



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS EM UM TALUDE
NA BR356

FELIPE GODINHO SANTOS FERREIRA

MONOGRAFIA nº 558

OURO PRETO

Setembro 2025

FELIPE GODINHO SANTOS FERREIRA

AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS EM UM
TALUDE NA BR356

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso
apresentado ao Departamento de Geologia da
Escola de Minas da Universidade Federal de
Ouro Preto como requisito parcial para avaliação
da disciplina Projeto Final de Curso II –
GEO144, ano 2025/1. Orientador: Prof. Dr.
Allan Erlikhman Medeiros Santos

OURO PRETO

Setembro 2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F383a Ferreira, Felipe Godinho Santos.

Avaliação do perigo de queda de blocos em um talude na BR356.
[manuscrito] / Felipe Godinho Santos Ferreira. - 2025.
52 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Allan Erlikhman Medeiros Santos.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geotecnia. 2. Taludes (Mecânica do solo) - Estabilidade. 3.
Rodovias. I. Santos, Allan Erlikhman Medeiros. II. Universidade Federal de
Ouro Preto. III. Título.

CDU 624.137.2

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Felipe Godinho Santos Ferreira

Avaliação do perigo de queda de blocos em um talude na BR356

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 01 de setembro de 2025

Membros da banca

Doutor Allan Erlikhman Medeiros Santos - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutora Mônica Pessoa Neves - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor Luiz Henrique Cardoso - Universidade Federal de Ouro Preto

Allan Erlikhman Medeiros Santos, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 05/09/2025



Documento assinado eletronicamente por **Allan Erlikhman Medeiros Santos, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/09/2025, às 09:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0973797** e o código CRC **74DF1D2F**.

RESUMO

As rodovias brasileiras desempenham um papel crucial no desenvolvimento econômico e social do país, sendo o principal meio pelo qual ocorre a locomoção de pessoas e cargas. Por isso estudos, como o presente trabalho, que visam identificar possíveis quedas de blocos e, conseqüentemente, servir como base para que sejam tomadas medidas que evitem danos de qualquer natureza são de suma importância para a sociedade. Dentro do contexto das rodovias, os movimentos de massa são fenômenos causadores de acidentes e, desta forma, este trabalho pretende analisar o perigo de queda de blocos em um talude localizado às margens da BR356, no município de Ouro Preto – MG, que por sua vez, possui um vasto histórico de ocorrência de movimentos de massa. A metodologia utilizada para a avaliação de perigo é a metodologia proposta por Silveira (2017) que é resultado da adaptação, principalmente, da metodologia proposta por Bauer & Neumann (2011), escolhida por ser uma adaptação que se encaixa melhor para a localização e as condições do talude estudado. Através da observação de diversos parâmetros geológico-geotécnicos, em conjunto com a metodologia utilizada, nota-se que, de modo geral, a classificação de perigo do talude foi considerada baixa, embora existam parâmetros que mereçam atenção e estudos mais detalhados antes de se considerar uma possível intervenção de engenharia.

Palavras-chave: perigo de queda de blocos em rodovias; talude em rodovia; queda de blocos na BR356.

ABSTRACT

Brazilian highways perform a crucial role in the country's economic and social development, serving as the primary means of transportation for people and cargo. Therefore, studies, such as the present work, which aim to identify possible falls of blocks and, consequently, serve as a basis for damage prevention measures, are important for society. In the context of highways, mass movements are phenomena that cause accidents, and therefore, this study intends to analyze the danger of block falls on a slope located on the banks of BR356, in the municipality of Ouro Preto - MG, which has a vast history of mass movements. The methodology used for the hazard assessment is the methodology proposed by Silveira (2017), which is the result of the adaptation, mainly, of the methodology proposed by Bauer & Neumann (2011), the first being an adaptation that better fits the location and conditions of the studied slope. Based on the integrated analysis of various geological and geotechnical parameters, in conjunction with the applied methodology, it was observed that the overall hazard classification of the slope is low. However, certain specific parameters warrant further investigation and detailed studies before any engineering intervention can be considered.

Keywords: rockfall hazard on highways; slope on highways; rockfall on BR356.

Lista de Figuras

Figura 1.1: Localização da área de estudo.....	11
Figura 2.1: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.....	15
Figura 2.2: Gnaíse presente no talude alvo do estudo, pertencente ao Complexo Bação.....	17
Figura 2.3: Parâmetros das descontinuidades.....	19
Figura 2.4: Ilustração esquemática dos movimentos gravitacionais de massa.....	21
Figura 2.5: Modelos de quedas de blocos. a) Queda de blocos devido à presença de descontinuidades desfavoráveis à estabilidade dos blocos de rocha. b) Queda de blocos devido à intemperismo diferencial.....	22
Figura 2.6: Princípio da metodologia de avaliação do perigo de queda de blocos.....	25
Figura 2.7: Pontuações do sistema RHRS.....	29
Figura 2.8: Matriz de probabilidade de ocorrer queda de blocos.....	33
Figura 2.9: Matriz de perigo de queda de blocos.....	34
Figura 3.1: Ilustração da separação dos setores (linha cheia) e limite do Setor 1.....	36
Figura 3.2: Ilustração do limite sul do Setor 2.....	37
Figura 4.1: Ilustração da orientação média das famílias de descontinuidades, no qual F1 é a família de foliação e F2 a família de fraturas.....	42
Figura 4.2: A) Bloco rolado proveniente do talude estudado. B) Abertura centimétrica de descontinuidade no talude estudado.....	44

Lista de quadros

Quadro 2.1: Resistência de maciços rochosos.....	18
Quadro 2.2: Estado de alteração das rochas.....	21
Quadro 2.3: Parâmetros que influenciam na suscetibilidade a queda de blocos.....	26
Quadro 2.4: Classificação da intensidade de queda de blocos.....	27
Quadro 2.5: Equações atribuídas à parâmetros.....	30
Quadro 2.6: Suscetibilidade à queda de blocos.....	30
Quadro 2.7: Atividade e somatório de atividade e suscetibilidade.....	31
Quadro 2.8: Influências externas.....	32
Quadro 3.1: Parâmetros levantados em campo.....	38
Quadro 3.2: Parâmetros para classificação de suscetibilidade à queda de blocos, de acordo com a segunda adaptação de Silveira.....	39
Quadro 3.3: Classificação das influências externas e cálculo da probabilidade de queda de blocos., de acordo com a segunda adaptação de Silveira.....	40
Quadro 3.4: Classificação das influências externas e cálculo da probabilidade de queda de blocos, de acordo com a segunda adaptação de Silveira.....	41
Tabela 4.1: Orientação média das famílias de descontinuidade.....	42
Quadro 4.1: Resultados dos parâmetros levantados em campo.....	43
Quadro 4.2: Classificação de suscetibilidade à queda de blocos.....	45
Quadro 4.3: Classificação da probabilidade de queda de blocos.....	46
Quadro 4.4: Classificação de perigo de queda de blocos no talude estudado.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Apresentação	10
1.2 Localização	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo geral	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
1.4 Justificativa.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Geologia regional	14
2.2 Geologia local.....	16
2.3 Caracterização de maciços rochosos	17
2.3.1 Parâmetros de rocha intacta	17
2.3.2 Parâmetros de descontinuidade	19
2.4 MOVIMENTOS DE MASSA	20
2.4.1 Queda de blocos	21
2.5 Conceitos relacionados a análise de risco geológico.....	23
2.5.1 Risco	23
2.5.2 Suscetibilidade e vulnerabilidade	23
2.6 Avaliação de perigo de quedas de blocos em rodovias	24
2.6.1 Probabilidade de quedas de blocos na matriz de probabilidade	25
2.6.1.1 Disposição à queda de blocos	26
2.6.1.2 Vestígios de atividade.....	27
2.6.1.3 Influências externas	27
2.6.2 Intensidade do evento	27
2.6.3 Estado da arte das metodologias aplicadas.....	28

2.6.3.1	Metodologia de Gomes (2009).....	28
2.6.3.2	Metodologia de Bauer & Neumann (2011)	30
2.6.3.3	Metodologia de Silveira (2017).....	34
3.	METODOLOGIA.....	35
3.1	Talude estudado	35
3.1.2	Metodologia da avaliação de perigo	39
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.	CONCLUSÃO.....	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Ouro Preto é uma cidade histórica localizada no estado de Minas Gerais, Brasil, que é conhecida não apenas por suas ricas tradições culturais e arquitetônicas, mas também por sua topografia acidentada, com extensos desníveis topográficos, tornando-a bastante suscetível a movimentos de massa. Tais eventos podem ocorrer de maneira totalmente natural ou com influência antropológica. Portanto, a constante expansão urbana não planejada resulta em ocupação irregular de áreas de risco, o que acaba favorecendo a ocorrência de movimentos de massa com maior frequência dentro do perímetro urbano.

Além do perímetro urbano, também há preocupação com as rodovias que cercam a cidade, pois, de maneira intuitiva, quanto maior o crescimento econômico e populacional do município, maior será o tráfego de veículos no seu entorno, o que aumenta a chance dos movimentos de massa que ocorrem nas margens das rodovias causarem algum tipo de dano, seja ele ambiental, material ou à vida.

Não só as rodovias como todas as obras lineares, de forma geral, demandam inúmeros cuidados antes, durante e após sua execução, uma vez que fatores como a geomecânica da área (competência da rocha, grau de fraturamento), método de escavação, gestão hídrica e a estabilidade do maciço após a concretização do empreendimento impactam diretamente na sua viabilidade e no seu funcionamento.

Dada a importância das rodovias, destaca-se a BR-356, que é uma rodovia que liga várias cidades no estado de Minas Gerais, principalmente na região central e na Zona da Mata. Ela liga Belo Horizonte a Ouro Preto e Mariana, passando por outras cidades como Nova Lima, Rio Acima, Itabirito, Acaiaca, Barra Longa, Ponte Nova, Urucânia, Piedade de Ponte Nova e Rio Casca.

Isso faz com que o tráfego na BR-356 seja intenso, sendo o trajeto diário de centenas de trabalhadores, de toneladas de cargas e promove o acesso do município mais populoso do estado, Belo Horizonte, ao município caracterizado por ser o polo turístico mais importante do estado, Ouro Preto.

Dentro deste contexto, o movimento de massa denominado queda de bloco ganha destaque, visto que a área estudada se encontra dentro de uma porção intensamente fraturada, que está dentro do domínio geológico chamado Complexo do Bação, que é constituído, em sua

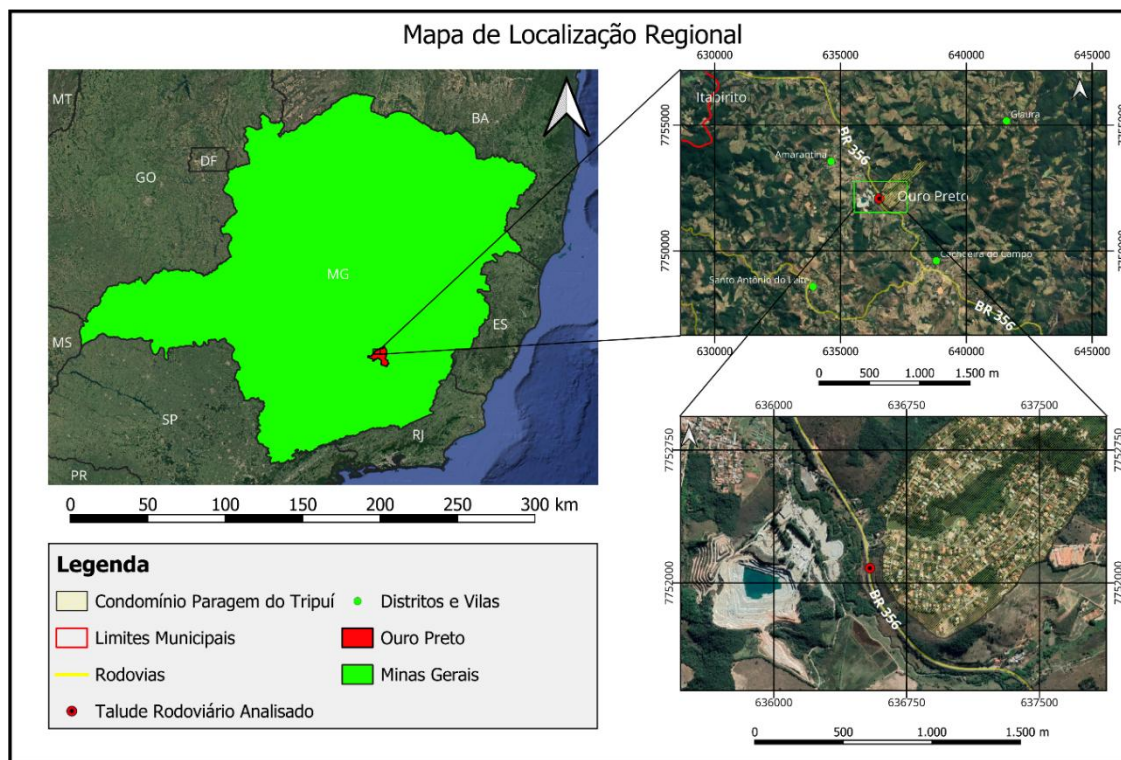
maioria, de rochas arqueanas e paleoproterozóicas, sendo algumas delas classificadas como gnaisses. Em geral, os gnaisses são rochas competentes e pouco friáveis, porém, ao sofrerem grandes tensões, podem se fraturar em diferentes planos, gerando blocos instáveis a depender das condições específicas locais.

