



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
UNIDADE ARAXÁ**

**THAYNÁ VALERIANO SANTOS**

**AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS EM  
ENCOSTAS ROCHOSAS AO LONGO DA RODOVIA BR-262  
ENTRE BETIM E NOVA SERRANA**

**ARAXÁ/MG**

**2019**

**THAYNÁ VALERIANO SANTOS**

**AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS EM  
ENCOSTAS ROCHOSAS AO LONGO DA RODOVIA BR-262  
ENTRE BETIM E NOVA SERRANA**

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Allan Erlichman  
Medeiros Santos

Coorientador: Me. Denise de Fátima  
Santos da Silva

**ARAXÁ/MG**

**2019**

THAYNÁ VALERIANO SANTOS

**AVALIAÇÃO DO PERIGO DE QUEDA DE BLOCOS EM ENCOSTAS ROCHOSAS  
AO LONGO DA RODOVIA BR 262 ENTRE BETIM E NOVA SERRANA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
de Minas do Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas  
Gerais – CEFET/MG, como requisito  
parcial para a obtenção de grau de  
bacharel em Engenharia de Minas

Araxá, 29 de novembro de 2019



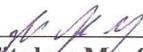
\_\_\_\_\_  
**Presidente e Orientador: Prof. Me. Allan Erlichman Medeiros Santos**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



\_\_\_\_\_  
**Membro Titular e Coorientadora: Eng.<sup>a</sup> Me. Denise de Fátima Santos da Silva**  
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG



\_\_\_\_\_  
**Membro Titular: Prof. Esp. Francisco de Castro Valente Neto**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



\_\_\_\_\_  
**Membro Titular: Me. Guilherme Alzamora Mendonça**

## **DEDICATÓRIA**

### **DEDICO ESTE TRABALHO**

*A minha família, que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e trabalharam e me apoiaram para que eu pudesse realizá-los, dedico essa vitória após cinco anos de esforços e desafios e que cada vitória conquistada seja compartilhada com vocês.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar forças para vencer os momentos difíceis; fé para superar as dificuldades e principalmente por colocar pessoas maravilhosas no meu caminho.

A você, mãe, que não importasse qual fosse o obstáculo sempre me incentivou a prosseguir, a minha irmã e meu marido que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado.

À meu orientador e co-orientadora que me ajudaram a finalizar esse trabalho e estiveram presentes para responderem todas as dúvidas e dificuldades encontradas.

## EPÍGRAFE

*"Porque sou Eu que conheço os pensamentos que tenho para vocês, diz O Senhor. São pensamentos de paz e não de mal, para dar-lhes um futuro e uma esperança"*

Jeremias 29:11.

## RESUMO

A avaliação de risco é fundamental em qualquer projeto de engenharia. Especificamente, na mineração, este tipo de trabalho potencializa a economia e a segurança durante a operação da lavra. Em obras lineares, diferentes tipos de maciços rochosos são interceptados, e dessa forma, existe a necessidade de estudos relacionados à queda de blocos para a determinação da segurança dessas áreas. Este trabalho teve como objetivo avaliar o perigo à queda de blocos dos taludes localizados às margens da rodovia BR-262, entre as cidades de Betim e Nova Serrana, em Minas Gerais. A partir de dados coletados em campo determinou-se os níveis de perigo utilizando as metodologias de SILVEIRA (2017) (adaptação de BAUER e NEUMANN, 2011) e de GOMES (2009), que diferem entre si em diversos pontos. Os resultados foram obtidos a partir de características relacionadas à mecânica das rochas, geometria do talude, área de captação dos blocos, atividade, influências externas etc. Quatro taludes foram setorizados de acordo com os padrões encontrados nos trechos analisados. Os níveis de perigo variaram de baixo a alto, sendo que nos taludes analisados não houve divergência quanto ao nível de perigo na aplicação das duas metodologias. Assim, a análise de perigo foi concretizada, permitindo identificar os taludes com necessidade ou não de intervenção. O talude com maior grau de perigo foi o P4 – A para as duas metodologias, porém ocorreram algumas discrepâncias. Para o ponto P4 – A mesmo com a classificação de maior  $I_{QB}$  em GOMES (2009), no período de estiagem é considerado com baixo grau de perigo para SILVEIRA (2017). Já para o talude/setor PM1, possui uma alta classe de perigo no período de chuvas (SILVEIRA, 2017) e o menor  $I_{QB}$  encontrado (GOMES, 2009). A comparação das metodologias permite o investigador decidir qual método aplicar, levando-se em conta a segurança e/ou adequação às características do local a ser estudado.

