um poço, que em seu entorno não ocorrem situações que gerem perigo aos visitantes (Figura 3H).

4.3. Perigo alto – P3

As cachoeiras do Pai Rocha e Sotter, no Caminho dos Escravos, Cachoeira das Fadas, em Conselheiro Mata e Cachoeira dos Remédios, em Extração, foram classificadas como de perigo alto. De um modo geral, são balneários marcados por descontinuidades muito abertas, colonização vegetal e preenchimento úmido ou com alguma surgência de água, blocos isolados, evidências conspícuas de movimentação do terreno e de instabilidade no maciço.

O paredão da Cachoeira das Fadas (Figura 4A) é composto por quartzito intercalado a metaconglomerado, da Formação Córrego Pereira, e possui aproximadamente 20 metros de altura. O maciço rochoso apresenta uma estrutura dobrada, do tipo dobra sinclinal, cujo eixo mergulha em sentido contrário a queda d'água. De um modo geral, o paredão da queda d'água é bastante compartimentado por diversos sistemas de descontinuidades geomecânicas. Ao redor do poço podem ser observados muitos blocos rochosos angulosos de diversos tamanhos, que sofreram queda livre ou rolamento (Figura 4B). A quantidade de blocos no entorno da área é evidência de que tais processos são comuns e que há elevado perigo de queda blocos na área. Destaca-se que na descida de acesso ao poço também ocorrem inúmeros blocos. O poço está inserido em uma área topográfica mais baixa na região, dessa forma, também se registra paredões rochosos em frente ao poço, com as mesmas características estruturais do maciço da cachoeira (Figura 4C).

Na descida que dá acesso a Cachoeira dos Remédios, observa-se blocos angulosos de quartzitos de grandes dimensões e indícios de movimentação, gerando perigo de queda de blocos nesta trilha. A encosta é constituída por quartzito, da Formação Sopa-Brumadinho, pouco alterado e há grande variação no padrão de fraturamento do maciço rochoso, portanto apresenta forte controle estrutural.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

Registra-se um sistema de descontinuidade, de mergulho contrário a parede, com grande abertura, percolação e colonização vegetal (Figura 4D). Percebe-se que o porte da vegetação é bastante variável. Na porção central da queda d'água não se observa blocos delimitados e/ou soltos, entretanto, na lateral direita são identificados diversos blocos soltos e cavidades geradas por quedas de blocos menores, caracterizando um elevado perigo de queda (Figura E). Nesta porção, o quartzito apresenta diferentes graus de alteração, devido a uma variação local de resistência ao intemperismo, culminando maior desagregação em algumas camadas em detrimento de outras.

Figura 4. Cachoeiras classificadas como perigo alto.



https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

(A) Vista frontal da Cachoeira das Fadas. Ocorrem blocos rochosos no paredão da queda d'água (B) Blocos caídos ou rolados no entorno do poço (C) Paredão rochoso muito compartimentado, que apresenta blocos isolados suscetíveis a queda e inúmeros de blocos caídos no entorno do poço (D) Vista da Cachoeira dos Remédios, com notável compartimentação estrutural, percolação e colonização vegetal (E) Paredão direito da queda d'água. Nota-se intensa formação de blocos e indícios de queda (F) Formação de placas rochosas na base de encosta com elevado perigo de desplacamento (G) Patamar superior da Cachoeira dos Remédios.
Fonte: elaboração própria.

A encosta em frente ao poço é composta por blocos rochosos de diversos diâmetros, material oriundo da alteração do quartzito e solo preenchendo as descontinuidades, percebe-se também indícios de grande percolação de água e consequente intensa colonização vegetal. Essa porção representa elevado perigo de queda de blocos e deslizamentos. Na base da vertente, o acamamento do quartzito condiciona desplacamento (Figura 4F). Em grande parte do vale ocorrem blocos de diversas dimensões. Na parte superior da cachoeira existem diversos blocos de grandes dimensões (Figura 4G), porém, sem perigo de queda no poço.

4.4. Perigo muito alto – P4

A Cachoeira da Toca e o Complexo Bambá e Andorinhas foram classificadas como perigo muito alto. De um modo geral, são balneários marcados por descontinuidades muito abertas, colonização vegetal e preenchimento úmido ou com evidente surgência de água, blocos caídos, intensa formação de blocos e evidências marcantes de instabilidade mecânica dos maciços rochosos.

Na porção superior da Cachoeira da Toca, patamar acima da queda d'água há vários pequenos poços. Pode-se observar na área mais distante da queda d'água um baixo perigo a queda de blocos. No topo da cachoeira há formação de blocos, porém, o acamamento mergulha contrariamente a cachoeira.

O maciço rochoso que compõe a Cachoeira da Toca (Figura 5A) está muito compartimentado, devido a intenso controle estrutural. Constitui-se por quartzito puro, intercalado a filito, da Formação Sopa-Brumadinho. Na parte superior do paredão, devido ao fraturamento, observa-se blocos soltos com suscetibilidade de queda ou tombamento. A possibilidade de queda varia de acordo com a orientação da descontinuidade que gera a base dos blocos formados. Alguns estão assentados, outros desconfinados e caso se desprendam, será deflagrado um processo geodinâmico. Os maiores blocos são registrados no topo da cachoeira e os menores blocos se encontram na porção intermediária do paredão. Na descida da cabeceira ao poço principal pela

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

direita, ocorrem afloramentos com muitos fragmentos com elevado perigo que queda de pequenos blocos. Nesta porção pode ser observado que parte do maciço já está deslocada (Figura 5C). Características similares são registradas na margem direita do poço, onde se observa uma maior intensidade de intemperismo, fraturamento do maciço rochoso e colonização vegetal. Quando se analisa a margem esquerda do poço, observa-se um maciço muito compartimentado, evidências de queda de blocos e cicatrizes de escorregamento circular. Próximo ao paredão há diversos cenários de elevado perigo a queda de blocos (Figura 5B).

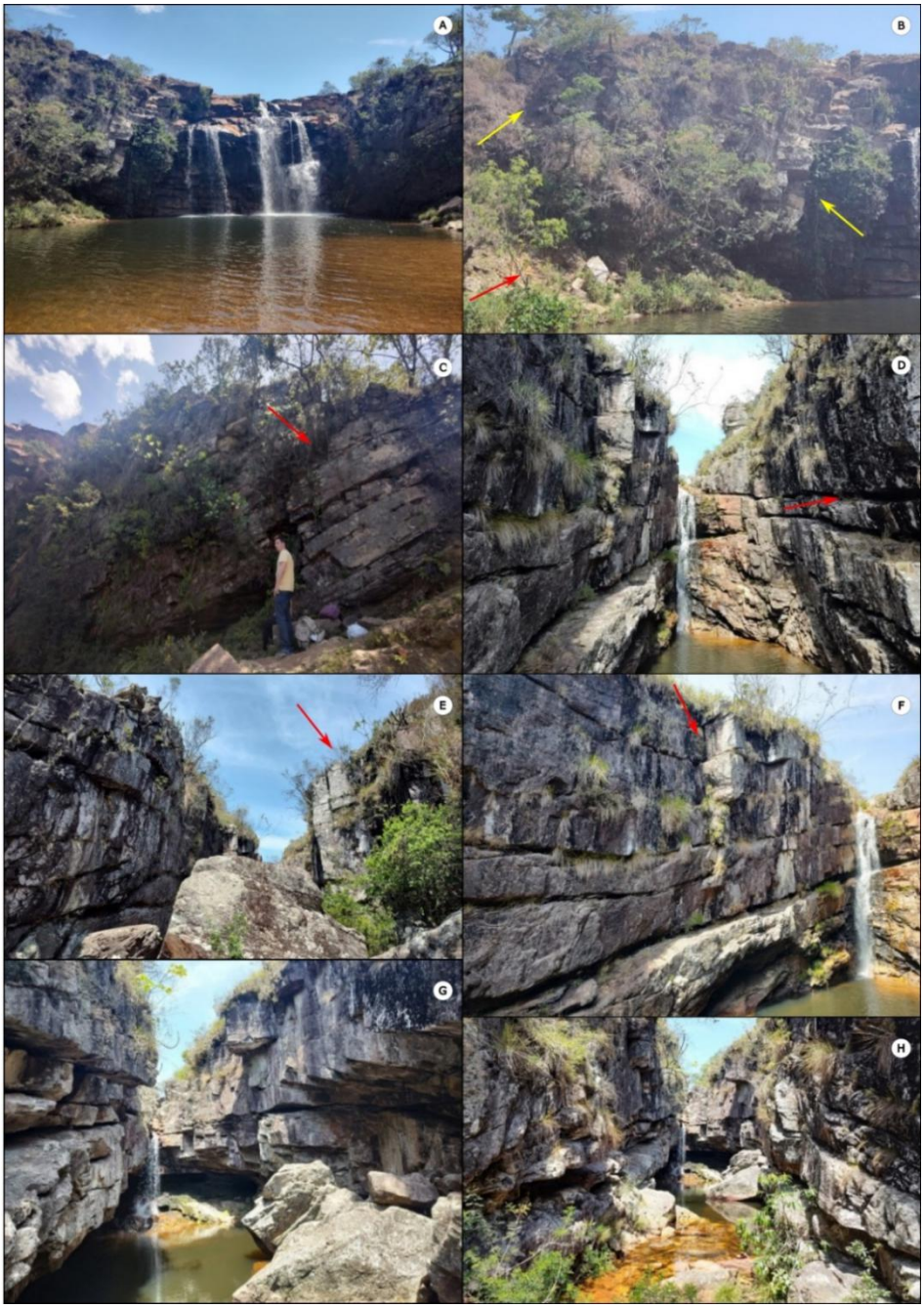
O acesso às cachoeiras Bambá e Andorinhas se dá por trilha, parte do percurso tangencia a encosta rochosa. Nota-se a ocorrência de lascas e blocos soltos de quartzito no paredão, ainda podem ser observadas indícios de desplacamentos, segundo descontinuidades subhorizontalizadas. O complexo de cachoeiras desenvolve-se em uma sequência composta por metaconglomerado, filito e quartzito, da Formação Sopa-Brumadinho, controlado por um sistema de descontinuidade geomecânica de direção E-W.