Portanto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso busca avaliar o perigo de queda de blocos em um talude da BR-356, localizado dentro dos limites do município de Ouro Preto, dada sua importância e também o impacto que uma queda de bloco, caso ocorra, poderia trazer para a sociedade, em todos os aspectos. Foram analisados diversos parâmetros para que a análise fosse realizada com a maior acurácia possível, utilizando inclusive uma metodologia adaptada por Silveira (2017) que já foi aplicada em trabalhos na mesma região.

1.2 Localização

A Figura 1.1 ilustra a localização do talude estudado no presente trabalho. Por meio do mapa, é possível notar a única via de acesso como sendo a própria BR-356 e sua posição em relação aos municípios de Ouro Preto e Itabirito, bem como uma referência local, sendo esta o condomínio residencial Paragem do Tripuí.

Figura 1.1: Localização da área de estudo.



Fonte: Google satélite basemap.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

De modo mais amplo, o objetivo geral do presente trabalho é avaliar o perigo de queda de blocos em um talude na BR356, próximo ao km 68 do trecho chamado de Rodovia dos Inconfidentes, através da metodologia proposta por Silveira (2017).

1.3.2 Objetivos específicos

Especificamente o presente trabalho tem como objetivos principais:

- Selecionar uma área de estudo no município de Ouro Preto – MG;
- Realizar uma revisão bibliográfica sobre movimentos de massa, caracterização geomecânica de maciços rochosos e metodologias de avaliação de perigo de queda de blocos;
- Realização dos trabalhos de campo para levantamento dos principais parâmetros geológico-geotécnicos do talude, com foco na caracterização das descontinuidades e condições estruturais do maciço;
- Tratar e organizar os dados coletados em campo com o auxílio de softwares apropriados, como o Dips e planilhas eletrônicas, a fim de determinar as famílias de descontinuidades e outros parâmetros relevantes;
- Aplicar a metodologia de avaliação de perigo proposta por Silveira (2017), adaptada para a região de estudo, para classificar o grau de perigo de queda de blocos em diferentes setores do talude;
- Analisar os resultados obtidos e identificar os trechos do talude com maior risco, fornecendo subsídios para possíveis ações de mitigação e prevenção.

1.4 Justificativa

Dada a importância das rodovias, tanto no âmbito regional quanto nacional, o histórico regional de movimentos de massa e seu impacto para a sociedade, o trabalho se faz necessário para melhor compreensão de um talude, com potencial risco para a ocorrência de quedas de blocos, em uma via com grande importância logística regional, visto que possui um VMD (volume médio diário) de quase 17 mil veículos, dos quais aproximadamente 1,3 mil são destinados ao transporte de minério de ferro (Diário do Comércio, 2024). Somado ao tráfego elevado de veículos, os distritos da região de Ouro Preto possuem grande dependência desta rodovia, como é o caso de Cachoeira do Campo, distrito no qual 54,5% das empresas dependem

exclusivamente do fluxo de veículos na rodovia, gerando mais de 300 empregos formais e representando 45% da receita gerada no distrito (ALMG, 2025).

Outro fator que justifica o presente estudo é a suscetibilidade que os maciços rochosos, de modo geral, apresentam durante períodos chuvosos, uma vez que, picos pluviométricos, normalmente no verão, ocorrem ao longo dos municípios que margeiam a rodovia, causando saturação do solo e aumentando o potencial risco de movimentos de massa. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a precipitação média em Belo Horizonte — município localizado no trecho inicial da BR-356 — alcançou 435,6 mm em janeiro de 2024, com picos igualmente altos em fevereiro e março (INMET, 2024). Em março de 2024, foram registrados 274,4 mm, representando um desvio positivo de 39% em relação à média histórica de 197,5 mm (INMET, 2024). O padrão se repete na Zona da Mata e Campo das Vertentes, com registros similares de pluviosidade durante o verão.

Como o período chuvoso é bastante intenso na região de Ouro Preto, há um histórico importante de ocorrência de movimentos de massa nos arredores da rodovia, o que faz com que estudos como este sejam importantes para servir de base para outros estudos mais robustos e possíveis medidas de contenção. Em janeiro de 2020, um deslizamento na chamada “curva do Pontei” causou a interrupção parcial do tráfego (ESTADO DE MINAS, 2020). Já em janeiro de 2022, fortes chuvas provocaram o bloqueio de diversos trechos da Rodovia dos Inconfidentes, com quedas de barreiras nos km 43, km 54, km 57 e km 87 ao 89, no sentido Ouro Preto (PODER360, 2022).

Dados os fatores, tanto logístico quanto histórico, citados, a rodovia ainda sim carece de estudos sobre a análise de risco e estabilidade dos taludes e maciços que compõe suas margens. Estudos, como o de Silveira (2017) e Oliveira (2022), possuem foco nas encostas próximas de habitações e não em rodovias. Posto isso, o presente estudo desempenha um papel importante em uma avaliação preliminar, que pode ou não, culminar em políticas públicas e intervenções de engenharia ao longo da rodovia.

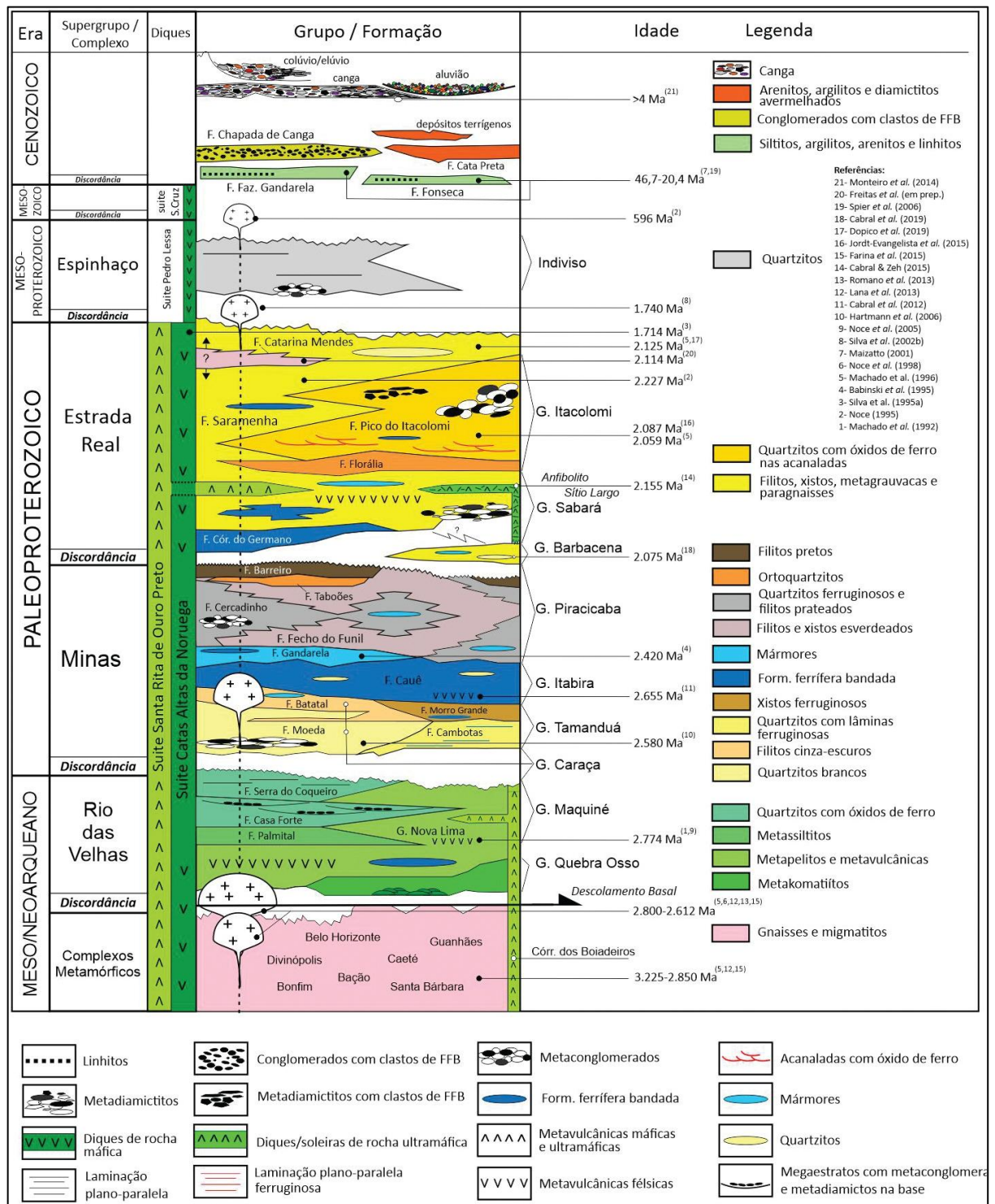
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geologia regional

A área de estudo fica localizada na porção centro-oeste da província mineral denominada Quadrilátero Ferrífero (Dorr, 1969). A região é amplamente conhecida e estudada por diversos autores devido ao grande volume de ocorrências minerais presentes neste perímetro envolvendo diversas commodities, sendo ferro e ouro as que mais se destacam historicamente no cenário mundial.

A estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero foi descrita por Endo *et al.* (2019) tendo como base Complexos Metamórficos Mesoarqueanos, seguidos pelo Supergrupo Rio das Velhas de idade Neoarqueana. Seguindo para as sequências mais novas ocorrem o Supergrupo Minas e o Supergrupo Estrada Real, ambos com idade Paleoproterozóica, seguidos pelo Supergrupo Espinhaço com deposição na era Mesoproterozóica e formações mais jovens (Cenozóicas) fechando a sequência estratigráfica da província. Na Figura 2.1 pode-se observar a sucessão estratigráfica completa, segundo Endo *et al.* (2019).

Figura 2.1: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Endo et al. (2019b).

Os complexos metamórficos são constituídos por ortognaisses bandados, contendo localmente corpos de anfibolitos, ortognaisses finamente laminados, migmatitos, corpos intrusivos de granitoides leucocráticos, veios aplíticos e diques máficos de diferentes gerações

(Guimarães et al. 1967, Herz 1970, Cordani et al. 1980, Gomes 1986, Carneiro 1992, Schorscher 1992, Noce 1995, Endo 1997, Lana et al. 2013, Farina et al. 2016). Os gnaisses bandados exibem uma alternância de bandas leucocráticas e meso a melanocráticas, espessuras variáveis de milimétrica a centimétrica, apresentando, por vezes, injeções leucocráticas e bandas anfíbolíticas (Endo *et al.* 2020).

O Supergrupo Rio das Velhas é caracterizado por ser um *greenstone belt* arqueano, formado por uma sequência típica vulcano-sedimentar cuja associação de litofácies se dá, da base para o topo, por rochas metavulcânicas máfica-ultramáficas e félsicas, metavulcanoclásticas, metavulcanossedimentar química, metassedimentar clástica marinha e metassedimentar costeiro (Zucchetti *et al.* 1998, Baltazar & Pedreira 1998, Baltazar & Zucchetti 2007).

O Supergrupo Minas é definido por uma associação de litofácies que caracterizam uma sucessão continental-marinha de, no mínimo, 3.424 metros de espessura (Dorr 1969) e retrata uma das fases de evolução de uma bacia de margem passiva (Alkmim & Martins Neto 2012).

Por fim, o Supergrupo Estrada Real é definido como uma sucessão do tipo *flysch* e molassa sin-orogênicos com espessura mínima estimada de 3.625 metros (Dorr 1969, Noce 1995, Reis *et al.* 2002) com pacotes de rochas de sequência sedimentar tanto marinha quanto continental (Barbosa 2018).

2.2 Geologia local

O talude estudado no presente trabalho faz parte do Complexo Bação, definido como o embasamento do Quadrilátero Ferrífero, o complexo é caracterizado pela ocorrência de ortognaisses bandados com ocorrências locais de anfíbolitos, migmatitos, ortognaisses finamente laminados e corpos intrusivos de granitóides (Guimarães *et al.* 1967, Herz 1970, Cordani *et al.* 1980, Gomes 1986, Carneiro 1992, Schorscher 1992, Noce 1995, Endo 1997, Lana *et al.* 2013, Farina *et al.* 2016). Os gnaisses bandados exibem uma alternância de bandas leucocráticas e meso a melanocráticas, espessuras variáveis de milimétrica a centimétrica, apresentando, por vezes, injeções leucocráticas e bandas anfíbolíticas (Endo *et al.* 2019b). É possível observar na Figura 2.2 o bandamento composicional do gnaiss que compõe o maciço rochoso alvo do presente trabalho.