Palavras-chave: avaliação de perigo, queda de blocos, BR-262, mapeamento de perigo, taludes rodoviários.

## ABSTRACT

Risk assessment is critical in any engineering project. Specifically, in mining, this type of work enhances economy and safety during the mining operation. In linear works, different types of rock masses are intercepted, and thus there is a need for studies related to falling blocks to determine the safety of these areas. This study aimed to evaluate the danger of falling blocks from slopes located along the BR-262 highway, between the cities of Betim and Nova Serrana, in Minas Gerais. From data collected in the field, hazard levels were determined using the methodologies of SILVEIRA (2017) (adapted by BAUER and NEUMANN, 2011) and GOMES (2009), which differ in several points. The results were obtained from characteristics related to rock mechanics, slope geometry, block catchment area, activity, external influences, etc. Four slopes were divided according to the standards found in the analyzed sections. Hazard levels varied from low to high, and in the slopes analyzed there was no divergence as to the level of danger in the application of both methodologies. Thus, the hazard analysis was carried out, allowing to identify the slopes with or without intervention. The slope with the highest degree of danger was P4 - A for both methodologies, but some discrepancies occurred. For point P4 - Same with the highest  $I_{QB}$  rating in GOMES (2009), in the dry season is considered with low degree of danger for SILVEIRA (2017). For the slope / sector PM1, it has a high hazard class during the rainy season (SILVEIRA, 2017) and the lowest  $I_{QB}$  found (GOMES, 2009). The comparison of the methodologies allows the researcher to decide which method to apply, taking into account the safety and / or adequacy to the characteristics of the place to be studied.

Keywords: Risk assessment, rockfall, BR-262, hazard mapping, road slopes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Configuração de taludes.....	17
Figura 2: Características das descontinuidades. ....	18
Figura 3: Limite Cráton do São Francisco e localização da região de Pará de Minas. ..	20
Figura 4: Exemplos de movimentos de massa.....	21
Figura 5: Desprendimento ou queda.....	22
Figura 6: Causas da queda de blocos.....	23
Figura 7: Escorregamento ( <i>landslide</i> ). ....	24
Figura 8: Rastejo ( <i>creep</i> ). ....	25
Figura 9: Fluxo de detritos ( <i>debris flow</i> ). ....	25
Figura 10: Exemplos de perigos associados a movimentos de massa: A: queda de blocos; B: escorregamentos de solo; C: deslizamentos em rocha; e D: escoamentos viscosos de solo. ....	30
Figura 11: Exemplo de probabilidade objetiva.....	36
Figura 12: Avaliação de perigo. ....	37
Figura 13: Matriz de probabilidade à ocorrência de queda de blocos (adaptado de BAUER e NEUMANN, 2011). ....	39
Figura 14: Matriz de perigo de queda de blocos (adaptado de BAUER e NEUMANN, 2011).....	40
Figura 15: Análise qualitativa: A: Dados básicos; B: Suscetibilidade; C: vulnerabilidade, D: Avaliação do risco; E: Risco Final pela curva de risco. ....	47
Figura 16: Análise quantitativa e gestão de risco. ....	48
Figura 17: Localização da área de estudo (entre Betim e Nova Serrana).....	50
Figura 18: Localização dos taludes estudados.....	50
Figura 19: Vista panorâmica do Ponto 4 - Nova Serrana. ....	51
Figura 20: Setorização - Ponto 4. ....	51
Figura 21: Talude estudado no Ponto 2. ....	51
Figura 22: Setorização - Ponto 2. ....	52
Figura 23: Vista geral do Ponto 1 - Pará de Minas.....	52
Figura 24: Setorização - Ponto 1. ....	52
Figura 25: Talude Betim.....	53
Figura 26: Setorização - Talude Betim.....	53