A Cachoeira do Bambá possui dois poços, o primeiro é um pouco mais amplo e menos profundo. Em sua porção direita, nota-se alguns blocos soltos, contudo, caso haja movimentação, não há perigo de atingimento da área frequentada. Entretanto, o paredão de quartzito adjacente se encontra bastante compartimentado por três conjuntos de descontinuidades geomecânicas, com um sistema de fraturas subhorizontalizadas mais evidente por sua abertura, intensa exfiltração de água e colonização vegetal. Essas características condicionam a redução da estabilidade da parede rochosa, podendo deflagrar queda de blocos, como demonstrado por diversos indícios. Na parede esquerda, há redução da intensidade de percolação e colonização vegetal, entretanto, ainda é possível observar blocos delimitados que podem cair.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

Figura 5. Cachoeiras classificadas como perigo muito alto.



(A) Vista frontal da Cachoeira da Toca (B) Lateral esquerda da queda d'água, onde é possível observar blocos caídos formando um depósito de tálus, diversos blocos rochosos suscetíveis a queda no paredão (indicado por setas amarelas) e Cicatriz de escorregamento circular na base da encosta (indicado por seta vermelha) (C) Afloramento, na margem direita do poço, muito fraturado, intensa alteração, colonização vegetal e indícios de movimentação (indicado por seta vermelha) (D) Vista frontal do poço principal da Cachoeira do Bambá. Evidencia-se descontinuidades muito abertas, devido a intemperismo diferencial relacionado a intercalação de filitos no maciço rochoso (E) Vista dos paredões adjacentes ao poço principal. Registra-se a suscetibilidade de tombamento na parede esquerda da cachoeira (indicado por seta vermelha) (F) Maciço rochoso muito fraturado. Nota-se a ocorrência de blocos soltos de iminente queda (indicado por seta vermelha) (G) Cavidade adjacente a queda d'água, blocos caídos e formação de tetos de quartzito com lascas instáveis na parede esquerda da Cachoeira das Andorinhas (H) Vista frontal da entrada da Cachoeira das Andorinhas.
Fonte: elaboração própria.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

No poço principal, o padrão estrutural que controla o fraturamento do maciço se mantém. O maciço rochoso é caracterizado por uma alternância de quartzito e finas camadas de filito, que por menor resistência ao intemperismo e erosão, marca o maciço com descontinuidades subhorizontalizadas de ampla abertura (Figura 5D). Registra-se uma coluna rochosa (Figura 5E), na porção intermediária deste poço, com abertura em torno de 10 cm e com sinais de instabilidade.

Com o intemperismo diferencial, os blocos de quartzitos perdem sustentação e podem cair em queda livre ou tombar. No topo do paredão esquerdo pode ser observado um grande bloco, cuja base corresponde a um plano que mergulha em sentido ao poço (Figura 5F).

A cachoeira e a drenagem se desenvolveram segundo um sistema de fraturas subverticalizado, que inclusive condiciona a formação dos paredões adjacentes ao poço principal e também a deflagração de determinados processos geodinâmicos, como tombamentos.

A parede direita está apoiada em filito, com mergulho concordante ao do quartzito, assim como as intercalações. A evolução da alteração da base do paredão pode provocar a perda de sustentação, como observado na base da parede, podendo deflagrar um tombamento em direção ao poço.

A parede atrás da queda d'água, embora muito compartimentada, não exibe blocos rochosos isolados. Na parede direita do poço é possível observar diversos blocos soltos. É evidente a ocorrência de coluna rochosa instável sustentada somente por um bloco rochoso, na porção central do poço. As fraturas se encontram muito abertas, registra-se colonização vegetal e indícios de movimento, mesmo que pequena.

O acesso para a Cachoeira das Andorinhas se dá pelas laterais da Cachoeira do Bambá. Parte do caminho corresponde em um trecho da drenagem que abastece a Cachoeira do Bambá.

Na cabeceira da Andorinhas e nas proximidades há intensa formação de blocos de quartzitos, muitos já deslocados do maciço rochoso. Os blocos de quartzito são deslocados e posteriormente caem devido a perda de estabilidade da base, visto que há intercalação de filito, que apresenta menor resistência ao intemperismo, formando tetos de quartzito e intensa fragmentação dos maciços rochosos (Figuras 5G e 5H).

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

ISSN 2317-0611

A identificação de perigos geológicos não impossibilita que os atrativos turísticos sejam visitados, contudo, o acesso deve ser realizado com segurança. A administração pública tem um papel central na implementação de estratégias de gestão de riscos, não apenas em Diamantina, mas em outras regiões com atrativos geoturísticos. A ausência de regulamentação específica sobre a gestão de riscos geológicos em áreas turísticas torna a atuação do poder público ainda mais essencial. A regulamentação de normas que integrem a segurança geológica nas políticas de turismo e a criação de um sistema de gestão de riscos geológicos nas áreas turísticas podem ajudar a prevenir tragédias e a garantir a preservação ambiental e a segurança dos visitantes.

De modo geral, foram identificados inúmeros blocos rochosos instáveis, próximos a deflagração de tombamento e/ou queda de blocos. Devido à dificuldade de prever o comportamento dos processos geodinâmicos supracitados, sugere-se a sinalização dos balneários quanto aos perigos geológicos e suas classificações. Esta é fundamental para garantir a segurança dos turistas, que deve ser clara, com placas educativas que orientem sobre os comportamentos seguros a serem adotados, com a indicação das áreas mais instáveis, se possível com fotografias aéreas e croquis detalhados. Salienta-se, que mesmo que um balneário tenha sido classificado como de perigo baixo, é necessário que sejam sinalizados separadamente situações específicas de maior perigo.

Além disso, é fundamental priorizar o trabalho de conscientização e a educação ambiental, uma vez que, frequentemente, os turistas desconhecem os perigos naturais presentes nessas áreas. Recomenda-se, também, a realização de monitoramentos anuais nos balneários, utilizando, quando possível, tecnologias como drones para uma melhor visualização das áreas mais críticas. Essas ações visam à elaboração e implementação de protocolos de segurança, especialmente durante períodos de chuvas intensas. Medidas como a restrição de acesso tornam-se essenciais, considerando que a intensa percolação de água nos maciços rochosos pode alterar rapidamente o cenário de perigo.

5. Conclusão

Os atrativos geoturísticos, como cachoeiras, apresentam naturalmente perigos geológicos, devido a própria evolução da superfície terrestre e podem ser acelerados pela ação antrópica.

Os maciços rochosos que compõem os atrativos turísticos naturais analisados situam-se nas formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho, Córrego Bandeira, Córrego

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

Pereira, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço, e na Formação Duas Barras, do Grupo Macaúbas. Os resultados destacam no uma grande diversidade nos cenários de perigo geológico nos balneários de Diamantina. Nas cachoeiras analisadas, os processos geológicos predominantes estão relacionados aos sistemas de descontinuidades geomecânicas dos maciços rochosos, além das condições ambientais onde a interação entre as descontinuidades geomecânicas, a dinâmica hídrica e o intemperismo acentuam a instabilidade dos maciços. Entre os movimentos de massa mais frequentes estão as quedas e tombamentos de blocos, seguidos, em menor frequência, por rolamento de blocos e desplacamento de lascas.

Dentre os 23 balneários analisados, apenas 6 foram classificados como perigo alto e muito alto. Contudo, os considerados como de perigo muito alto (Cachoeira da Toca e Complexo Bambá e Andorinhas) estão na área de ocorrência da Formação Sopa-Brumadinho, especificamente onde ocorrem quartzitos intercalados a filitos, cujas estruturas favorecem os processos mais frequentes.

É essencial destacar o caráter temporal desta análise, uma vez que ela reflete as condições dos balneários no momento das vistorias, as quais podem se alterar ao longo do tempo. Os processos que atuam na superfície terrestre são muito dinâmicos, assim como as intervenções humanas na paisagem. Vale ressaltar que a análise qualitativa do perigo não tem como objetivo prever acidentes geológicos nos maciços rochosos dos balneários nem determinar sua estabilidade. No entanto, essas informações são de grande relevância para a região, funcionando como referência inicial para estudos mais detalhados e quantitativos sobre os atrativos turísticos com maior risco geológico.

As sugestões que visam reduzir os riscos potenciais aos turistas que visitam os balneários em Diamantina, abrangem desde medidas educativas, sinalização, monitoramento contínuo e a implementação de ações voltadas à mitigação e ao controle desses perigos geológicos. Tais ações podem incluir manejos específicos, realizados, quando necessário, com o acompanhamento de profissionais especializados, como geólogos e alpinistas.

6. Agradecimentos

Esta pesquisa foi desenvolvida em parceria com a Secretária de Turismo de Diamantina (SECTUR), Parque Estadual do Biribiri (PEBI) e suporte logístico da 6ª Companhia Independente de Diamantina.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

7. Referências Bibliográficas

Filho, O. A. (1995). Escorregamento em encostas naturais e ocupadas: Analise e controle. Bittar, O. Y. **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente**. ABGE/IPT. São Paulo.

Abreu, P. A. A. (1993). A Evolução Geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil. Tese de doutorado. Universidade de Freiburg. Freiburg

Abreu, P. A.; Fraga, L. M. S.; Neves, S. C.; Silva, A. C.; Pedreira, L. C.V. S. F. (2005). Fisiografia. **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes**. Capítulo II. O Lutador. Belo Horizonte.

Barros, J. S.; Filho, J. S. O.; Filho, I. B. O.; Fernandes, R. J. A. R.; Nascimento, J. R. S. (2022). **Relatório técnico Cânion do Rio Poti**. Buriti dos Montes, Piauí. Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Teresina.

Dossin, I. A.; Uhlein, A.; Dossin, T. M. (1984). Geologia da Faixa Móvel Espinhaço em sua porção meridional, MG. **Anais do 23º Congresso Brasileiro de Geologia**, 7. Rio de Janeiro.

Dossin, I. A.; Chaves, M. L. S. C.; Uhlein, A.; Alvarenga, C. J. S. (1985). Geologia e depósitos diamantíferos da região de Sopa, Diamantina, Minas Gerais. **Anais do 3º Simpósio de Geologia de Minas Gerais.**

Fogaça, A.C.C.; Sad, J. H. G.; Lobato, L. M.; Soares, A. C. P.; Filho, B. S. S. (1997). Geologia da folha Diamantina. **Projeto Espinhaço em CD-ROM**. COMIG. Belo Horizonte.

Fogaça, A. C. C.; Schöll, W. V. (1984). Estratigrafia e tectônica das rochas arqueanas e proterozóicas da região de Guinda e Gouveia (MG). **Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia**. SBGeo. Rio de Janeiro.

Sad, J. H. G.; Roque, N. C.; Knauer, L. G.; Noce, C. M.; Fonseca, E.; Lobato, L. M.; Soares, A. C. P.; Filho, B. S. S. (1997). Geologia da Folha Carbonita. **Projeto Espinhaço em CD-ROM**. COMIG. Belo Horizonte.