Figura 2.2: Gnaiss presente no talude alvo do estudo, pertencente ao Complexo Bação.



Fonte: Do Autor (2023).

2.3 Caracterização de maciços rochosos

Os maciços rochosos podem ser diferenciados e classificados de acordo com diferentes características e propriedades geotécnicas. Mas para que isso ocorra de maneira assertiva, primeiro é necessária a compreensão dos conceitos de rocha intacta e maciço rochoso.

De acordo com a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM), um maciço rochoso é definido como o conjunto de blocos de rocha intacta separados por descontinuidades, que podem ou não apresentar material de preenchimento. As propriedades do maciço são determinadas tanto pelas características da rocha intacta quanto pela quantidade, distribuição e condições dessas descontinuidades.

2.3.1 Parâmetros de rocha intacta

Como conceituado acima trata-se a rocha intacta como uma fração contínua e homogênea do maciço rochoso. Portanto, alguns parâmetros podem ser medidos e identificados através de ensaios de laboratório de maneira direta e/ou em campo de maneira indireta.

Os valores utilizados para definir a resistência das rochas através desse critério podem

ser obtidos através de ensaios de compressão uniaxial (UCS) e puntiforme (Point load test). Por outro lado, como em muitas situações não há disponibilidade para a realização dos ensaios laboratoriais, a resistência pode ser estimada em campo, utilizando o esclerômetro de Schmidt ou ainda através do teste utilizando o martelo de geólogo (Silveira, 2017).

Primeiramente desenvolvido para medir a resistência de corpos de prova de concreto, o esclerômetro de Schmidt foi adaptado para estimar também a resistência das rochas, correlacionando a resistência com o número de rebotes e calculando a resistência através de equações adequadas para determinadas litologias. Já o teste com o martelo de geólogo é relativamente mais simples, correlacionando a reação da rocha aos golpes com o martelo à uma faixa de resistência à compressão uniaxial, dada em Mpa, como pode ser visto no Quadro 2.1 (Silveira, 2017).

Quadro 2.1: Resistência de maciços rochosos.

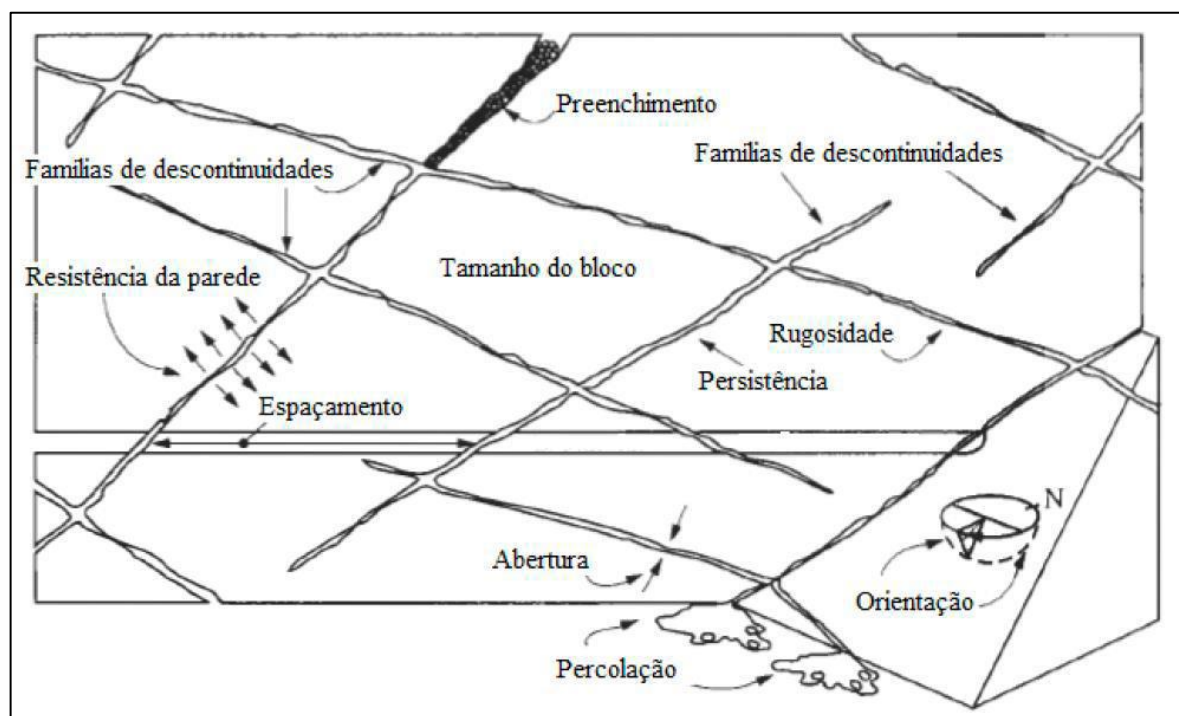
GRAU	RESISTÊNCIA (Mpa)	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICA
R0	0,25 – 1,0	Extremamente branda	Marcada pela unha
R1	1,0 – 5,0	Muito branda	Esmigalha-se com um golpe de martelo. Raspada com canivete.
R2	5,0 – 25	Branda	Marcada com a ponta do martelo em golpe firme. Raspada com dificuldade com o canivete.
R3	25 – 50	Resistência média	Amostras fraturadas com único golpe de martelo. Não risca com canivete.
R4	50 – 100	Resistente	Mais de um golpe de martelo para fraturar a rocha.
R5	100 – 250	Muito resistente	Muitos golpes de martelo para fraturar a rocha.
R6	>250	Extremamente resistente	Amostras somente lascadas com golpes de martelo.

Fonte: Adaptado de ISRM (1981).

2.3.2 Parâmetros de descontinuidade

Para compreender os parâmetros de descontinuidades, primeiro faz-se necessário o entendimento de que as descontinuidades são, de acordo com a ISRM (1981), zonas de fraqueza em maciços rochosos, ou seja, estruturas que ocasionam a interrupção da continuidade de uma rocha e possuem resistência à tração nula. Algumas características das descontinuidades são importantes para o estudo geomecânico do maciço rochoso, como: espaçamento, preenchimento, abertura, persistência, orientação, rugosidade, tamanho do bloco, resistência da parede e percolação. Pode-se observar na Figura 2.3 uma ilustração da relação entre todos os parâmetros citados.

Figura 2.3: Parâmetros das descontinuidades



Fonte: Adaptado de ISRM (1981).

Outro parâmetro importante a ser considerado sobre o maciço rochoso é o grau de alteração das rochas, que pode ser definido como o conjunto de transformações físico-químicas que as rochas sofreram levando à degradação das suas propriedades mecânicas (Ojima & Serra Jr, 1998). Cabe salientar que cada litotipo reage de maneira diferente ao intemperismo devido às diferenças inerentes aos minerais e elementos químicos que o compõe, bem como sua exposição aos agentes intempéricos.

Para classificar de maneira qualitativa o grau de alteração, deve-se observar atentamente o brilho e a cor dos minerais, bem como a textura e a presença de descontinuidades na rocha (Silveira, 2017). O grau de alteração pode ser classificado, de acordo com a ISRM (1981), com base no Quadro 2.2.

Quadro 2.2: Estado de alteração das rochas.

SIGLA	DENOMINAÇÃO	DESCRIÇÃO
W1	Sem alteração (rocha sã)	Alteração mineralógica nula ou incipiente. Minerais preservam brilho original, cor e clivagem. Foliação visível e selada. Resistência original da rocha não afetada pela alteração.
W2	Pouca alteração	Leve descoloração e oxidação na matriz e ao longo das descontinuidades. Foliação visível e selada. Juntas fechadas, paredes ligeiramente alteradas. Resistência original da rocha parcialmente.
W3	Alteração moderada	Matriz descolorida, com evidências de oxidação. Juntas abertas (< 1.0 mm) e oxidadas, podendo ocorrer material mais alterado ao longo das descontinuidades. Foliação realçada pelo intemperismo. Resistência afetada.
W4	Muita alteração	Alteração acentuada, alguns minerais parcialmente decompostos. Matriz totalmente oxidada e cores muito modificadas. Fraturas abertas (2 < e < 5 mm) e oxidadas. Foliação realçada pelo intemperismo. Desplacamentos ao longo da foliação.
W5	Alteração extrema	Material completamente alterado para solo estruturado. Extremamente descolorido, minerais resistentes quebrados e outros transformados em argilominerais. Foliação preservada. Juntas não discerníveis.
W6	Solo residual	Material totalmente transformado em solo.

Fonte: Adaptada de ISRM (1981).

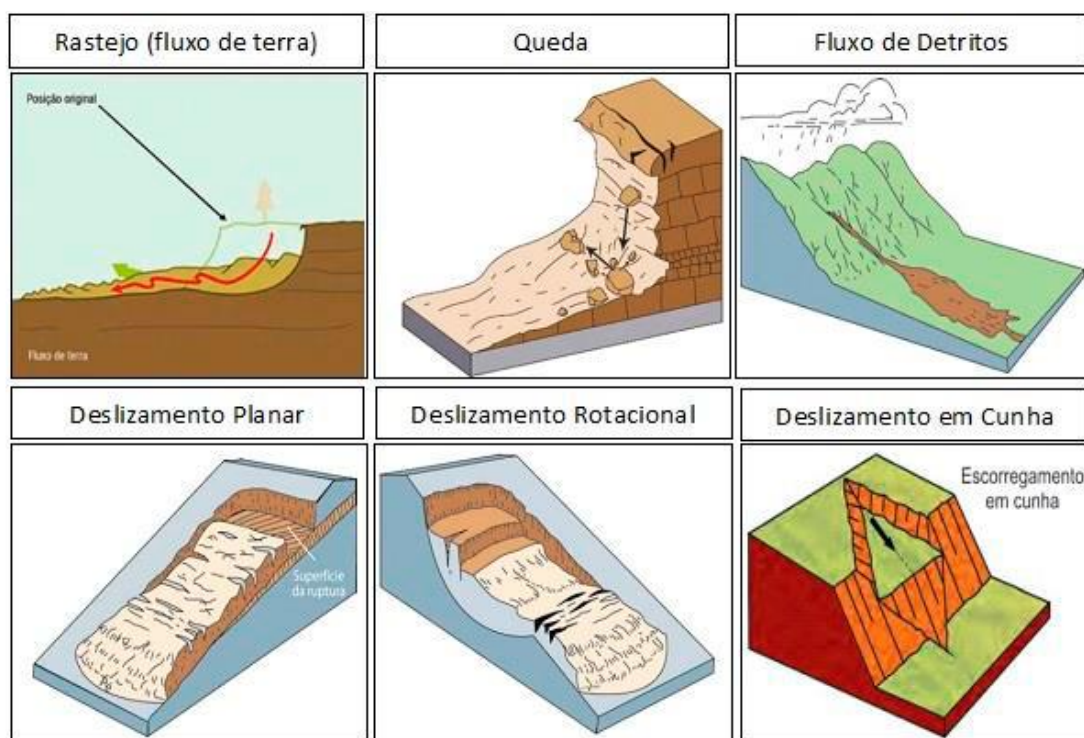
2.4 MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa podem ser definidos como o movimento do solo, rocha e/ou vegetação sob a ação direta da gravidade tendo a contribuição de outros meios, como água e

gelo, que diminuem a resistência dos materiais de vertente e/ou induzem um comportamento plástico e fluido dos solos (Tominaga *et al.* 2009).

Classificar os movimentos de massa não é uma tarefa simples, visto que as características climáticas do planeta são bastante heterogêneas, o que interfere diretamente em fatores como vegetação, intemperismo e saturação do solo, que por sua vez influenciarão diretamente nos movimentos de massa. Por isso Augusto Filho (1992) adaptou a classificação de Varnes (1978) para as realidades ambientais brasileiras, classificando os movimentos em quatro grandes categorias: rastejo (creep), quedas de bloco (rockfall), fluxo ou corrida de detritos (debris flow) e deslizamento ou escorregamento. Na Figura 2.4 é possível observar, de modo geral, o modo de ocorrência de cada um dos movimentos citados.

Figura 2.4: Ilustração esquemática dos movimentos gravitacionais de massa.



Fonte: Fagundes, G. C. L.; Aquino, C. M. S.; Sousa, M. A (2022).

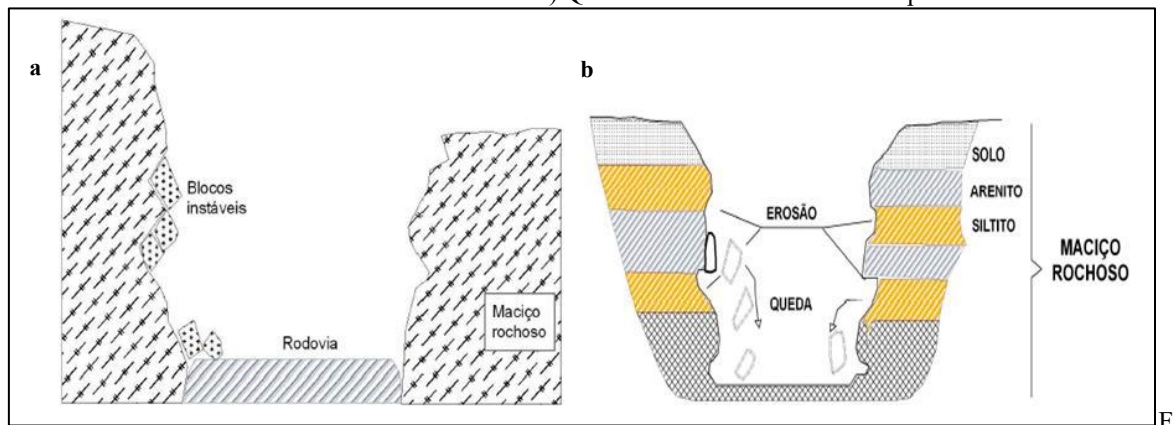
2.4.1 Queda de blocos

As quedas de bloco podem ser definidas como o desprendimento de uma massa de rocha proveniente de uma escarpa ou encosta íngreme (Giani, 1992). Como é um fenômeno que ocorre de maneira extremamente rápida e depende de variáveis climáticas, litológicas, biológicas e sísmicas, consequentemente é um movimento no qual é difícil prever com acurácia

o exato momento em que ocorre.

A queda de blocos ocorre por dois motivos: presença e orientação desfavorável de descontinuidades presentes no maciço e também a presença de camadas de rochas mais friáveis na base de rochas relativamente menos friáveis, causando um intemperismo diferencial, como no caso de alguns pacotes de sucessão sedimentar (Carvalho, 1991). As descontinuidades podem ser preenchidas com água, e até mesmo podem servir como uma zona preferencial de crescimento de raízes, o que impacta diretamente na resistência do maciço, visto que tais agentes atuarão no sentido de desagregação dos blocos afetados pelas descontinuidades. A Figura 2.5 ilustra as duas possíveis situações de quedas de blocos.

Figura 2.5: Modelos de quedas de blocos. a) Queda de blocos devido à presença de descontinuidades desfavoráveis à estabilidade dos blocos de rocha. b) Queda de blocos devido à intemperismo diferencial.



Fonte: Carvalho (1991).

De acordo com Rithcie e citado por Silveira (2017), outro fator importante a ser analisado neste tipo de movimento de massa é a trajetória dos blocos, que depende, principalmente da geometria e da superfície do talude, além da forma e tamanho dos blocos, fazendo com que a massa de rocha se movimente por salto, rolamento ou queda livre.

A resistência e a rugosidade da superfície são fatores importantes quando se trata do alcance dos blocos que se desprenderam do maciço, pois, segundo Silveira (2017), a dureza impactará diretamente na absorção de energia pela superfície, fazendo com que rochas mais brandas e mais alteradas absorvam mais energia e, conseqüentemente, diminuam o alcance do bloco e, por outro lado, rochas mais duras conservem a energia cinética do bloco, aumentando seu alcance. Conforme Hoek (2000), a rugosidade da superfície também é um fator importante a ser considerado, visto que superfícies mais rugosas podem gerar uma componente horizontal na trajetória dos blocos, fazendo com que eles se movimentem por saltação e atinjam uma

distância maior do maciço rochoso de origem.

2.5 Conceitos relacionados a análise de risco geológico

Os conceitos que se relacionam à análise de risco geológico sempre foram motivo de amplo debate entre diferentes autores e grandes associações do meio geotécnico. Não há, até os dias atuais, um conceito universal e padrão para risco geológico e os diferentes termos relacionados ao tema. É recomendado inclusive que cada conceito seja utilizado de acordo com o que a situação demandar. Conforme Corteletti (2017) sintetizou, a ideia principal de risco na sua compreensão mais geral seria a “probabilidade de ameaça”, que consequentemente se encaixa na definição que será utilizada neste trabalho.

2.5.1 Risco

Como abordado no tópico anterior, o conceito de risco no âmbito geotécnico é plural e não consensual entre os autores, portanto, neste trabalho adotou-se o conceito de risco e todos os conceitos que dependem do mesmo de Fell *et al.* (2008), que por sua vez foi baseado no conceito utilizado pela Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ISSMGE).

Risco pode ser entendido como uma medida de probabilidade e intensidade de um efeito prejudicial à saúde, propriedade ou ao meio ambiente, além disso, o risco é frequentemente estimado como produto da probabilidade da ocorrência de um fenômeno de uma determinada magnitude pela consequência que esse evento causará (Fell, 2008). Perigo (*Hazard*)

A definição de *hazard* no Brasil é um pouco ambígua com definições como a de risco, por exemplo; traduzindo de forma literal do inglês, *hazard* significa ameaça ou perigo. Para Fell (2008) *hazard* (perigo) é uma condição com potencial de causar consequências indesejáveis e, no âmbito dos movimentos de massa, deve incluir localização, volume (ou área), velocidade de deslocamento, classificação e a probabilidade de ocorrência em um determinado período de tempo.

2.5.2 Suscetibilidade e vulnerabilidade

As definições de suscetibilidade e vulnerabilidade estão estritamente associadas à definição de risco e tem sido alvo de grande discussão, principalmente no Brasil, país no qual o debate sobre estes conceitos é focado na hierarquização espacial e elaboração de índices, com intuito de avaliar as desigualdades sociais, ambientais e mitigar os riscos associados a desastres naturais (Corteletti, 2017).

Conforme Fell (2008) definiu, suscetibilidade pode ser descrita como uma análise quantitativa ou qualitativa da classificação, volume e distribuição espacial dos movimentos de massa existentes ou que possam vir a ocorrer em uma determinada região. Portanto, espera-se que movimentos de massa ocorram com mais frequência nas áreas mais suscetíveis.

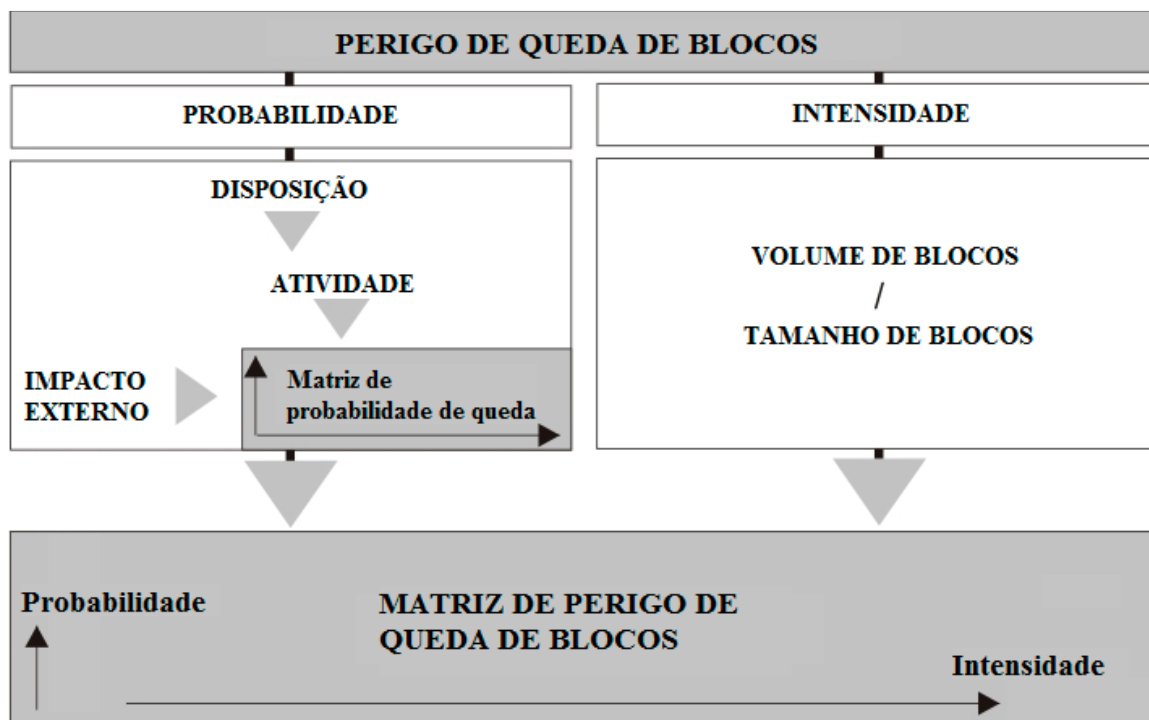
De acordo com Lavell (2001), para que exista perigo, é necessária a existência da vulnerabilidade, pois se não há alguma consequência material, ambiental, ou à vida na ocorrência de um evento físico, logo não há risco, existem apenas eventos físicos, naturais, sociais ou tecnológicos sem repercussão na sociedade. Portanto, Fell (2008) definiu vulnerabilidade como o grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos dentro da área afetada pelo movimento de massa, indo na escala de 0 (sem perdas) a 1 (perda total).

2.6 Avaliação de perigo de quedas de blocos em rodovias

As quedas de blocos são uma ameaça constante em rodovias, e são ainda mais impactantes em países como o Brasil, no qual os agentes intempéricos atuam fortemente em boa parte do território devido ao clima tropical somado ao fato de ser um país no qual a malha rodoviária é o meio de locomoção base, seja para transporte de carga ou de pessoas.

Para avaliar o perigo de quedas de blocos em áreas urbanas, Bauer & Neumann (2011) propuseram um modelo de matriz de probabilidade com base em parâmetros geomecânicos do maciço rochoso presente no talude alvo da avaliação. Em conjunto com os parâmetros geomecânicos, eles consideraram registros de outros movimentos de massa recentes no talude além de influências externas, como pluviosidade e sismos para estimar a probabilidade de ocorrência da queda. Outro parâmetro considerado é o volume da massa de rocha que sofrerá a queda, sendo responsável pela intensidade do evento. Por fim, tem-se o perigo como resultado da matriz de probabilidade versus a intensidade do evento (observado na Figura 2.6).

Figura 2.6: Princípio da metodologia de avaliação do perigo de queda de blocos



Fonte: Silveira (2017).

2.6.1 Probabilidade de quedas de blocos na matriz de probabilidade

A probabilidade de um bloco se desprender de um maciço rochoso pode ser determinada de diversas maneiras, seja por um modo quantitativo estatístico ou de alguma maneira qualitativa. Porém, para que a análise estatística seja significativa e confiável, é necessária uma base de dados sólida e com uma quantidade razoável de dados, o que não ocorre em grande parte dos casos, já que é inviável um monitoramento constante e que tenha um espaço de tempo relevante para gerar amostras significativas. Para contornar esse problema, Bauer e Neumann (2011) consideraram, em seu método de análise, que a probabilidade seria um somatório de notas atribuídas a parâmetros geológico-geotécnicos e parâmetros climáticos, sendo as notas mais baixas atribuídas a características que desfavorecem a estabilidade do maciço e notas mais altas desfavoráveis ao movimento. São três categorias de parâmetros que entram no somatório proposto neste método, sendo elas: disposição à queda de blocos, indícios de atividade e influências externas.

2.6.1.1 Disposição à queda de blocos

Segundo Bauer e Neumann (2011), neste parâmetro, também chamado de suscetibilidade, são observados, em campo, as características mecânicas das rochas do maciço, principalmente como estão distribuídas, espaçadas, preenchidas e orientadas as descontinuidades. Também são levadas em consideração características do ambiente geomecânico do maciço, observando a composição da rocha e suas características estruturais, além de movimentos no pé do talude. No Quadro 2.3 abaixo, primeiramente proposta por Bauer e Neumann (2011) e adaptada por Silveira (2017), consta o resumo do parâmetro de suscetibilidade descrito neste tópico.

Quadro 2.3: Parâmetros que influenciam na suscetibilidade a queda de blocos.

Mecânica de rochas da área de destacamento	Parâmetro	Característica observada
	Orientação das descontinuidades	Analisar se as descontinuidades são favoráveis ao movimento de queda em relação ao talude. Se existem famílias que formam blocos, ou cunhas.
	Grau de alteração	Analisar o grau de alteração, de acordo com a ISRM (1981). Quanto mais alterado, menor a resistência, coesão e ângulo de atrito no maciço. Além do mais, a alteração das rochas facilita o processo de erosão, o que pode levar a queda de blocos.
	Configuração estrutural	Compreende o grau de transecção das descontinuidades (presença de mineral de preenchimento duro, impermeável, que sela as paredes das descontinuidades), persistência, abertura e rugosidade das paredes.
	Grau de flexibilização	Parâmetro utilizado quando não se dispõe detalhadamente de alguma informação acima, ou de algumas delas. São feitas observações gerais em campo, porém com menor grau de confiança.
Ambiente geomecânico	Tipo de formação	Se na formação rochosa houver presença de rocha solúvel em água, ou de composição argilosa, por exemplo, o estado de tensões no maciço pode ser alterado e levar a movimentação de massa.
	Deformações profundas	Deformações podem alterar o estado de tensões no maciço em longo prazo e influenciar na estabilidade. Difícil de interpretar.
	Movimento no pé do talude	Movimentos de massa no pé do talude podem influenciar na estabilidade de toda a área.