Junior, N. I.; Filho, N.; Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A. (1998). Processos de Dinâmica Superficial. Geologia de Engenharia. ABGE. São Paulo.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

IABS. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade; RBSE. Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço. (2017). Brasília. **Revista Brasileira da Biosfera da Serra do Espinhaço**, 1(1).

ISRM. (2014). The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014. Springer. Suíça.

Macedo, E. S.; Bressani, L. A. (2013). Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo. ABGE/ABMS. São Paulo.

Macedo, E. S.; Mirandola, F. A.; Oliveira, A. M. S.; Monticeli, J. J. (2018). Gestão de riscos geológicos. Geologia de engenharia ambiental. ABGE. São Paulo.

Noce, C. M.; Sad, J. H. G.; Lobato, L. M.; Soares A. C. P.; Filho, B. S. S. (1997b). Geologia da Folha Curimataí. **Projeto Espinhaço em CD-ROM**. COMIG. Belo Horizonte.

Oliveira, M. A.; Andretta, E. R.; Filho, I. B. O.; Marmos, J. L.; Souza, A. G. H. (2022). Avaliação geotécnica nos atrativos geoturísticos de Presidente Figueiredo, AM. SBG/CPRM.

Pedrazzi, A. C.; Cunha, F. L. B.; Dias, R. (2022). Avaliação geotécnica da região dos câ nions do Xingó. SBG/CPRM. Rio de Janeiro.

Pflug, R. (1968). Observações sobre a Estratigrafia da Série Minas na Região de Diamantina. Notas Preliminares e Estudos. DNPM. Rio de Janeiro.

Pimentel, J.; Santos, T. D. (2018). Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa. **Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais**. Projeto GIDES. 1. CPRM. Rio de Janeiro.

Junior, W. R. (2016). Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. Dissertação de mestrado. IGC/UFMG. Belo Horizonte.

Saadi, A. (1995). A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais. Belo Horizonte. **Geonomos** 3(1), p. 41-63.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

Silva, L. F. M.; Kuhlmann, L. G.; Ribeiro, L. M. A. L. (2022). Avaliação geotécnica nos atrativos turísticos no Parque Nacional da Serra da Canastra: São Roque de Minas e Delfinópolis, MG. SBG/CPRM. Rio de Janeiro.

Silva, M. L. (2012). Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional: mapeamento e estoque de matéria orgânica. Dissertação de mestrado. FCA/UFVJM. Diamantina.

Sobreira, F. G. (1991). Riscos geológicos: definição de pontos críticos em Ouro Preto. Ouro Preto. **Revista da Escola de Minas**, 44 (3 e 4), p. 213-223.

Tominaga, L. K. (2007). Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo.

UN-ISDR. International Strategy for Disaster Reduction. (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction. UNO. Geneva.

Valadão, R. C. (1998). Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental: desnudação, superfície de aplanamento e movimentos crustais. Tese de doutorado. IGC/UFBA. Salvador.

https://doi.org/10.5281/zenodo.15554826

APÊNDICE I – Artigo submetido: Revista de Geociências do Nordeste

ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. X, nº X (20XX)

https://doi.org/10.21680/2447-3359.20XXvXnXID

Avaliação de riscos geológicos em áreas urbanas e em atrativos turísticos naturais: uma comparação entre aspectos metodológicos.

Geological risk assessment in urban areas and natural tourist sites: a comparative analysis of methodological approaches.

Nome primeiro autor[1]; Nome Segundo autor[2]; Nome terceiro autor[3] (preenchimento após aceite)

[1] Instituição, Unidade/Departamento, Cidade/UF, País. Email: xxxxxxxxxxxxx
ORCID: https://orcid.org/

[2] Instituição, Unidade/Departamento, Cidade/UF, País. Email: xxxxxxxxxxxxx
ORCID: https://orcid.org/

[3] Instituição, Unidade/Departamento, Cidade/UF, País. Email: xxxxxxxxxxxxx
ORCID: https://orcid.org/

Resumo: A ocorrência de movimentos de massa pode representar riscos significativos tanto em áreas urbanizadas quanto em balneários. A avaliação desses riscos demanda instrumentos metodológicos adaptados às especificidades de cada contexto. Este estudo apresenta uma análise comparativa entre fichas de vistoria aplicadas à avaliação de riscos geológicos em Diamantina (MG), uma voltada a balneários e outra a áreas urbanas. A metodologia foi estruturada em três etapas: (1) análise da estruturação das fichas de vistoria, (2) categorização e comparação dos parâmetros utilizados e (3) avaliação da aplicabilidade a partir de vistorias realizadas entre 2022 e 2025. Os resultados indicam que a ficha de vistoria de balneários demonstrou alta sensibilidade na análise de indícios de instabilidade e mecanismos de ruptura em maciços rochosos, embora exija equipe especializada e maior tempo de aplicação. Já, a ficha de vistoria de riscos urbanos, mais sintética e semiquantitativa, mostrou-se funcional em levantamentos extensivos, integrando fatores físicos e sociais na definição das áreas mais críticas. Apesar das diferenças de escopo e profundidade técnica, ambos os instrumentos são consistentes e adequados aos seus contextos de uso. Recomenda-se sua aplicação combinada em áreas de interface entre contextos naturais e urbanos, contribuindo para diagnósticos mais robustos e melhor gestão de riscos.

Palavras-chave: Avaliação de riscos geológicos, balneários, áreas urbanas.

Abstract: The occurrence of mass movements can pose significant risks in both urbanized areas and balnearies. Assessing these risks requires methodological tools tailored to the specificities of each context. This study presents a comparative analysis of inspection forms used for the assessment of geological risks in Diamantina (MG, Brazil): one designed for recreational sites and the other for urban areas. The methodology was structured in three stages: (1) analysis of the structure of the inspection forms, (2) categorization and comparison of the parameters used, and (3) evaluation of their applicability based on inspections conducted between 2022 and 2025. The results indicate that the inspection form for balnearies demonstrated high sensitivity in identifying signs of instability and failure mechanisms in rock masses, although it requires a specialized team and more time to apply. In contrast, the urban risk inspection form, more concise and semi-quantitative, proved effective for extensive surveys, integrating both physical and social factors to identify the most critical areas. Despite differences in scope and technical depth, both instruments were found to be consistent and appropriate for their respective contexts. A combined application is recommended in interface areas between natural and urban settings, contributing to more robust diagnostics and improved risk management.

Keywords: Geological risk assessment, balnearies, urban areas.

Recebido: xx/xx/xxxx; Aceito: xx/xx/xxxx; Publicado: xx/xx/xxxx.

1. Introdução

O planejamento urbano é fundamental para a gestão municipal, funcionando como um guia para o crescimento ordenado das cidades. No que diz respeito à interação entre a sociedade e o meio ambiente, a harmonia entre o desenvolvimento urbano e a preservação ambiental desempenha um papel crucial na expansão das áreas urbanas. Assim, é essencial minimizar os impactos da urbanização sobre o meio físico e reduzir a exposição da população a riscos geológicos, como deslizamentos. Para um ordenamento territorial eficaz, inúmeras são as ferramentas que devem estar disponíveis para os gestores, a fim de que a tomada de decisões seja efetivamente embasada.

É necessária a inclusão de considerações sobre suscetibilidade, perigo e risco geológico, em planos diretores municipais, no uso e ocupação dos solos e no planejamento de respostas de emergência para a segurança pública (MACEDO & BRESSANI 2013). Salienta-se ainda a importância de documentos cartográficos adequados e atualizados que descrevam as características geomecânicas, áreas de riscos e potencialidades de uma região.

Uma avaliação de riscos geológicos deve incluir uma detalhada compreensão quantitativa e qualitativa do risco, seus fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais e suas consequências (UNO 2004), que envolve o uso sistemático de informações para determinar a probabilidade de ocorrência de certos eventos e a magnitude de suas possíveis consequências.

Contudo, nos últimos anos foi revelada a relevância de se considerar outros riscos no que tange o planejamento dos municípios, como aqueles relacionados a atrativos turísticos naturais. Esses locais, frequentemente expostos a eventos geológicos, como movimentos de massa, exigem avaliações específicas para garantir a segurança dos visitantes e preservar o patrimônio natural. Dessa forma, é fundamental uma análise abrangente dos riscos geológicos, assegurando a proteção tanto da população quanto dos visitantes que acessam os atrativos naturais municipais.

Neste contexto, Diamantina, em Minas Gerais, torna-se um bom exemplo para a aplicação de técnicas de avaliação de riscos geológicos. A expansão urbana do município não ocorreu de forma homogênea (VARAJÃO 2015), intensificando-se nas últimas duas décadas. Nos anos recentes apresentou um crescimento desordenado e ausência de uma gestão urbana eficiente (LPA 2016 *in* FIDELIS & UMBELINO 2016). A falta de planejamento da ocupação do meio físico desde o início do desenvolvimento de Diamantina associada a intensa atividade garimpeira a partir do período colonial, o crescimento populacional e ainda restrições a urbanização, devido à topografia acidentada, contribuíram para o atual estágio de degradação ambiental e problemas de ordem geotécnica. Aliado a isso, a cidade conta com variado patrimônio natural e está situada na Serra do Espinhaço, reconhecida como Reserva Mundial da Biosfera pela UNESCO, em 2005 (IABS e RBSE 2017), além de ter grande importância histórica, sendo considerada patrimônio mundial pela UNESCO, em 1999. Dois fatores responsáveis pelo intenso turismo no município, atraindo um elevado número de visitantes aos balneários da região.

Discute-se aqui diferentes aspectos relacionados aos métodos empregados na avaliação geotécnica de balneários no município de Diamantina, apresentada por Junior & Parisi (2025), e na identificação e qualificação de riscos geológicos, associados a movimentos de massa, em áreas urbanas no distrito Sede da cidade.