Fonte: Adaptado de Bauer & Neumann (2011).

2.6.1.2 Vestígios de atividade

Neste item são observados em campo indícios de quedas de bloco ocorridas anteriormente, como cicatrizes nos blocos que estão estáveis no maciço e a presença de blocos menores ou alguma fração deles no pé do talude. Aliado a isso, são observados também indícios que podem indicar um movimento em andamento como fendas ou juntas abertas e não preenchidas ou com presença de vegetação nos maciços (Silveira, 2017).

2.6.1.3 Influências externas

Como os autores Bauer & Neumann realizaram os estudos para a elaboração deste método em uma região montanhosa da Alemanha, os parâmetros externos que foram considerados como relevantes para interferirem na queda de blocos são a precipitação e/ou derretimento de gelo e a sismicidade, sendo os fenômenos climáticos considerados aqueles mais intensos em um intervalo de 72h para um período de recorrência de 100 anos. Este parâmetro é flexível e depende do local onde o estudo está sendo realizado, logo, no Brasil, por exemplo, não se tem registro de sismos frequentes de magnitude considerável, então não será um parâmetro que terá um grande peso na avaliação de perigo.

2.6.2 Intensidade do evento

Para Bauer & Neumann (2011) o que define a intensidade de um evento, prioritariamente, é o volume de rocha deslocado do maciço, podendo ser um bloco único ou vários blocos menores se destacando em conjunto, como no caso de uma avalanche, por exemplo. O Quadro 2.4 abaixo, proposta por Bauer & Neumann (2011) e adaptada por Silveira (2017), demonstra as observações qualitativas que serão utilizadas no eixo de intensidade da matriz de probabilidade *versus* intensidade.

Quadro 2.4: Classificação da intensidade de queda de blocos.

Intensidade	Quedas de alta magnitude		Quedas de baixa magnitude		
Volume Total	Avalanche de rochas	Quedas em larga escala	Quedas em escala média	Quedas em pequena escala	Bloco único

Distinção	Volume total acima de 1000000 m ³	Volume total com cerca de 1000000 m ³	Volume total com cerca de 10000 m ³	Volume total com cerca de 100 m ³ e/ou fragmentos com diâmetro maior que 200 mm.	Um bloco ou pequenos fragmentos de até 200 mm de diâmetro.
-----------	--	--	--	---	--

Fonte: Adaptado de Bauer & Neumann (2011).

2.6.3 Estado da arte das metodologias aplicadas

Como já ressaltado em tópicos anteriores deste trabalho, existem inúmeros conceitos e adaptações de diversos parâmetros dentro da avaliação de perigo de queda de blocos, seja em áreas montanhosas ou mesmo em rodovias. As divergências existem por vários fatores, desde clima em que o estudo do método proposto foi realizado, até os dados relevantes utilizados em cada método. Neste trabalho serão discutidas as metodologias de Gomes (2009), Bauer & Neumann (2011) e Silveira (2017).

2.6.3.1 Metodologia de Gomes (2009)

Gomes (2009) baseou sua metodologia em um sistema chamado *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) de Pierson & Van Vickle (1993), que é um método bastante difundido e realizado em estradas dos EUA. No RHRS, são considerados diversos parâmetros e cada um deles conta com uma pontuação, como demonstrado na Figura 2.7 abaixo:

Figura 2.7: Pontuações do sistema RHRS.

Categoria			Critérios e pontuação			
			3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Altura do talude			7,5 m	15,0 m	22,5 m	30 m
Efetividade da área de captação			Boa captura	Captura moderada	Captura limitada	Sem captura
Risco médio ao veículo			25% do tempo	50% do tempo	75% do tempo	100% do tempo
Porcentagem da distância de visibilidade			100% Distância de visibilidade adequada	80% Distância de visibilidade moderada	60% Distância de visibilidade limitada	40% Distância de visibilidade muito limitada
Largura da rodovia			13,2 m	10,8 m	8,4 m	6,0 m
Característica geológica	Classe 1	Condição estrutural	Fraturas descontínuas, com orientação favorável	Fraturas descontínuas, com orientação aleatória	Fraturas descontínuas, com orientação adversa	Fraturas contínuas, com orientação adversa
		Atrito nas discontinuidades	Rugoso, irregular	Ondulado	Planar	Preenchimento argiloso ou polido
	Classe 2	Condição estrutural	Poucas feições de erosão diferencial	Feições de erosão diferencial ocasionais	Muitas feições de erosão diferencial	Maiores feições de erosão diferencial
		Diferença nas taxas de erosão	Pequena diferença	Diferença moderada	Grande diferença	Extrema diferença
Tamanho do bloco Volume de queda / evento			0,30 m 2,3 m³	0,60 m 4,6 m³	0,90 m 6,9 m³	1,20 m 9,2 m³
Clima e presença de água no talude			Baixa a moderada precipitação, sem a presença de neve, sem água no talude	Moderada precipitação ou curto período de neve ou baixa presença de água no talude	Alta precipitação ou longo período de neve ou água no talude contínua	Alta precipitação e longo período de neve ou água no talude contínua e longo período de neve
Histórico de queda			Poucas quedas	Quedas ocasionais	Muitas quedas	Quedas constantes

Fonte: Pierson & Van Vickle (1993).

Porém, como Gomes (2009) desejava avaliar o perigo de queda de blocos nas rodovias do Estado do Espírito Santo, ele atribuiu equações para cada um dos parâmetros do RHRS, mantendo apenas a área de captação e o histórico de quedas sem modificações. Outra mudança realizada é a característica geológico-geotécnica, alterada para o SMR (Slope Mass Rating), bem como a condição climática, que para Gomes (2009) é avaliada conforme a precipitação média intrínseca à localização do talude estudado. No Quadro 2.5 é possível observar as equações propostas por Gomes para cada parâmetro.

Quadro 2.5: Equações atribuídas à parâmetros.

Parâmetros	Símbolo	Equação atribuída
Altura do talude (H)	I_{AT}	$I_{AT} = e^{0,183(H)}$
Risco ao veículo (RV)	I_{RV}	$I_{RV} = e^{0,0439(RV)}$
% da distância de visibilidade (DV)	I_{DV}	$I_{DV} = 243e^{-0,0439(DV)}$
Largura do pavimento (LP)	I_{LP}	$I_{LP} = 1262,7e^{-0,4578(LP)}$
Dimensão do bloco (Db)	I_{Db}	$I_{Db} = e^{3,662(Db)}$
Característica geológico-geotécnica (SMR)	I_{CG}	$I_{CG} = 19683e^{-0,11(SMR)}$

Fonte: Gomes (2009).

2.6.3.2 Metodologia de Bauer & Neumann (2011)

Os conceitos da metodologia de Bauer & Neumann que foram discutidos até então neste trabalho, estão resumidos nas Quadros 2.6, 2.7 e 2.8 e são a base para utilizar a matriz de classificação proposta para a avaliação de perigo de quedas de blocos em áreas urbanas. Primeiro, utiliza-se a matriz de probabilidade, demonstrada na Figura 2.8, depois utiliza-se o resultado obtido na matriz de probabilidade na matriz de probabilidade *versus* intensidade, matriz na qual entrarão os parâmetros de intensidade abordados no tópico 2.6.2.

Quadro 2.6: Suscetibilidade à queda de blocos.

1 - Orientação das descontinuidades	Desfavorável	Razoável	Favorável
Característica	Oposta ou paralelo/subparalela ao talude	Horizontal	Internas ou verticais
Probabilidade atribuída	Alta	Média	Baixa
Nota (Peso = 17%)	500	200	0
2 - Grau de alteração	Forte alteração (W4 a W5)		
	Baixo grau de alteração (W1 a W3)		
Probabilidade atribuída	Alta	Baixa	
Nota (Peso = 7%)	200	0	
3 - Configuração estrutural das descontinuidades			
Persistência	Mais de 10 m de extensão (alta).	Entre 1 e 10 m de extensão (média).	Menos de 1m de extensão (baixa).
Nota (Peso = 7%)	200	100	0
Grau de transecção	Nenhum mineral de ligação	Existência de mineral de ligação	
Nota (Peso = 7%)	200	0	
Abertura das descontinuidades	Abertas (>1 cm)	Suavemente abertas (entre 0,5mm a 1 cm).	Fechadas (<0,5 mm)
Nota (Peso = 7%)	200	100	0
Condição das paredes	Lisas		Rugosas

Nota (Peso = 7%)	200		0
4) Grau de afrouxamento (alternativo a categoria 3).	Indicações claras, como: juntas abertas e alteradas, lacunas entre as paredes (alto).	Poucas indicações visíveis (médio).	Nenhuma indicação (baixo).
Valor (Peso = 28%)	800	400	0
Total de mecânica de rochas (1+2+(3 ou 4))			
5) Tipo de embasamento	Muito desfavorável	Desfavorável	Favorável
Tipo de formação	Rochas solúveis, cavidades, rocha de comportamento plástico.	Rochas argilosas de comportamento plástico.	Outras formações.
Probabilidade atribuída	Alta	Média	Baixa
Nota (Peso = 20%)	600	200	0
6) Deformações em larga escala	Sim		Não
Probabilidade atribuída	Alta		Baixa
Nota (Peso = 7%)	200		0
7) Movimento de massa no pé do talude	Muitos indícios		Sem indícios
Probabilidade atribuída	Alta		Baixa
Nota (Peso = 7%)	200		0
Total de ambiente geomecânico (5+6+7)			

Fonte: Adaptado de Bauer & Neumann (2011).

Quadro 2.7: Atividade e somatório de atividade e suscetibilidade.

8) Atividade Inicial	Ativo		Não ativo
Nota (Peso = 14%)	500		0
Total de atividade (0 a 500)			
Total de disposição e atividade [1+2+(3 ou 4)+5+6+7+8]			
Probabilidade atribuída	Alta	Média	Baixa
Classificação	1900 a 3000	800 a 1900	0 a 800

Fonte: Adaptado de Bauer & Neumann (2011).

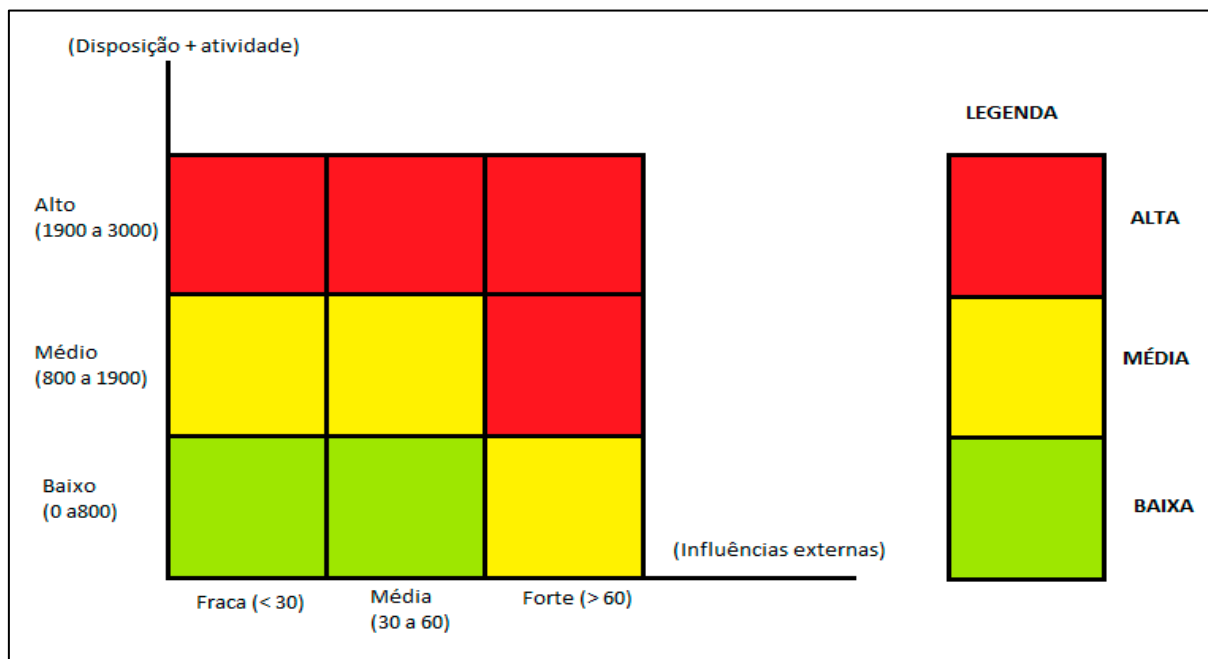
Quadro 2.8: Influências externas.

1) Zona de terremoto	Zona 2	Zona 1	Zona 0
Probabilidade atribuída	Alta	Média	Baixa
Nota	50	20	0
2) Precipitação	>310 mm	230 – 310 mm	<230 mm
Probabilidade atribuída	Alta	Média	Baixa
Nota	50	20	10
Total de impacto externo (1+2)			

Fonte: Adaptado de Bauer & Neumann (2011).

Para utilizar a matriz de probabilidade elaborada por Bauer & Neumann (2011) e adaptada por Silveira (2017), disposta na Figura 2.8, plota-se o valor total de disposição mais atividade com base nas Quadros 2.6 e 2.7 como coordenada y e o valor total do impacto externo, definido através da Quadro 8, como coordenada x, encontrando assim a probabilidade de haver queda de blocos.

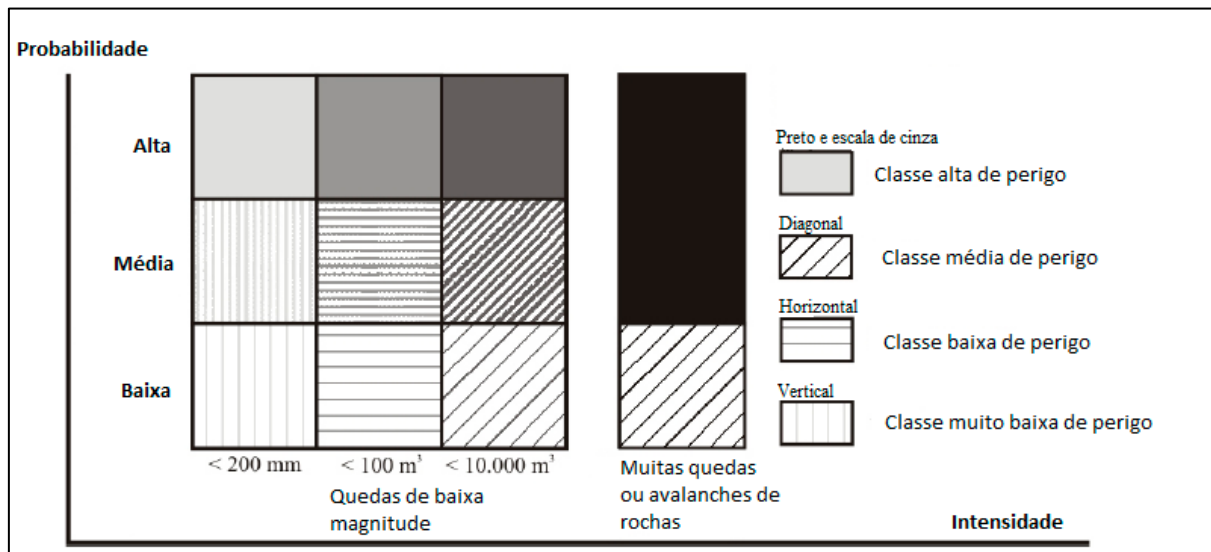
Figura 2.8: Matriz de probabilidade de ocorrer queda de blocos



Fonte: Adaptado de Bauer & Neumann (2011).

Após a obtenção da probabilidade, utiliza-se a Quadro 2.4, disposta no tópico 2.6.2, para encontrar o volume total dos blocos da área de destacamento. Esse volume será utilizado na matriz de probabilidade versus intensidade, tendo como resultado final o perigo de ocorrer quedas de blocos no talude estudado. A matriz que dará o perigo de quedas de blocos foi também proposta por Bauer & Neumann e adaptada por Silveira (2017) e se encontra abaixo na Figura 2.9.

Figura 2.9: Matriz de perigo de queda de blocos.



Fonte: Adaptado de Bauer & Neumann (2011).

2.6.3.3 Metodologia de Silveira (2017)

Buscando adaptar o método de Bauer & Neumann (2011) para avaliação de perigo de quedas de blocos em taludes urbanos, Silveira (2017) propôs duas grandes mudanças no método com o objetivo de adequar alguns parâmetros ao que é encontrado no Brasil, principalmente na região dos municípios de Mariana e Ouro Preto, no Estado de Minas Gerais. As adaptações feitas por Silveira (2017) foram baseadas nos trabalhos de Carvalho (1991), Gomes (2009), Silva (2014), Cunha (2016), Silveira *et al.* (2016) e também no RHRS de Pierson *et al.* Proposto em 1990.

As mudanças propostas na primeira adaptação são:

- **Tipo de formação:** um dos principais motivos de queda de blocos em taludes sedimentares é a intercalação de rochas mais resistentes e rochas mais friáveis, deixando muitas vezes uma camada de rocha mais resistente “descalçada” e causando a queda de blocos (Carvalho, 1991). Silveira (2017) propôs a mudança no tipo de formação para que o método se adaptasse melhor a taludes ígneos e metamórficos.
- **Precipitação:** a precipitação foi adaptada para a região de estudo com base no trabalho feito por Silva (2014), no qual a autora relaciona níveis de pluviosidade com acidentes geotécnicos.
- **Sismos:** Como sismos de grande magnitude não são nada frequentes no Brasil, Silveira adaptou o parâmetro para incluir vibrações desencadeadas por detonações

de rochas, movimentos de rocha em regiões cársticas e passagem de veículos pesados nos arredores do talude avaliado, que são parâmetros mais práticos e mais frequentes no país.

Já na segunda adaptação Silveira (2017) busca substituir os parâmetros de ambiente geomecânicos propostos por Bauer & Neumann (2011) por parâmetros relacionados à geometria do talude e da área de captação, com a justificativa de que, no método original, os parâmetros de ambiente geomecânico exigem um constante monitoramento para que gerem resultados assertivos e confiáveis, o que é difícil de ocorrer em muitas regiões estudadas. Para fazer a substituição, Silveira (2017) adotou e adaptou os parâmetros de geometria do talude e área de captação, principalmente, dos estudos feitos por Silveira et al. (2016), Gomes (2009), baseados no consagrado RHRS, já citado neste trabalho.

As mudanças propostas por Silveira (2017) na segunda adaptação são a inclusão da altura do talude, a inclinação do talude e características da área de captação, como a presença de vegetação, distância e inclinação da área.

A proposta de Silveira (2017) já foi utilizada em trabalhos posteriores como o de Santos (2019) e será a metodologia adotada neste trabalho, uma vez que o trabalho foi realizado com o intuito de avaliar o perigo de queda de blocos em uma região próxima da área a qual a autora propôs o método, logo os parâmetros utilizados pela mesma são considerados pertinentes e os que mais se encaixam com a proposta deste estudo.

3. METODOLOGIA

No presente trabalho a metodologia utilizada foi dividida em diferentes etapas, sendo a revisão bibliográfica e determinação da área de estudo as etapas preliminares, seguidas pelo levantamento de dados de campo e dados já existentes da área de estudo aliados, por fim, ao método de análise de perigo de Silveira (2017) para a obtenção da classificação da área proposta.

3.1 Talude estudado

O talude escolhido para a realização da avaliação de perigo é localizado às margens da BR356 (Rodovia dos Inconfidentes) no distrito de Amarantina, próximo a região do município de Ouro Preto. Como o talude apresentou diferença nos parâmetros de rugosidade, atividade inicial (ocorrência de queda registrada) e volume total dos blocos, optou-se por fazer a setorização do talude em dois setores, conforme ilustrado nas Figuras 3.1 e 3.2.

Figura 3.1: Ilustração da separação dos setores (linha cheia) e limite do Setor 1 (linha tracejada).



Fonte: Do Autor (2023).

Figura 3.2: Ilustração do limite sul do Setor 2.



Fonte: Do Autor (2023).

3.1.1 Levantamento de dados

Como o método de análise de perigo escolhido foi o método proposto por Silveira (2017), o levantamento de dados de campo se baseou nos parâmetros utilizados de acordo com tal classificação. Os parâmetros coletados estão dispostos no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Parâmetros levantados em campo.

Mecânica das rochas	Geometria do talude e área de captação	Atividade	Impacto externo
Orientação das descontinuidades	Altura do talude	Atividade inicial	Sismos
Grau de alteração	Inclinação do talude		
Configuração estrutural das descontinuidades (grau de transecção, abertura, condição das paredes)	Geometria da área de captação		

Fonte: Do Autor (2023).

Para a obtenção da orientação das descontinuidades e da inclinação do talude foi utilizada a bússola do tipo Brunton, já para a classificação do grau de alteração foi utilizada a Quadro proposta pelo ISRM, apresentada no Quadro 2.2. Com a trena, foi possível medir a altura do talude, a geometria da área de captação e ainda tomar medidas de blocos caídos encontrados nas proximidades do talude. Já a rugosidade, pode ser definida através da utilização do pente de Barton e também classificada de acordo com a escala proposta por Hoek (1995). Além dos dados levantados em campo, tem-se o índice pluviométrico, que não foi possível ser obtido em campo, logo foi definido através de consulta ao banco de dados de estações pluviométricas do CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais.

Na fase de classificação e manipulação dos dados foram utilizados os *softwares* *Microsoft Excel* para lidar com o tratamento dos dados brutos provenientes das estações pluviométricas e também o *Dips* (2024) para tratar as orientações das descontinuidades e gerar um estereograma com as orientações médias das respectivas famílias.

3.1.2 Metodologia da avaliação de perigo

Como já mencionado, a metodologia de análise de perigo utilizada no presente trabalho foi desenvolvida e proposta por Silveira (2017), tendo como base a metodologia abordada por Bauer & Neumann (2011). A metodologia de Silveira (2017) é a que mais se encaixa para os fins deste trabalho, como foi explicado anteriormente no presente trabalho.

Conforme citado no capítulo anterior, Silveira (2017) realizou duas adaptações ao método de Bauer & Neumann e, como ambas são extremamente pertinentes para o local do presente estudo, ambas serão utilizadas para cada setor do talude alvo. Os parâmetros utilizados para a avaliação de perigo, bem como suas pontuações e pesos, após as adaptações de Silveira (2017) estão dispostos dos Quadros 3.2, 3.3 e 3.4.

Quadro 3.2: Parâmetros para classificação de suscetibilidade à queda de blocos, de acordo com a segunda adaptação de Silveira.

1 - Orientação das descontinuidades	Desfavorável	Razoável	Favorável
Característica	Oposta ou paralelo/subparalela ao talude	Horizontal	Internas ou verticais
Probabilidade atribuída	Alta	Média	Baixa
Nota (Peso = 17%)	500	200	0
2 - Grau de alteração	Forte alteração (W4 a W5)	Baixo grau de alteração (W1 a W3)	
Probabilidade atribuída	Alta	Baixa	
Nota (Peso = 7%)	200	0	
3 - Configuração estrutural das descontinuidades			
Persistência	Mais de 10 m de extensão (alta).	Entre 1 e 10 m de extensão (média).	Menos de 1m de extensão (baixa).
Nota (Peso = 7%)	200	100	0
Grau de transecção	Nenhum mineral de ligação		Existência de mineral de ligação
Nota (Peso = 7%)	200		0
Abertura das descontinuidades	Abertas (>1 cm)	Suavemente abertas (entre 0,5mm a 1 cm).	Fechadas (<0,5 mm)
Nota (Peso = 7%)	200	100	0
Condição das paredes	Lisas		Rugosas
Nota (Peso = 7%)	200		0
4) Grau de afrouxamento (alternativo a categoria 3).	Indicações claras, como: juntas abertas e alteradas, lacunas entre as paredes (alto).	Poucas indicações visíveis (médio).	Nenhuma indicação (baixo).

Valor (Peso = 28%)	800	400	0		
Total de mecânica de rochas (1+2+(3 ou 4))					
5) Altura do talude	80 m	66 m	57 m	10 m	
$I_{AT} = e^{0,07996xH}$	600	200	100	2	
Probabilidade atribuída	Muito Alta	Alta	Média	Baixa	
Nota (Peso = 20%)	600	200	100	0	
6) Inclinação do talude	Plano inclinado com feições de lançamento	Talude subvertical a vertical com feições de lançamento		Abaixo de 30° ou próximo a 90°; sem feições de lançamento.	
Probabilidade atribuída	Alta	Média		Baixa	
Nota (Peso = 7%)	200	100		0	
7) Área de captação	Pequena distância, inclinação elevada, com pouca ou nenhuma vegetação.	Distância e/ou inclinação moderada. Pouca ou nenhuma vegetação		Grande distância, baixa inclinação, com ou sem vegetação.	
Probabilidade atribuída	Alta	Média		Baixa	
Nota (Peso = 7%)	200	100		0	
Total de ambiente geomecânico (5+6+7)					
8) Atividade Inicial	Ativo		Não Ativo		
Nota (Peso = 14%)	500		0		
Total da atividade (0 a 500)					
Total de disposição e atividade [1+2+(3 ou 4)+5+6+7+8]					
Probabilidade atribuída	Alta		Média		Baixa
Classificação	1900 a 3000		800 a 1900		0 a 800

Fonte: Silveira (2017).