2. Contexto regional

O município de Diamantina está localizado na Serra do Espinhaço (Figura 1), no Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. Desenvolveu-se sobre variado arcabouço litológico, constituído por rochas graníticas (Complexo Gouveia) e metassedimentares (Supergrupos Rio Paraúna, Espinhaço e São Francisco), além de intrusões metabásicas pós-Espinhaço. Contudo, a área urbana do distrito Sede foi consolidada sobre litologias das formações São João da Chapada e Sopa-Brumadinho (Figura 1), pertencentes ao Grupo Guinda (ALMEIDA-ABREU 1993), Supergrupo Espinhaço. A Formação São João da Chapada é composta por quartzitos micáceos, comumente grossos, associados a lentes de metaconglomerados polimíticos e metabrechas quartzíticas, filito hematítico e xistos verdes (FOGAÇA 1997; NOCE 1997b). A unidade sobrejacente, Formação Sopa-Brumadinho, é constituída por filitos, quartzo-filitos, quartzitos, metaconglomerados polimíticos e xistos verdes (níveis variados de metavulcanitos básicos). Os balneários avaliados também estão instalados nestas unidades, além de se estruturarem em rochas das formações Córrego Bandeira e Córrego Pereira, do Grupo Conselheiro Mata (DOSSIN *ET AL*., 1985) (Supergrupo Espinhaço), e Duas Barras, formação intermediária do Grupo Macaúbas (Figura 1). A Formação Córrego Bandeira corresponde a uma alternância não uniforme de filitos/metassiltitos e quartzitos finos (FOGAÇA, 1997). Estes quartzitos gradam para quartzitos puros da Formação Córrego Pereira, mas no

topo dessa unidade quartzitos feldspáticos são descritos. Já a Formação Duas Barras é caracterizada por quartzitos médios a grossos e mal selecionados, por vezes arcosianos, além de metarenitos com quantidades variadas de matriz, atingindo quase a sua ausência, com intercalações menores de microconglomerados polimíticos (FOGAÇA, 1997; GROSSI-SAD ET AL., 1997).

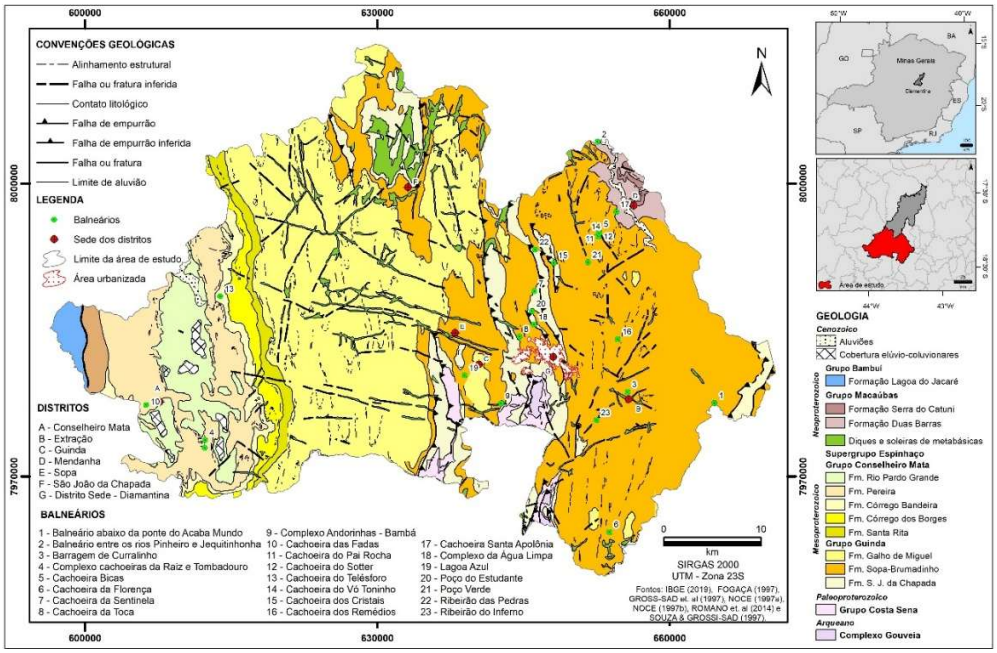


Figura 1. Mapa geológico simplificado da porção sul de Diamantina.
Fontes: IBGE (2019); Fogaça (1997); Grossi-Sad et al. (1997); Noce (1997a); Noce (1997b); KNAUER et al. (2014) e Souza & Grossi-Sad (1997).

A região é caracterizada por relevo muito acidentado (Figura 2), com altitudes que superam os 1500 metros. Ocorrem elevações e espigões de rochas nuas, que evidenciam uma paisagem com cobertura rígida influenciada pela ampla ocorrência de quartzitos. Apresenta-se intensamente fraturada e falhada, permitindo que a rede de drenagem esculturasse a paisagem segundo as direções tectônicas e estruturais, que é bastante evidente nos padrões de drenagem. Formas de relevo, como cristas, escarpas linhas de cumeada e grandes desníveis topográficos, como vales profundos, são marcadas por ampla ocorrência (SAADI 1995; VALADÃO 1998 *in* SILVA 2012; ALMEIDA-A BREU *et al.* 2005).

3. Materiais e métodos

Esta análise se baseou na comparação de dois instrumentos (fichas de vistoria) empregados na identificação e qualificação de riscos e perigos geológicos em diferentes contextos. A primeira ficha de vistoria foi elaborada para sua utilização na avaliação de perigos geológicos em atrativos naturais, como cachoeiras e balneários, ao passo que a segunda foi desenvolvida na avaliação de riscos associados a movimentos de massa em áreas urbanas.

As fichas foram examinadas quanto à estrutura, aos critérios para identificação e caracterização de perigos e riscos, além das variáveis consideradas na análise geotécnica. A metodologia adotada compreendeu a descrição detalhada dos formulários e os aspectos relacionados a sua elaboração, identificação dos parâmetros comuns e específicos, bem como a avaliação da adequação de cada ficha aos respectivos contextos de aplicação. A seguir, são apresentadas as etapas do procedimento metodológico (Figura 3) e os critérios utilizados para a comparação sistemática, que permitiram avaliar as diferenças e convergências entre os instrumentos, além de analisar sua eficácia na coleta e interpretação de dados em contextos distintos: áreas urbanas e balneários. Três etapas metodológicas foram executadas: análise da estruturação das

fichas de vistoria; categorização e comparação dos parâmetros utilizados para identificação e qualificação dos perigos e riscos; e avaliação da sua aplicabilidade.

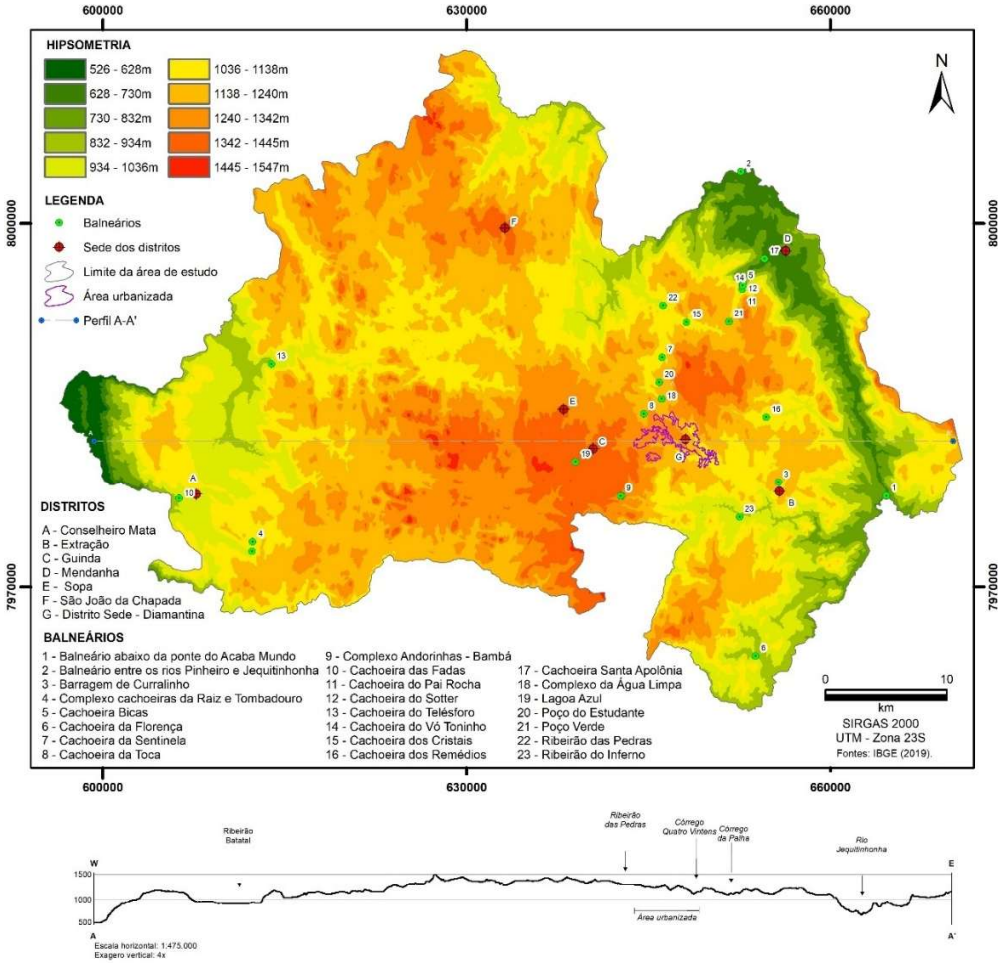


Figura 2. Mapa hipsométrico da porção sul de Diamantina e perfil topográfico da região.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

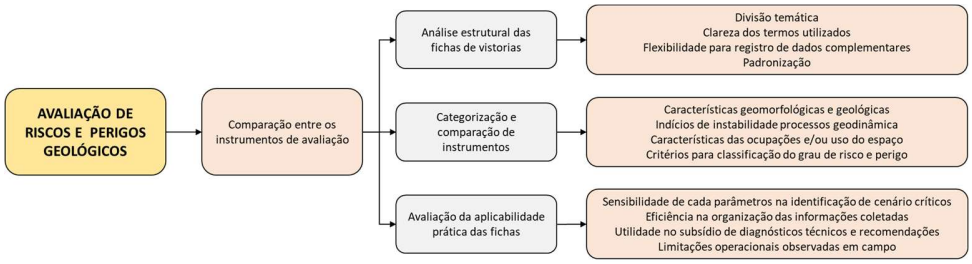


Figura 3. Procedimento metodológico aplicado na comparação sistemática entre as fichas de vistoria.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A análise da estruturação das fichas de vistoria se concentrou em sua organização. Nesta primeira etapa, verificou-se a divisão temática dos campos a serem preenchidos, clareza dos termos utilizados, possibilidade de registro de observações complementares e sua padronização. Essa avaliação visou compreender a funcionalidade de cada instrumento como ferramenta na qualificação de riscos e, consequente, suporte à tomada de decisão em ações de prevenção e gestão de riscos geológicos.