Quadro 3.3: Classificação das influências externas e cálculo da probabilidade de queda de blocos., de acordo com a segunda adaptação de Silveira.

1) Sismos	Sismos tectônicos	Minerações, regiões cársticas e veículos pesados	Região isenta de sismos
Probabilidade atribuída	Alta	Média	Baixa
Nota	50	20	0
2) Precipitação	>129 mm/6 dias	48,2–129 mm/6 dias	<48,2 mm/6 dias

Probabilidade atribuída	50	20	0
Total de impacto externo (1+2)			
Classificação	Alta (>60)	Média (30 a 60)	Baixa (<30)
Grau de impacto	Forte	Médio	Fraco

Fonte: Silveira (2017).

Quadro 3.4: Classificação das influências externas e cálculo da probabilidade de queda de blocos., de acordo com a segunda adaptação de Silveira.

Intensidade	Quedas de alta magnitude		Quedas de baixa magnitude		
Volume Total	Avalanche de rochas	Quedas em larga escala	Quedas em escala média	Quedas em pequena escala	Bloco único
Distinção	Volume total acima de 1000000 m ³	Volume total com cerca de 1000000 m ³	Volume total com cerca de 10000 m ³	Volume total com cerca de 100 m ³ e/ou fragmentos com diâmetro maior que 200 mm.	Um bloco ou pequenos fragmentos de até 200 mm de diâmetro.

Fonte: Silveira (2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a classificação dos parâmetros, foi considerada a orientação média do talude, conforme observado em campo, de 086/85, além da sua altura de, aproximadamente, 5 metros.

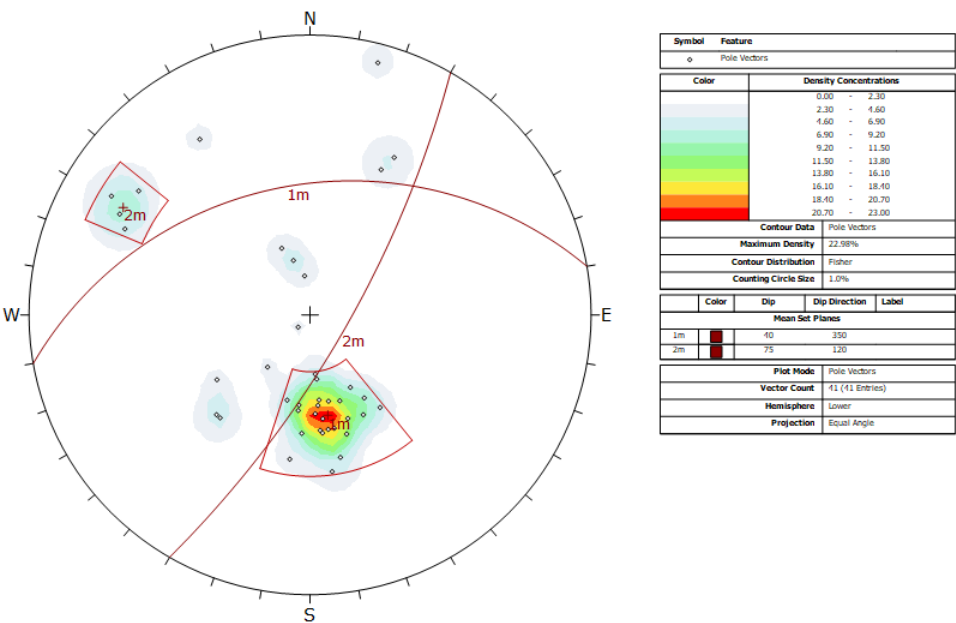
Foram observadas duas famílias de descontinuidades principais nos dois setores, classificadas como fratura e foliação, dispostas na Tabela 4.1 e com os planos ilustrados no estereograma da Figura 4.1.

Tabela 4.1: Orientação média das famílias de descontinuidade.

Famílias	Orientação média
Fratura	120/75
Foliação	350/40

Fonte: Do Autor (2023).

Figura 4.1: Ilustração da orientação média das famílias de descontinuidades, no qual F1 é a família de foliação e F2 a família de fraturas.



Fonte: Do Autor (2023).

A família de fraturas se encontra quase que vertical ao talude, enquanto a família de descontinuidades relacionadas à foliação se encontra no limite entre subparalela e horizontal. Considerando a avaliação como conservadora e, conseqüentemente, prevendo os piores cenários plausíveis, considerou-se a orientação das descontinuidades relacionadas à foliação

como subparalela ao talude. Partindo do mesmo princípio, nos parâmetros do Setor 2, foi utilizado para avaliação o grau de afrouxamento, uma vez que, há ocorrência de aberturas centimétricas em algumas juntas no talude, conforme mostrado na Figura 4.2B, caracterizando “lacunas entre as paredes” no Quadro 3.2. No cálculo de I_{AT} necessário para a parametrização da altura do talude, o resultado obtido foi de aproximadamente 1,49, concebendo uma probabilidade atribuída baixa conforme demonstrado no Quadro 4.1. No parâmetro dos sismos, foi adotado “veículos pesados” como característica, pois o talude fica às margens de uma rodovia na qual trafegam constantemente veículos de carga.

Os resultados dos parâmetros levantados em campo com abordagem da metodologia de Silveira (2017) estão dispostos no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Resultados dos parâmetros levantados em campo.

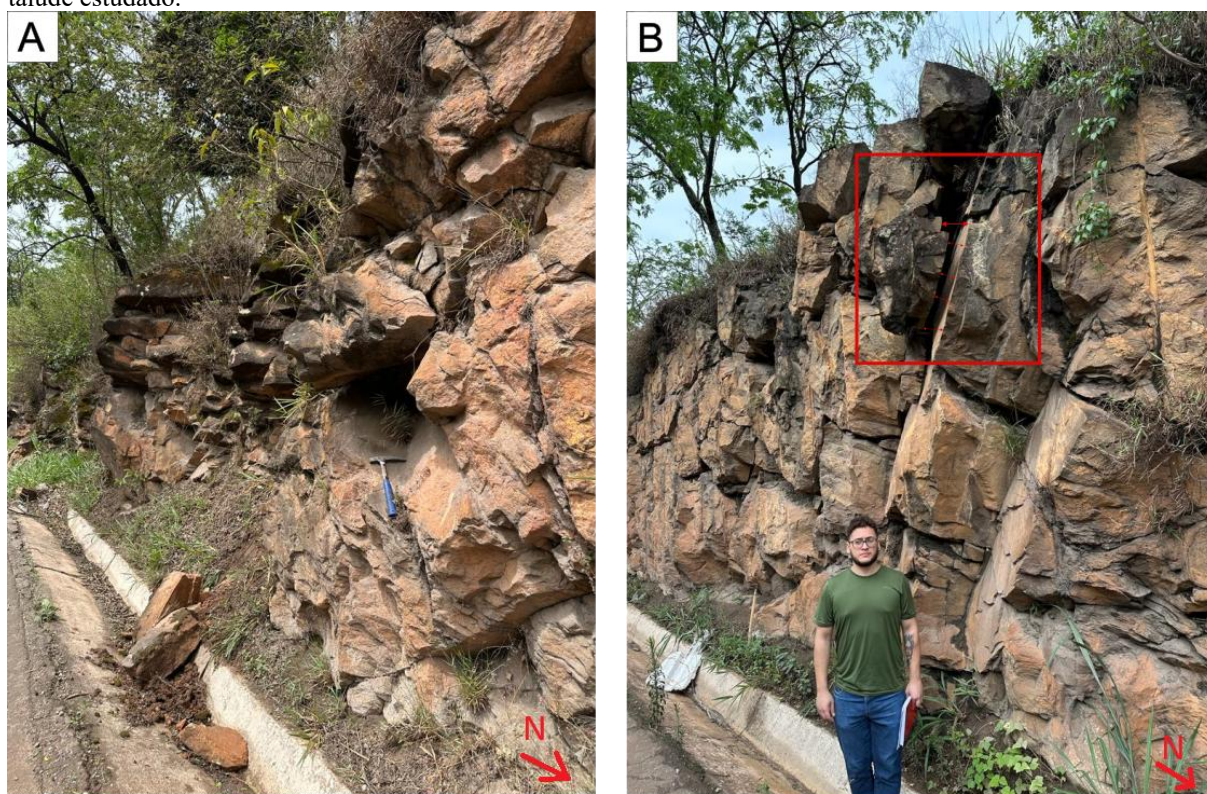
SETOR	MECÂNICA DAS ROCHAS			
	ORIENTAÇÃO DESCONTIN.	GRAU DE ALTERAÇÃO	GRAU DE AFROUXAMENTO	
1	Razoável	Baixo	-	
2	Razoável	Baixo	Indicações claras	
SETOR	ESTRUTURA DAS DESCONTINUIDADES			
	PERSISTÊNCIA	GRAU DE TRANSECÇÃO	ABERTURA DESCONTIN.	CONDIÇÃO PAREDES
1	Média	Nenhum mineral de ligação	Fechadas	Rugosas
2	-	-	-	-
SETOR	GEOMETRIA DO TALUDE			
	ALTURA DO TALUDE	INCLINAÇÃO DO TALUDE	ÁREA DE CAPTAÇÃO	
1 e 2	Baixa	Subvertical a vertical com feições de lançamento	Pequena distância, inclinação elevada, com pouca ou nenhuma vegetação	
SETOR	GRAU DE IMPACTO DAS INFLUÊNCIAS EXTERNAS		ATIVIDADE	INTENSIDADE
	SISMOS	PRECIPITAÇÃO	ATIVIDADE INICIAL	VOLUME DE BLOCOS

1	Veículos pesados	<48.2 mm/6 dias	>129 mm/6 dias	Não ativo	Bloco único
2	Veículos pesados	<48.2 mm/6 dias	>129 mm/6 dias	Ativo	Quedas em pequena escala

Fonte: Do Autor (2023).

Importante salientar que algumas características chamaram atenção durante o levantamento dos parâmetros em campo, como a presença de blocos rolados de tamanho considerável (cerca de 1m³), considerando as dimensões do talude e também a presença de juntas com aberturas consideráveis, destacados na Figura 4.2, evidenciando a ocorrência do tombamento de blocos.

Figura 4.2: A) Bloco rolado proveniente do talude estudado. B) Abertura centimétrica de descontinuidade no talude estudado.



Fonte: Do Autor (2023).

De acordo com os resultados obtidos e postos no Quadro 4.1 e utilizando o método proposto por Silveira (2017), tem-se o Quadro 4.2 com as pontuações relacionadas aos parâmetros analisados separados por setor do talude estudado. A suscetibilidade à queda de blocos dentro desta classificação varia em Baixa (0 a 800), Média (800 a 1500) e Alta (1900 a 3000).

Quadro 4.2: Classificação de suscetibilidade à queda de blocos.

PARÂMETROS		SETOR	
		1	2
DISPOSIÇÃO	ORIENTAÇÃO	85	85
	ALTERAÇÃO	0	0
	PERSISTÊNCIA	7	-
	TRANSECÇÃO	14	-
	ABERTURA	0	-
	RUGOSIDADE	0	-
	AFROUXAMENTO	-	224
	ALTURA	0	0
	INCLINAÇÃO	7	7
	CAPTAÇÃO	14	14
ATIVIDADE		0	70
SUSCETIBILIDADE		76	400
CLASSIFICAÇÃO		Baixo	Baixo

Fonte: Do Autor (2023).

Após a classificação dos setores do talude estudado quanto a suscetibilidade (disposição + atividade), foi realizada a probabilidade de ocorrência de queda de blocos, conforme a matriz ilustrada na Figura 2.8 que leva em consideração a suscetibilidade, classificada anteriormente, e os parâmetros relacionados aos impactos externos ao talude, que são precipitações e sismos. Como se trata de um único talude, de pequeno porte, os impactos externos serão os mesmos para os dois setores. O nível de precipitação utilizado foi obtido através do banco de dados do CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2015-2021), tendo como foco os dados de pluviosidade proveniente dos Pluviômetros Automáticos localizados nos distritos de Amarantina e Santo Antônio do Leite. Através da análise dos dados históricos pluviométricos, notou-se que as chuvas tem distribuição irregular, com períodos mais secos de abril a setembro e períodos mais chuvosos de outubro a março, com intensidade de volume maior, principalmente, em dezembro e janeiro.