Durante a segunda etapa, realizou-se uma análise detalhada dos parâmetros adotados em cada ficha, agrupando-os nas categorias abaixo. Cada um desses grupos foi comparado quanto à definição dos parâmetros e aplicabilidade prática dos dados obtidos, considerando os objetivos específicos de cada ficha.

1. Características geomorfológicas e geológicas do terreno (morfologia, declividade, altura da encosta, litologia, grau de alteração e cobertura superficial);
2. Indícios de instabilidade e processos geodinâmicos (trincas, escorregamentos, blocos instáveis, evidências de solapamento, entre outros);
3. Características das ocupações e/ou uso do espaço (tipologia construtiva, densidade de ocupação, posição em relação à encosta, presença de elementos vulneráveis);
4. Critérios e escalas para classificação do grau de perigo e risco.

Na última etapa, foi realizada a avaliação da aplicabilidade de cada instrumento baseada nas descrições de campo realizadas entre os anos de 2022 e 2025 no município de Diamantina. A aplicação das fichas permitiu verificar a sensibilidade de cada uma na identificação de cenários críticos, a eficiência na organização das informações coletadas e sua utilidade para subsidiar diagnósticos técnicos. Também, considerou-se suas limitações observadas em campo, como a necessidade de ajustes nos parâmetros ou problemas em seu preenchimento.

A seguir são apresentadas, de forma sumarizada, as metodologias adotadas na avaliação de riscos geológicos relacionados a movimentos de massa, tanto em atrativos turísticos naturais quanto em áreas urbanas, que constituem os objetos desta comparação sistemática.

A ficha de vistoria elaborada para avaliação de perigos geológicos associados a balneários foi proposta a partir das análises apresentadas por Junior & Parisi (2025) e que foram executadas em alguns atrativos turísticos naturais no município de Diamantina. A caracterização envolveu a descrição de propriedades geomecânicas dos maciços rochosos nos quais cachoeiras se estruturam, identificação de indícios de ocorrência de processos geodinâmicos e de instabilidade, além de cenários de iminente deflagração de movimentos de massa. A sequência metodológica é sintetizada no organograma apresentado na figura 4.

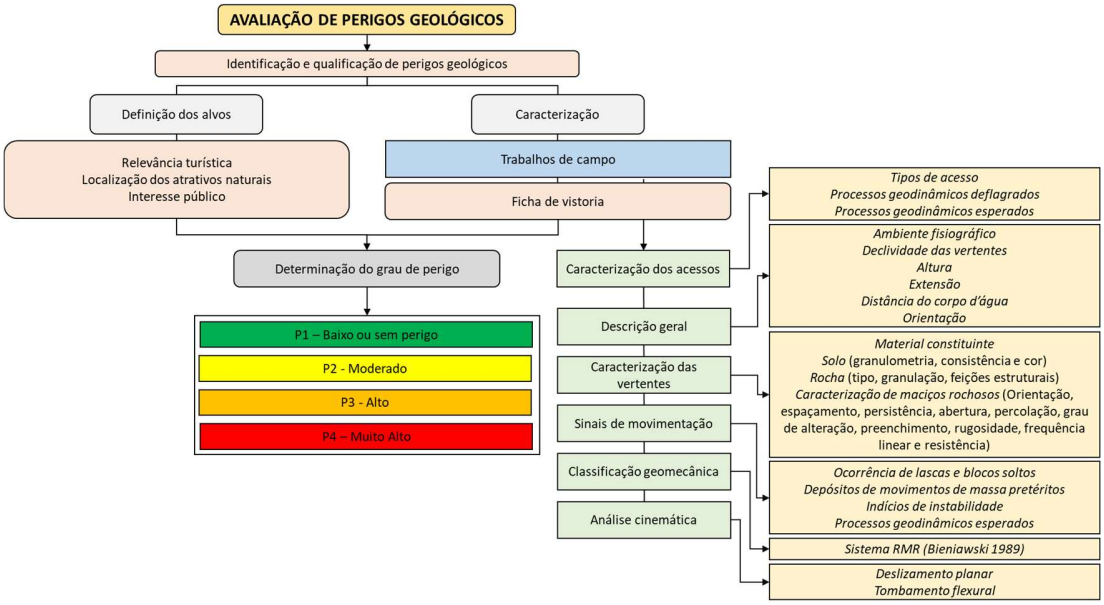


Figura 4. Sequência metodológica aplicada na avaliação de perigos geológicos em balneários.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para a qualificação de perigo geológico associado a cada balneário se utilizou parcialmente e com algumas modificações a metodologia proposta pelo Projeto GIDES (PIMENTEL & SANTOS, 2018). Junior & Parisi (2025) estabelecem os seguintes cenários de perigo geológico:

- ***Baixo (P1)*** – Os balneários não apresentam feições de instabilidade e embora possa haver raros e pequenos depósitos gerados por antigos movimentos de massa, a possibilidade de futura deflagração é baixa. Nesses locais, espera-se observar maciços rochosos com descontinuidades fechadas, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal, grau de fraturamento baixo e com mergulhos contrários aos taludes. Esta condição geométrica permite que os possíveis blocos formados estejam assentados sobre estrutura planar confinante, impossibilitando movimentação. Podem estar relacionadas a áreas sem grandes quebras topográficas e ocorrência de maciços rochosos em seu entorno, reduzindo a probabilidade de outros processos geodinâmicos.
- ***Moderado (P2)*** – Estes atrativos naturais não apresentam conspícuas feições de instabilidade e ainda que ocorram depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa pretéritos, a suscetibilidade a tais processos geodinâmicos é moderada. Mesmo que possam ser observados blocos rolados, estes são muito angulosos e, de modo geral, bastante imbricados, reduzindo a probabilidade de rolamento. Nesses locais, podem ser observadas famílias de descontinuidades com aberturas variadas, sem indícios de considerável percolação de água e colonização vegetal. Contudo, pode haver cenários isolados suscetíveis a movimentação de blocos rochosos em áreas de difícil acesso aos visitantes.
- ***Alto (P3)*** – Nestes locais são observados relevantes indícios de instabilidade e depósitos sedimentares gerados por movimentos de massa anteriores, a suscetibilidade a movimentos de massa é alta. Observam-se descontinuidades abertas, intensa percolação de água e colonização vegetal, além de um elevado grau de fraturamento. Podem ser identificados inúmeros blocos rochosos que já sofreram movimentação e/ou estão em situação de iminente queda, contudo, podem estar assentados em descontinuidades com mergulho contrário aos paredões das cachoeiras. De modo geral, estão relacionados a vales encaixados.
- ***Muito alto (P4)*** – As feições de instabilidade são patentes, observam-se depósitos gerados por movimentos de massa anteriores e cicatrizes de escorregamentos. A probabilidade de ocorrência desses processos geodinâmicos é muito alta. Comumente, as estruturas que seccionam os maciços rochosos são muito abertas, caracterizadas por elevado grau de fraturamento, colonização vegetal e intensa percolação, apresentando sinais de surgência de água. De modo geral, estão relacionados a paredões rochosos verticalizados. Podem ser descritos inúmeros blocos caídos e/ou em situação de movimentação iminente, como calhaus sem sustentação e blocos assentados em descontinuidades desconfinadas, cujo plano de base mergulha no mesmo sentido que as paredes do balneário.

Para a identificação e caracterização de riscos geológicos em áreas urbanas foi elaborada uma ficha de vistoria fundamentada nas metodologias propostas por Ministério das Cidades & IPT (2007), Campos (2011), Pimentel & Santos (2018), Lana *et al.* (2021) e Menezes (2021). As atividades incluíram a análise da vulnerabilidade das ocupações, considerando aspectos como infraestrutura, características construtivas, posicionamento em relação à encosta e sinais de instabilidade. Foram também descritas as características do terreno, abrangendo morfologia, declividade, altura da encosta, curvatura, composição litológica, grau de alteração, cobertura superficial e presença de vegetação. Além disso, foram avaliadas as condições das áreas vistoriadas, com foco na identificação de indícios de instabilidade, agentes potencializadores e tipologia dos processos geodinâmicos presentes. O procedimento aplicado no distrito Sede do município de Diamantina foi compreendido nas etapas de pré-setorização, identificação e caracterização dos riscos e a determinação do grau de risco geológico, conforme apresentado na figura 5.

Para a qualificação de risco geológico em áreas urbanas se utilizou os critérios de classificação propostos por Campos (2011), que considera a presença de agentes potencializadores (vazamentos, surgência de água, fossa, disposição de materiais, entre outros) e de indícios de instabilidade (árvores inclinadas, trincas no terreno, cicatrizes de escorregamentos, degraus de abatimento, entre outros), além da vulnerabilidade da edificação e a relação entre altura da encosta e o afastamento da edificação. Contudo também considera fatores que atenuam o risco (obras executas, baixa ou nula possibilidade de a edificação ser atingida pelo processo e a constituição e estrutura do talude). Lana *et al.* (2021) descrevem os seguintes cenários de risco geológico, inicialmente delimitados por Ministério das Cidades e IPT (2007):

- ***Baixo ou inexistente (R1)*** – 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. Não são observadas evidências de instabilidade e não há indícios de

desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. Caso seja mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.