As precipitações máximas dos pluviômetros automáticos analisados no período de 2015 a 2021, são maiores que 126,6mm/6 dias, como em janeiro de 2020 no qual o volume acumulado, em milímetros no período de 6 dias chegou a 205,7 mm e em janeiro de 2022 onde, também em 6 dias, o volume de chuva acumulado chegou a atingir 273,34mm. Como as chuvas são irregulares, comumente ocorrem períodos em que o volume acumulado em 6 dias é de 0mm, sendo menor que 48,2mm e, conseqüentemente, a precipitação mínima. Já os sismos possuem o valor médio em razão do trânsito constante de veículos pesados na rodovia a qual o talude está inserido, que podem causar pequenos sismos a depender da quantidade de carga que transportam. Os resultados de probabilidade de ocorrência de queda de blocos com base na metodologia proposta por Silveira (2017) estão dispostos no Quadro 4.3.

Quadro 4.3: Classificação da probabilidade de queda de blocos.

SETORES	DISPOSIÇÃO + ATIVIDADE (PESOS)	DISPOSIÇÃO + ATIVIDADE (CLASSE)	IMPACTO EXTERNO		PROBABILIDADE	
			MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
1	76	Baixa	20	70	Baixa	Média
2	400	Baixa	20	70	Baixa	Média

Fonte: Do Autor (2023).

Com os resultados das classes de probabilidade obtidos, faz-se necessário a utilização da matriz de perigo (Figura 2.9) de Bauer & Neumann (2011) adaptada por Silveira (2017) afim de classificar os setores quanto ao perigo de queda de blocos. Esta classificação é feita utilizando a probabilidade obtida anteriormente em conjunto com a intensidade, que é o parâmetro que avalia o volume total de blocos e suas dimensões caso ocorra a queda. A intensidade (em forma do parâmetro do volume total de blocos) e a classe de perigo associada a cada setor estão dispostas no Quadro 12.

Quadro 4.4: Classificação de perigo de queda de blocos no talude estudado.

SETORES	PROBABILIDADE		VOLUME DE BLOCOS	CLASSE DE PERIGO	
	MÍNIMO	MÁXIMO		MÍNIMO	MÁXIMO
1	Baixa	Baixa	Fragmentos com diâmetro até 200 mm	Muito baixa	Muito baixa
2	Baixa	Média	Entre 200mm e 100 m ³	Muito baixa	Baixa

Fonte: Do Autor (2023).

Através dos resultados obtidos no Quadro 4.4 e nas classificações de suscetibilidade e probabilidade (Quadros 4.1 e 4.2), nota-se que as principais características que diferenciam a avaliação de perigo dos setores são a presença de lacunas com abertura centimétrica, a atividade inicial e o volume de blocos. Tais fatores levam o Setor 2 a ter uma classe de perigo máxima **BAIXA**, diferentemente do Setor 1 que, mesmo após considerar o pior dos cenários, tem sua classe de perigo máxima definida como **MUITO BAIXA**.

5. CONCLUSÃO

A partir da aplicação da metodologia de Silveira (2017), interpretada como a mais adequada para as características do talude estudado, foi possível classificar o perigo de quedas de blocos em dois setores distintos. Os resultados apontam que, mesmo considerando os cenários mais desfavoráveis, o maciço analisado apresenta, de modo geral, uma classificação de perigo baixa. Ainda assim, a proximidade da encosta com a BR-356 — uma via de tráfego intenso — torna essencial a adoção de medidas preventivas.

Como se trata de um estudo preliminar, recomenda-se a realização de análises complementares, como a simulação da trajetória de blocos e a aplicação de métodos mais robustos de avaliação da estabilidade, a fim de subsidiar, se necessário, intervenções estruturais, como obras de contenção. Ressalta-se que a segurança da infraestrutura rodoviária depende diretamente de avaliações técnicas contínuas e aprofundadas, sobretudo em regiões geologicamente complexas e sujeitas a eventos pluviométricos intensos.

Conclui-se também que, dentro do método adotado, os fatores mais determinantes para o aumento da classificação de perigo foram: a orientação das descontinuidades (sobretudo quando opostas ou subparalelas ao talude), a altura do talude e a presença de vestígios de atividade prévia. No caso específico deste estudo, esses elementos não se mostraram suficientemente críticos para elevar o nível de risco. O talude avaliado é de pequeno porte e não apresenta características estruturais que favoreçam movimentos de massa significativos, ao contrário de grandes escarpas com blocos de maior volume e energia potencial.

Dessa forma, o trabalho cumpre seu objetivo de fornecer uma base técnica sólida para futuras decisões sobre a gestão de riscos geotécnicos na região, contribuindo com o planejamento e a segurança das infraestruturas viárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim, F. F.; Martins-Neto, M. A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, v. 33, n. 1, p. 127-139;
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS. Políticos são unânimes nas críticas à concessão de rodovias na região dos Inconfidentes. Belo Horizonte, 17 fev. 2025. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/comunicacao/noticias/arquivos/Populacao-cobra-transparencia-sobre-projeto-de-concessao-de-rodovias/>. Acesso em: 13 jul. 2025;
- Augusto Filho, O. 1992. Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – SP, p.162;
- Baltazar O. F. & Pedreira A. J.. 1998. Associações litofaciológicas. In: M. Zucchetti & O. F. Baltazar (Org.). Projeto Rio das Velhas: Texto explicativo do mapa geológico integrado. Escala 1:100.000. Convênio DNPM/CPRM, Belo Horizonte;
- Baltazar O.F. & Zucchetti M.. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: a review of the setting of gold deposits. *Ore Geol. Rev.* 32, 471–499;
- Bauer, M. & Neumann, P. 2011. A guide to processing rock-fall hazard from field data. Em: Vogt, N., Schuppener, B., Straub, D. & Bräu, G., *Geotechnical Safety and Risk, Proceedings of the 3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk*, June 2011: 149-156;
- Carneiro M. A.. 1992. O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional - Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano. São Paulo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 233p;
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Mapa Interativo. Disponível em: <https://mapainterativo.cemaden.gov.br/>. Acesso em 15 abr. 2025;
- Cordani U. G., Kawashita K., Müller G., Quade H., Reimer, V., Roeser H. M. P.. 1980. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. *An. Acad. Bras. Ciên.*, 52(4): 785-799;
- Carvalho, P. A. S. 1991. Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo. IPT. 410 p;
- Corteletti, R.C. 2017. Metodologia para análise de riscos geológico-geotécnicos em ferrovias: Estrada de Ferro Carajás (EFC). 1 ed. Ouro Preto, MG: Editora UFOP. 222p.;
- DIÁRIO DO COMÉRCIO. Proposta da ‘Rodovia do Minério’ inclui EPR e sugere faixa exclusiva e ferrovia nas BRs 040 e 356. Belo Horizonte, 3 dez. 2024. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/rodovia-do-minerio-proposta-epr-faixa-exclusiva-e-ferrovia/>. Acesso em 13 jul. 2025;
- Dorr J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil (No. 641-A, pp. A1-A110). US Government Printing Office;
- Endo I.. 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 243p;
- Endo I., Galbiatti H. F., Delgado C. E. R., Oliveira M. M. F. de, Zapparoli A. de C., Moura L. G. B. de, Peres G. G., Oliveira A. H. de, Zavaglia G., Danderfer Fº A., Gomes C. J. S., Carneiro M. A., Nalini Jr. H. A., Castro P de T. A., Suita M. T. de F., Seixas L. A. R., Tazava E., Lana C. de C., Martins-Neto M. A., Martins M. de S., Ferreira Fº F. A., Franco A. P., Almeida L. G., Rossi D. Q., Angeli G., Madeira T. J. A., Piassa L. R. A., Mariano D. F., Carlos D. U.. 2019a. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000: Uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969). Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br;
- Endo I., Delgado C. E. R. Oliveira M. M. F. de, Zapparoli A. de C., Carlos D. U., Galbiatti H. F., Castro P. de T. A., Suita M. T. de F., Barbosa M. S. C., Lana C. E., Moura L. G. B. de. 2019b. Estratigrafia e Arcabouço

Estrutural do Quadrilátero Ferrífero: Nota Explicativa do Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000. Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br;

Endo I., Machado R., Galbiatti H. F., Rossi D. Q., Zapparoli A. de C., Carlos D. U., Castro P. de T. A., de Oliveira M. M. F. Estratigrafia e Evolução Estrutural do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP – Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero;

ESTADO DE MINAS. Deslizamento complica trânsito na BR-356 na altura da curva do Pontei. 2020. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2020/01/28/interna_gerais,1117709/deslizamento-complica-transito-da-br-356-na-altura-da-curva-do-pontei.shtml. Acesso em: 13 jul. 2025;

Farina F., Albert C., Dopico C. M., Aguilar C. G., Moreira H., Hippert J., Cutts K., Alkmim F. F., Lana C. C. 2016. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil: current models and open questions. Jour. South Am. Earth Sci. 68, 4-21;

Fiori, A.; Carmignani, L. 2009. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas; aplicações na estabilidade de taludes – 2 ed. rev. e ampl. : Ed. UFPR, 604 p;

Fell, R.; Corominas, J.; Bonnard, C.; Cascini, L.; Leroi, E.; Savage, W. Z. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology 102 (2008) 85–98;

Giani, G. P. 1992. Rock Slope Stability Analysis. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands.

Gomes, G. J. C. 2009. Avaliação do perigo relacionado à queda de bloco em rodovias. Dissertação (mestrado). Dissertação (mestrado). Nugeo, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 138 p.

Gomes N. S.. 1986. Petrologisch-geochemische Untersuchungen im Bação-Komplex Eisernes Viereck, Minas Gerais, Brasilien. Clausthal. Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät., Technischen Universität Clausthal. Dissertation. 209p.;

Guidicini, G.; Nieble, C. M. 1984. Estabilidade de taludes naturais e de Escavação. 2ª Edição. São Paulo. Edgard Blücher, 194p

Guimarães D., Melo S. M. G., Melo E. A. V.. 1967. O Complexo de Bação. Bol. Inst. Geol./EFMOP, 2(1): 1-12;

Herz N.. 1970. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. Prof. Paper 641-B. 57p.

Highland, L. M., & Bobrowsky, P. 2008. The landslide handbook-A guide to understanding landslides (No. 1325). US Geological Survey;

Hoek, E. 2000. Practical Rock Engineering. Edition by Dr. E. Hoek, 2000, 328p;

INMET. Balanço de Março/2024: Belo Horizonte teve chuva e temperaturas acima da média. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias>. Acesso em: 13 jul. 2025;

ISRM 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring. E.T.Brown, 211 p;

Lana C., Alkmim F. F., Armstrong R., Scholz R., Romano R., Nalini Jr. H. A.. 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. Prec. Res.. 231, 157–173;

Lavell, A. 2001. Gestión de Riesgos Ambientales Urbanos. Curso Centroamericano de Gestión Urbana. San Salvador. El Salvador: LA RED;

Noce C. M.. 1995. Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 129 p.;

OLIVEIRA, M. A.. Avaliação geotécnica de risco de escorregamento nas proximidades do Morro da Força, Ouro Preto (MG), utilizando o método do índice de risco. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Geológica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022;

PODER360. Chuvas em MG: saiba como estão as rodovias do Estado. 2022. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/brasil/chuvas-em-mg-saiba-como-estao-as-rodovias-do-estado/>. Acesso em: 13 jul. 2025;

Reis L. A., Martins-Neto M.A., Gomes N.S., Endo I.. 2002. A bacia de antepaís paleoproterozóica Sabará,

Quadrilátero Ferrífero, MG. Rev. Bras. de Geoc. 32, 43-58;

ROCscience Inc. Dips – Stereographic Analysis of Orientation Data, versão 8.0. Toronto: Rocscience Inc., 2024. Software.

Santos, T. 2019. Avaliação do perigo de queda de blocos em encostas rochosas ao longo da rodovia BR-262 entre Betim e Nova Serrana. Dissertação de graduação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Unidade Araxá. 82p;

Silva, D. 2017. Avaliação do alcance de deslizamentos em função da geometria da encosta. Estudo de caso: estrada de ferro Vitória-Minas. Tese de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 214p

Silveira L.. 2017. Avaliação do perigo de queda de blocos em taludes urbanos e ferroviários e simulação de sua trajetória. Tese de mestrado, Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 169p;

Schorscher H. D.. 1992. Arcabouço petrográfico e evolução crustal dos terrenos precambrianos do sudeste de Minas Gerais: Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional, e domos granitoides-gnaissicos adjacentes. Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência. 393p.;

Tominaga, L.K.; Santoro, J.; Amaral, R. 2009. Desastres naturais: conhecer para prevenir. Lídia K. Tominaga, Jair Santoro, Rosângela do Amaral (Orgs.). São Paulo: Instituto Geológico, 196p.

Varnes, D.J. 1978. Slope Movement Types and Processes. Em: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., Landslides, Analysis and Control, Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33p;

Zucchetti M., Baltazar O. F., Raposo F. O.. 1998. Estratigrafia. In: M. Zucchetti & O. F. Baltazar (Org.). Projeto Rio das Velhas: Texto explicativo do mapa geológico integrado. Escala 1:100.000. Convênio DNPM/CPRM, Belo Horizonte.