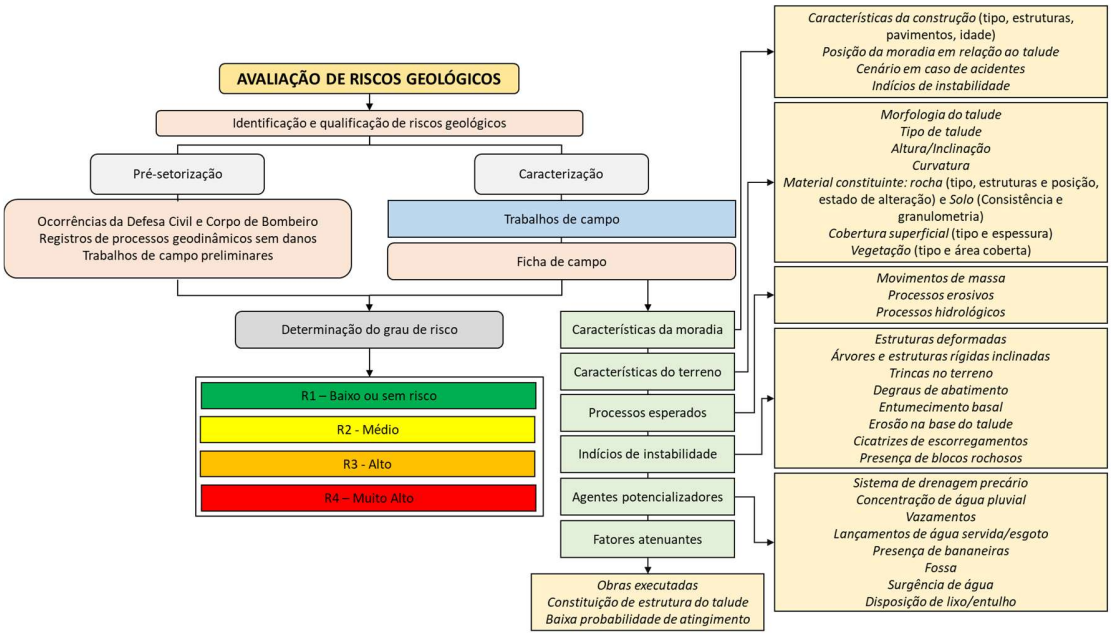


Figura 5. Sequência metodológica aplicada na avaliação de perigos geológicos em áreas urbanas. Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

- ***Médio (R2)*** – 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. É observada a presença de evidências de instabilidade (encostas e margens de drenagens, porém incipientes. Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. Em caso de manutenção das condições existentes a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos é reduzida durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
- ***Alto (R3)*** – Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção antrópica no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Podem ser observadas presença significativa de evidência de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, mas ainda sendo possível o monitoramento da evolução do processo. 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.
- ***Muito alto (R4)*** – 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. As 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, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. O 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. Caso sejam 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.

4. Resultados e discussões

A análise das fichas de vistoria empregadas em campo revelou diferentes abordagens e profundidades técnicas na avaliação de perigos e riscos geológicos. O que reflete não só as especificidades dos contextos nos quais foram utilizados, mas também as diferentes finalidades que orientaram sua elaboração.

A partir da comparação sistemática desses instrumentos e de suas respectivas aplicações em balneários e áreas urbanas no município de Diamantina, foi possível identificar padrões, limitações e potencialidades que contribuem para a compreensão da eficácia dessas ferramentas na prevenção de acidentes geológicos e no planejamento territorial. Dessa forma, buscou-se interpretá-las sob uma ótica crítica de como a estrutura e parâmetros em cada uma delas influenciaram na leitura dos cenários de riscos observados em campo.

A primeira etapa deste trabalho teve como objetivo a compreensão da organização interna de cada ficha de vistoria, atentando-se para aspectos como a disposição das informações no documento, a lógica de preenchimento, o nível de detalhamento requerido e a clareza na apresentação dos campos. A análise também considerou a possibilidade de registro de observações adicionais nas fichas, além de sua adequação às condições de trabalho em campo e à realidade técnica dos usuários.

A ficha de vistoria desenvolvida para avaliação de perigos em balneários foi a primeira a ser analisada. Esta corresponde a um extenso formulário idealizado para abranger cenários com grande variabilidade de características geotécnicas. Sua organização reflete uma lógica de análise setorizada, focada na caracterização de uma ou mais vertentes que compõem os balneários analisados. Isso permite que cada porção da paisagem seja tratada individualmente como um setor independente, com registros próprios (feições de processos geodinâmicos, condições de estabilidade, entre outros).

O preenchimento desta ficha exige a identificação minuciosa das características do terreno, sobretudo no que tange a presença e o padrão de descontinuidades geomecânicas (foliação, acamamento, fraturas). A descrição detalhada de parâmetros como orientação, espaçamento, persistência, preenchimento, grau de alteração, rugosidade e percolação das descontinuidades, permite a classificação geomecânica dos maciços rochosos, com a aplicação do sistema *RMR*, estimando assim parâmetros mecânicos, como ângulo de atrito interno e coesão, fundamentais para a análise cinemática. Esta avalia a suscetibilidade de deflagração de deslizamentos planares e tombamentos flexurais, por meio da análise da relação angular entre as descontinuidades e as vertentes descritas.

A disposição gráfica desta ficha favorece a coleta sistematizada de dados em campo, oferecendo espaços delimitados para croquis e fotografias. Ainda assim, sua estrutura densa e bastante específica pressupõe o domínio de conceitos de geologia de engenharia e de mecânica das rochas, sendo recomendada para equipes técnicas com formação específica e experiência em avaliações geotécnicas. Esta foi elaborada com certa rigidez metodológica, mas permite adaptações, como folhas replicáveis para casos em que há múltiplas vertentes ou descontinuidades geomecânicas de maior relevância no condicionamento de processos da dinâmica superficial.

Já a ficha de vistoria utilizada para a avaliação de riscos geológicos em áreas urbanas é caracterizada por uma estrutura mais sintética e funcional, focando na moradia como ponto central de análise. Esta organização favorece o preenchimento rápido e objetivo, distribuindo os campos de forma linear e com linguagem acessível, o que amplia sua aplicabilidade junto a equipes multidisciplinares.

A lógica desta ficha está associada à identificação de risco geológico com base na relação entre os processos da dinâmica superficial e as condições de ocupação urbana. Dessa forma, aspectos como morfologia do terreno, tipo de construção, posição das edificações em relação aos taludes e os indícios de instabilidade são tratados de forma integrada.

Esta ficha de vistoria também permite o registro de observações e imagens complementares, mesmo que mais resumidamente que a primeira analisada. Sua estrutura mais enxuta favorece a aplicabilidade em levantamentos extensivos e a clareza dos termos utilizados e a lógica sequencial do preenchimento tornam esse instrumento eficiente em ações de campo com tempo reduzido ou infraestrutura limitada.

Observa-se que cada ficha de vistoria foi elaborada de acordo com as demandas específicas do contexto a que se destina. Enquanto a ficha destinada a caracterização de balneários prioriza o rigor técnico e uma análise mais detalhada das suscetibilidades a processos geodinâmicos nessas áreas, a ficha destinada a identificação e qualificação de riscos urbanos enfatiza a agilidade, a síntese diagnóstica e a integração entre fatores físicos e sociais. A estrutura da primeira ficha é mais complexa e modular, demandando maior tempo e especialização para sua aplicação, ao passo que a segunda, apresenta maior uniformidade e simplicidade, com potencial para uso em campanhas sistemáticas por equipes de diferentes perfis técnicos.

As duas fichas de vistorias evidenciam coerência interna e adequação metodológica, cumprindo funções distintas, porém complementares, sob uma ótica mais abrangente da gestão de riscos geológicos. A compreensão de suas estruturas revela não apenas suas potencialidades técnicas, mas também as limitações operacionais que podem surgir em campo, dependendo da capacitação da equipe, do tempo disponível para a vistoria e da complexidade dos terrenos avaliados.

A segunda etapa desta análise concentrou-se na identificação, categorização e comparação dos parâmetros adotados em cada uma das fichas de vistoria, objetivando a compreensão de como os diferentes conjuntos de dados contribuíram para a identificação e qualificação dos perigos e riscos geológicos em seus respectivos contextos de aplicação. Os parâmetros foram organizados em quatro categorias: (1) Características geomorfológicas e geológicos do terreno, (2) indícios de instabilidade e processos geodinâmicos mapeados em campo, (3) características das ocupações e/ou do uso do espaço e (4) critérios utilizados para a classificação do grau de perigo ou risco. Essa abordagem possibilitou a observação do grau de sobreposição entre as fichas, bem como os parâmetros exclusivos que caracterizam a adequação do método a cenários específicos, seja para uso turístico ou urbano.

No que tange os parâmetros referentes a primeira categoria, ambas as fichas visam o registro de variáveis como morfologia, declividade, litologia, tipo de solo, grau de alteração e presença de cobertura superficial. Contudo, a forma como essas variáveis são abordadas difere consideravelmente. Na ficha de vistoria de balneários, esses parâmetros são tratados de forma mais aprofundada, por meio de descrição detalhada das descontinuidades geomecânicas que controlam a estabilidade dos maciços rochosos. Já a ficha de vistoria de áreas urbanas adota um tratamento mais simplificado, voltado à identificação das condições gerais do terreno, como o tipo de talude (natural, corte ou aterro), a curvatura das encostas e a consistência do solo. Essa abordagem está mais direcionada à avaliação da estabilidade do terreno em função da ocupação humana do que à caracterização geomecânica do arcabouço geológico.

No que diz respeito a segunda categoria, relacionada aos indícios de instabilidade e processos geodinâmicos descritos em campo, os dois instrumentos convergem quanto à importância da observação direta de feições que indicam movimentação de massa, como trincas, degraus de abatimento, cicatrizes de escorregamentos e evidências de processos erosivos. Mesmo assim, a metodologia empregada para a análise dos balneários apresenta um espectro mais amplo de possibilidades interpretativas. O que permite a diferenciação entre distintos mecanismos de ruptura (planar, em cunha, circular, tombamento ou mais complexos). Ainda, nota-se atenção especial à presença de depósitos de pretéritos movimentos de massa, cuja identificação é essencial para avaliar a recorrência do processo deflagrado.

Por outro lado, o segundo instrumento analisado enfatiza os efeitos dos processos geodinâmicos sobre as moradias e estruturas de uso urbano, sendo comum o registro de deformações em edificações, inclinação de elementos estruturais verticais e obstrução de sistemas de drenagens, conferindo ao formulário uma abordagem mais voltada à vulnerabilidade física e funcional do espaço urbano.

Na terceira categoria analisada é verificada uma diferenciação conspícua entre as fichas de vistoria. Aquela, destinada a áreas urbanas, considera variáveis como o tipo de construção, idade da edificação, número de pavimentos e posição da moradia em relação à encosta. Essa dimensão de análise permite incorporar fatores relacionados à vulnerabilidade social e estrutural, essenciais para a avaliação de risco em cenários urbanos. Em contrapartida, a ficha de vistoria de balneários não contempla esse tipo de variável de forma sistematizada. Embora preveja a caracterização dos acessos e permita inferências sobre o uso turístico, não há campos específicos para descrição do fluxo de pessoas, da frequência de visitação ou da permanência em áreas suscetíveis a movimentos de massa. Este fato representa uma limitação em contextos nos quais a exposição humana ao risco é sazonal, porém intensa.

A última categoria avalia os parâmetros empregados na qualificação de perigo ou risco. As duas metodologias apresentam critérios de classificação que visam a sistematização das informações obtidas em campo para a determinação do grau de perigo ou risco geológico relacionado a cada cenário avaliado.

Para a classificação de perigos associados a balneários é adotada uma abordagem qualitativa, baseada em critérios técnicos interpretativos, que resultam em uma qualificação do perigo em quatro classes (Baixo a inexistente – P1, moderado – P2, alto – P3 e muito alto – P4), acompanhada por justificativa técnica. Esse sistema se ancora no conhecimento técnico do avaliador, exigindo julgamento fundamentado com base nas evidências estruturais e geomecânicas observadas.

Já a ficha de vistoria de áreas urbanas utiliza um modelo semiquantitativo, baseado em pontuações atribuídas a diferentes critérios, como presença ou não de agentes potencializadores (vazamentos, lançamentos de água servida, surgência de água, fossa séptica, entre outros) e de indicativos de instabilidade (trincas no terreno, degraus de abatimento, entumecimento basal, etc), relação entre altura da encosta e afastamento da edificação, vulnerabilidade da edificação e fatores atenuantes, como existência de obras, entre outros. O resultado da somatória corresponde a qualificação geral do risco em uma das quatro classes (Baixo a inexistente – R1, médio – R2, alto – R3 e muito alto – R4), o que facilita a

comparação entre diferentes áreas e a definição de prioridades para intervenções. A padronização contribui para a uniformização dos dados, porém, pode implicar perda de nuances técnicas em contextos de maior complexidade geológica.

A comparação entre as fichas de vistoria evidencia uma dicotomia metodológica que reflete os diferentes enfoques adotados. De um lado, um modelo voltado à análise geológico-geotécnica em ambientes naturais, e de outro, um instrumento mais funcional, direcionado à caracterização do risco em ambientes de ocupação urbana. A sobreposição parcial entre os parâmetros adotados, especialmente nos aspectos geomorfológicos e nos indícios de instabilidade, deixa evidente que ambos os instrumentos compartilham de uma base técnica comum, embora sejam adaptados para objetivos distintos. Essa diferenciação justifica o uso de abordagens específicas conforme o contexto analisado, mas também aponta para o potencial de integração entre as fichas em diagnósticos mais amplos e intersetoriais.

A última etapa desta análise focou a avaliação da aplicabilidade prática das fichas de vistoria. A aplicação sistemática destas, uma voltada para atrativos turísticos naturais e outra para áreas urbanas, permitiu observar, na prática, como cada estrutura metodológica responde às exigências de campo, quais são seus pontos fortes e suas limitações, e em que medida os dados coletados se mostraram úteis para a elaboração de diagnósticos técnicos.

A ficha de vistoria de balneários demonstrou elevada eficácia na caracterização dos setores avaliados, sobretudo em cachoeiras, que caracteristicamente estão instaladas em paredões rochosos, com descontinuidades geomecânicas marcantes e indícios de instabilidade evidentes. Sua organização favorece o registro detalhado das estruturas geológicas e dos potenciais processos geodinâmicos, permitindo que o avaliador documente, com base em critérios geomecânicos, tanto as condições atuais quanto a suscetibilidade a processos futuros. Essa capacidade analítica se mostrou particularmente importante em atrativos turísticos naturais com intenso uso público, como cachoeiras com trilhas de acesso por vertentes íngremes. A ficha contribuiu de forma significativa para a indicação dos setores mais críticos, embasando a proposição de ações para a gestão do perigo geológico, como restrições de acesso a determinadas áreas, sinalização de perigo e orientação de uso seguro destes locais, proposição de manejos específicos e de estudos geotécnicos complementares.

Contudo, a aplicação desse instrumento também revelou limitações. A exigência de coleta de dados estruturais específicos impõe a necessidade de uma equipe técnica especializada, equipada e com tempo adequado para o levantamento. Em locais de difícil acesso ou sob condições climáticas desfavoráveis, a obtenção de todos os dados previstos na ficha nem sempre foi possível, levando ao preenchimento parcial de alguns campos. Além disso, o volume de dados gerado em cada vistoria pode dificultar a posterior sistematização e comparação entre áreas diferentes, a menos que se adote uma rotina padronizada de organização e análise dos dados.

Por sua vez, a ficha de vistoria de áreas urbanas revelou-se uma ferramenta ágil e adaptável, especialmente adequada para contextos nos quais há necessidade de vistoriar rapidamente um grande número de edificações em áreas potencialmente instáveis. A lógica semiquantitativa empregada permitiu a consolidação dos dados em classificações padronizadas, facilitando a indicação das áreas mais críticas para a atuação do poder público.

Embora a ficha permita o registro de observações complementares, a estruturação linear do formulário, baseada em pontuações fechadas, dificulta a incorporação de variáveis atípicas ou não previstas, exigindo que o técnico mantenha atenção para não reduzir o diagnóstico apenas ao somatório das notas.

De modo geral, a aplicação dessas fichas em campo evidenciou que ambos os instrumentos cumprem suas finalidades quando utilizados em seus contextos originais. O primeiro formulário é muito sensível à identificação de indícios de instabilidade e permite análises técnicas profundas, ainda que seu uso requeira maior preparo técnico e tempo operacional. Já a segunda ficha de vistoria demonstrou versatilidade e rapidez.

A comparação sistemática dos dois instrumentos reafirma o caráter complementar das abordagens. Enquanto um privilegia o detalhamento geológico-geotécnico, o outro reforça a integração com aspectos sociais, construtivos e operacionais das áreas avaliadas. Essa complementaridade sugere que, em situações de maior complexidade ou em regiões com forte interface entre contextos naturais e urbanos, como ocorre em alguns lugares em Diamantina, a adoção combinada dos dois instrumentos pode ampliar significativamente a qualidade do diagnóstico de risco e a efetividade das estratégias de gestão destes.

4. Considerações finais

A análise comparativa entre as fichas de vistoria utilizadas na avaliação de perigos e riscos geológicos em atrativos turísticos naturais e em áreas urbanas permitiu demonstrar como a estrutura, os critérios metodológicos e os contextos de aplicação influenciam diretamente na eficácia de cada ferramenta. Ao longo deste estudo, buscou-se não apenas descrever

as diferenças e convergências entre as fichas, mas também refletir sobre sua adequação prática às realidades territoriais e operacionais observadas no município de Diamantina.

A ficha desenvolvida para a análise dos balneários mostrou-se muito eficaz na identificação de indícios de instabilidade em ambientes naturais, sobretudo associados a maciços rochosos, especialmente em contextos nos quais a atuação de processos da dinâmica superficial é fortemente condicionada por estruturas geológicas preexistentes. Seu nível de detalhamento técnico e a incorporação de elementos como a classificação geomecânica e a análise cinemática permitem diagnósticos aprofundados e sugestão de intervenções direcionadas, embora sua aplicação demande tempo, expertise e condições adequadas de campo. Já a ficha aplicada em áreas urbanas se destaca por sua funcionalidade, rapidez de preenchimento e capacidade de integrar elementos físicos e sociais, o que a torna valiosa em ações de diagnóstico preliminar, priorização de áreas críticas e apoio a políticas públicas de gestão de risco geológico.

Mais do que definir qual instrumento seria mais eficaz, a análise realizada reforça que ambos são metodologicamente consistentes e complementares. Cada ficha reflete uma abordagem coerente com os desafios que se colocam nos respectivos ambientes, e sua combinação pode potencializar o alcance das avaliações, especialmente em regiões de transição entre espaços urbanos e naturais, realidade comum em municípios inseridos em contextos de relevo acidentado, como Diamantina.

Do ponto de vista prático, a utilização conjunta desses instrumentos pode subsidiar planos de manejo, políticas de ordenamento territorial e estratégias preventivas em cenários de risco, desde que acompanhadas por protocolos claros de aplicação, capacitação das equipes envolvidas e adequações às particularidades locais. Por outro lado, a experiência de campo também evidenciou limitações e pontos que podem ser aperfeiçoados, como a inclusão de indicadores de uso e permanência humana em atrativos turísticos naturais ou a ampliação da caracterização das descontinuidades geomecânicas em contextos urbanos mais complexos.

Assim, este estudo contribui para o avanço metodológico na avaliação de perigos e riscos geológicos, especialmente ao propor uma leitura integrada entre diferentes instrumentos de análise. Espera-se que as reflexões aqui desenvolvidas possam estimular futuras pesquisas que aprofundem a aplicação comparativa de metodologias em diferentes escalas e realidades geográficas, contribuindo para o fortalecimento da avaliação e gestão de risco no território brasileiro.

Referências

Almeida-Abreu, P. A. *A Evolução Geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil.* Tese de doutorado. Freiburg: Universidade de Freiburg. 1993.

ALMEIDA-ABREU, P.; FRAGA, L. M. S. e NEVES, S. C. *Capítulo II – Fisiografia*. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C.V. S. F. E ALMEIDA-ABREU, P. A. *Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes*. Belo Horizonte: O Lutador. 2005.

Campos, L. C. *Proposta de reanálise do risco geológico-geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte – Minas Gerais*. Escola de Engenharia/UFMG: Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado. 139p. 2011.

Dossin I. A.; Chaves M. L. S. C.; Uhlein A. e Alvarenga, C. J. S. *Geologia e depósitos diamantíferos da região de Sopa, Diamantina, Minas Gerais*. In: Anais, 3º Simpósio de Geologia de Minas Gerais. 1985

FIDELIS V. P. & UMBELINO, G. *Análise da expansão urbana em Diamantina entre 2011 e 2014*. In: 17º Seminário sobre a Economia Mineira. Diamantina, p. 1-10. 2016.

Fogaça A.C.C. *Geologia da folha Diamantina*. In: Grossi-Sad J. H.; Lobato L.M.; Pedrosa-Soares A.C. e Soares-Filho B.S. (coords e eds). Projeto Espinhaço em CD-ROM (Textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG. 1997.

Grossi-Sad J. H., Roque N. C., Knauer L. G., Noce C. M., Fonseca E. da. *Geologia da Folha Carbonita.* In: Grossi-Sad J. H.; Lobato L. M.; Pedrosa-Soares A. C. e Soares-Filho B. S. (coords e eds). Projeto Espinhaço em CD-ROM (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte: COMIG. 1997.

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS) e Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE). *Revista Brasileira da Biosfera da Serra do Espinhaço*, v. 1, n. 1. Brasília. 2017.

Knauer L.G., Romano A.W., Friedmann M., Ferreira M. P. *Geologia e recursos minerais da folha Corinto SE.23-Z-A-II*: estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, CPRM, 68 p. 2014.

Junior, W. dos R. ., & Parisi, M. G. *Avaliação geotécnica de balneários no município de Diamantina, Minas Gerais*. R*evista Espinhaço*, *15*(1). 2025.

LABORATÓRIO DE POPULAÇÃO E AMBIENTE (LPA). *Geotecnologias aplicadas ao Cadastro Multifinalitário de Diamantina.* Relatório de pesquisa (circulação restrita). Diamantina: LPA/CEGEO. 2016.

Lana, J. L.; Jesus de, D. & Antonelli, T. (Orgs.). *Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial, volume 3 – Setorização de áreas de risco geológico*. Brasília: CPRM. 49p. 2021.

Macedo E.S. & Bressani L. A. (orgs). *Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo.* São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental e Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2013. 88p.

MENEZES, L. O. *Metodologia para gestão de riscos geológico-geotécnicos em áreas urbanas: os casos do Concelho do Porto e Contagem, MG*. IGC/UFMG e Faculdade de Engenharia/Universidade do Porto: Belo Horizonte. Tese de doutoramento. 540p. 2021.

MINISTERIO DAS CIDADES; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Brasília. 176 p. 2007.

Noce C. M. *Geologia da Folha Curimataí*. In: Grossi-Sad J. H.; Lobato L. M.; Pedrosa-Soares A. C. e Soares-Filho B. S. (coordenadores e editores). Projeto Espinhaço em CD-ROM (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG. 1997.

Pimentel, J. e Santos, T.D. (Orgs). *Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa – Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais – Projeto GIDES*. 1º ed. Rio de Janeiro: CPRM. 2018.

Saadi, A. *A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais.* Belo Horizonte: Geonomos 3(1): 41-63. 1995.

Silva, M. L. *Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional: mapeamento e estoque de matéria orgânica*. Dissertação de mestrado. Diamantina: FCA/UFVJM. 2012.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. *Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*. Genebra: ONU. 2004.

Valadão, R. C. *Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental: desnudação, superfície de aplanamento e movimentos crustais.* (Tese de doutorado). IGC/UFBA: Salvador, 1998.

Varajão G. F. D. *Por uma Geografia de Diamantina-MG.* 2015. 232f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

ANEXO A – Parâmetros utilizados na caracterização geomecânica de maciços rochosos

Quadro 1 – Classificação do espaçamento das descontinuidades

Descrição	Espaçamento (mm)
Extremamente próximas	<20
Muito próximas	20 - 60
Próximas	60 - 200
Moderadamente próximas	200 - 600
Afastadas	600 - 2000
Muito afastadas	2000 - 6000
Extremamente afastadas	>6000

Fonte: ISRM (1989).

Quadro 2 – Classificação da persistência das descontinuidades

Descrição	Persistência (m)
Persistência muito baixa	<1
Persistência baixa	1 - 3
Persistência mediana	3 - 10
Persistência alta	10 - 20
Persistência muito alta	>20

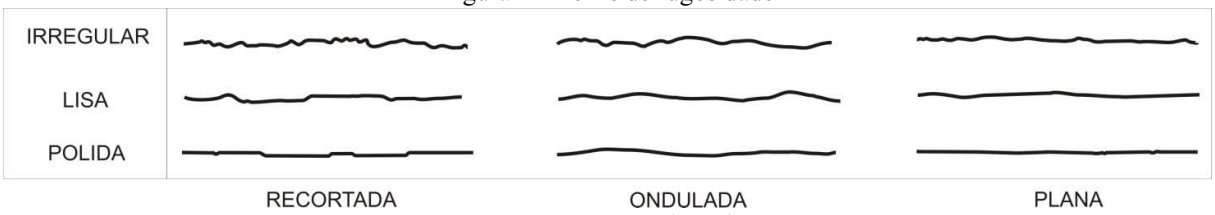
Fonte: ISRM (1989).

Quadro 3 – Classificação da abertura das descontinuidades.

Descrição		Abertura (mm)
Fechadas	Muito apertada	<0,1
	Apertada	0,1 - 0,25
	Parcialmente aberta	0,25 - 0,5
Abertas	Aberta	0,5 - 2,5
	Moderadamente larga	2,5 - 10
	Larga	>10
Afastadas	Muito laga	10 - 100
	Extremamente larga	100 - 1000
	cavernosa	>1000

Fonte: ISRM (1989).

Figura 1 – Perfis de rugosidade



Fonte: ISRM (1989).

Quadro 4 – Permeabilidade e conteúdo de água nas descontinuidades

Descontinuidades sem preenchimento	Descontinuidades preenchidas	Grau
A descontinuidade é muito fechada e seca, não parecendo ser possível o aparecimento de fluxos de água.	O preenchimento é fortemente consolidado e seco, improvável presença de fluxos de água significativos devido a baixa permeabilidade.	1
A descontinuidade é seca com nenhuma evidência de fluxo de água.	O preenchimento está úmido, mas não apresenta água livre.	2
A descontinuidade é seca, mas mostra evidência de fluco de água (manchas de ferrugem, etc)	O preenchimento está molhado, com gotas de água ocasionais.	3
A descontinuidade é úmida, mas não existe água livre.	O preenchimento mostra sinais de lavagem e fluxo de água contínua.	4
A descontinuidade apresenta percolação, ocasionalmente apresenta gotas de água, mas não fluxo contínuo.	Os materiais de preenchimento estão lavados localmente, apresentando fluxo considerável de água ao longo dos canais de carregamento.	5
A descontinuidade mostra um fluxo contínuo de água.	O preenchimento apresenta-se completamente lavado e existe considerável pressão de ágia, principalmente na primeira exposição.	6

Fonte: ISRM (1989).

Quadro 5 – Qualidade de maciços rochosos

RQD (*Rock Quality Designation*)	Descrição de qualidade de rocha
0 - 25%	Muito Ruim
25 - 50%	Ruim
50 - 75%	Razoável
75 - 90%	Bom
90 - 100%	Excelente

Fonte: Deere (1964).

Quadro 6 – Ensaios manuais para estimar a resistência de materiais de preenchimentos coesivos e rochosos.

Sigla	Descrição	Características no campo	Valor aproximado de resistência (kPa)
S1	Argila muito mole	Facilmente penetrada com o pulso	<0,025
S2	Argila mole	Facilmente penetrável com o dedo polegar	0,025 - 0,05
S3	Argila firme	Penetrável com o dedo polegar com esforço moderado	0,05 - 0,10
S4	Argila rígida	Prontamente amoldada com o dedo polegar, porém penetrável somente com grande esforço	0,10 - 0,25
S5	Argila muito rígida	Riscada com a unha	0,25 - 0,50
S6	Argila dura	Riscada com dificuldade com a unha	>0,50
R0	Rocha extremamente fraca	Riscada com unha	0,25 - 1
R1	Rocha muito fraca	Esmigalhada com golpes firmes com a ponta do martelo de geólogo e pode ser raspada com canivete	1 - 5
R2	Rocha fraca	Pode ser raspada ou riscada com canivete, mas as amostras podem ser fraturadas com golpes de martelo de geólogo.	5 - 25
R3	Rocha medianamente resistente	Não pode ser raspada ou riscada com canivete, mas as amostras podem ser fraturadas com golpes de martelo de geólogo	25 - 50
R4	Rocha resistente	As amostras necessitam de mais de um golpe com o martelo de geólogo para fraturar-se	50 - 100
R5	Rocha muito resistente	As amostras necessitam de muitos golpes com o martelo de geólogo para fraturar-se	100 - 250
R6	Rocha extremamamente resistente	As amostras podem somente ser lascadas com martelo de geólogo	>250

Fonte: ISRM (1989).

Quadro 7 – Classificação qualitativa do grau de alteração de descontinuidades.

Descrição	Caracterização em campo	Grau
Fresca	Nenhum sinal visível de material rochoso alterado: talvez leve descoloração nas principais superfícies da descontinuidade.	1
Levemente alterada	Descoloração indica alteração do material rochoso e das superfícies de descontinuidade. Todo o material pode estar descolorido pelo intemperismo e mais fraco externamente que em sua condição original	2
Moderadamente alterada	Menos da metade do material rochoso está decomposto e/ou desintegrado em solo. Rocha fresca ou descolorida estão presentes em uma estrutura contínua ou em pedaços	3
Altamente alterada	Mais da metade do material rochoso está decomposto e/ou desintegrado em solo. Rocha fresca ou descolorida esta presente como uma estrutura decontínua ou em pedaços.	4
Completamente alterada	Todo o material está decomposto e/ou desintegrado em solo. A estrutura original do maciço está intacta.	5
Solo residual	Todo o material rochoso foi convertido em solo e estrutra original destruída. Houve uma grande mudança no volume, mas o solo não foi significativamente transformado.	6

Fonte: ISRM (1989).

ANEXO B – Pesos dos parâmetros utilização no Sistema de classificação geomecânica RMR

Quadro 1 – Sistema de classificação geomecânica RMR

Parâmetros		Coeficientes						
1	Compressão uniaxial	<1	1-5	5-25	25-50	50-100	100-250	>250
	Pesos	0	1	2	4	7	12	15
2	RQD	<25%		25-50%		50-75%	75-90	90-100
	Pesos	3		8		13	17	20
3	Espaçamento das descontinuidades (m)	<0,06		0,06-0,2		0,2-0,6	0,6-2	>2
	Pesos	5		8		10	15	20
4	Condição das descontinuidades	Preenchimento mole com espessura >5mm ou descontinuidades contínuas com abertura >5mm.		Superfícies polidas ou preenchimento com espessura <5mm ou descontinuidades contínuas com abertura entre 1-5mm.		Superfícies ligeiramente rugosas, abertura <1mm, paredes muito alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, abertura <1mm, paredes ligeiramente alteradas	Superfícies muito rugosas, não contínuas, fechadas, paredes inalteradas
	Pesos	0		10		20	25	30
5	Percolação de água	Fluxo de água		Gotejamento		Molhado	Úmido	Seco
	Pesos	0		4		7	10	15
Orientação para classificação de condições das descontinuidades								
Persistência (m)		>20		20-10		10-3	3-1	<1
Pesos		0		1		2	4	6
Abertura (mm)		>5		05/jan		1-0,1	<0,1	Nenhuma
Pesos		0		1		4	5	6
Rugosidade		Liso		Polido		Ligeiramente rugoso	Rugoso	Muito rugoso
Pesos		0		1		3	5	6
Preenchimento		Mole com espessura >5 mm		Mole com espessura <5 mm		Duro com espessura >5 mm	Duro com espessura <5 mm	Nenhum
Pesos		0		2		2	4	6
Grau de alteração		Decompostas		Muito alteradas		Moderadamente alteradas	Ligeiramente alteradas	Inalteradas
Pesos		0		2		3	5	6

Fonte: Bieniawski (1989).