Figura 27: Talude Pará de Minas.....	54
Figura 28: Setorização - Talude Pará de Minas.....	54
Figura 29: Ponto com maior suscetibilidade - P1 - C.....	60
Figura 30: Ponto com menos suscetibilidade - P4 - B.....	60
Figura 31: Tráfego diário - Km 475 .....	64
Figura 32: Tráfego diário - Km 331 .....	64
Figura 33: RMR - Estiagem e Chuvas.....	68
Figura 34: SMR - Estiagem e Chuvas .....	68
Figura 35: Relação <i>IAT</i> e altura dos taludes .....	69
Figura 36: Relação <i>IRV</i> e Risco ao veículo.....	70
Figura 37: Índice <i>ICC</i> . .....	70
Figura 38: Dados <i>IDB</i> . .....	71
Figura 39: Relação <i>IDB</i> e Dimensão dos blocos.....	71
Figura 40: Relação <i>ICG</i> e <i>SMR</i> .....	72
Figura 41: Dados <i>ICG</i> .....	72
Figura 42: Dados <i>IQB</i> . .....	73

### **LISTA DE TABELAS E QUADROS**

Quadro 1: Exemplos de agentes e causas. ....	27
Quadro 2: Fatores dos movimentos de massa .....	27
Quadro 3: Resumo das características dos movimentos de massa. ....	28
Quadro 4: Níveis de suscetibilidade. ....	31
Quadro 5: Vulnerabilidade de acordo com número de moradias. ....	32
Quadro 6: Grau de alteração do maciço rochoso.....	33
Quadro 7: Classificação da Persistência. ....	33
Quadro 8: Tabela com pesos para a suscetibilidade à queda de blocos e atividade. ....	38
Quadro 9: Tabela com pesos para influências externas e o grau de impacto. ....	39
Quadro 10: Intensidade da queda de blocos. ....	40
Quadro 11: Pontuação dos parâmetros para análise de queda de blocos.....	42
Quadro 12: Equações e símbolos dos parâmetros de análise de risco.....	42
Quadro 13: Parâmetros coletados em campo. ....	55
Quadro 14: Adaptações no método de BAUER e NEUMANN (2011) por SILVEIRA (2017).....	55
Quadro 15: Parâmetros adotados e suas simbologias e equações. ....	57
Quadro 16: Dados obtidos em campo - Mecânica das Rochas.....	58

Quadro 17: Dados obtidos em campo - Geometria do talude e Área de captação. ....	58
Quadro 18: Dados obtidos em campo - Influências externas/Atividade/Intensidade.....	59
Tabela 1: Resumo da classificação SMR .....	44
Tabela 2: Resumo da classificação RMR .....	45
Tabela 3: Pontuação - Metodologia de SILVEIRA (2017). ....	59
Tabela 4: Probabilidade de ocorrência de quedas de blocos. ....	61
Tabela 5: Classe de perigo para os taludes da BR-262 a partir da metodologia de SILVEIRA (2017).. ....	62
Tabela 6: Dados 1 - Metodologia GOMES (2009).....	63
Tabela 7: Dados 2 - Metodologia GOMES (2009).....	63
Tabela 8: Dados 3 - Metodologia GOMES (2009).....	63
Tabela 9: Dados 4 - Metodologia Gomes (2009). ....	64
Tabela 10: Classificação SMR. ....	65
Tabela 11: SMR - Sem presença de água / Com presença de água. ....	66
Tabela 12: Índices - Metodologia GOMES (2009). ....	67
Tabela 13: Dados <i>IQB</i> . ....	73

### **LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1: Altura dos taludes .....	43
Equação 2: Risco médio ao veículo.....	43
Equação 3: Distância de visibilidade.....	43
Equação 4: Dimensão dos blocos. ....	43
Equação 5: Característica geológica-geotécnica - SMR.....	45
Equação 6: Índice de queda de blocos.....	45

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b>	<b>15</b>
<b>3 OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
3.1 Objetivo geral.....	16
3.2 Objetivos específicos .....	16
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
4.1 Conceitos iniciais da geotecnia.....	16
4.1.1 Maciço rochoso, rocha e taludes .....	16
4.1.2 Descontinuidades .....	18
4.1.3 Obras de engenharia.....	18
4.2 Contexto geológico e área de estudo (BR-262) .....	19
4.3 Movimentos de massas .....	21
4.3.1 Quedas ( <i>rockfall</i> ).....	22
4.3.2 Escorregamento ( <i>landslide</i> ).....	23
4.3.3 Rastejo ( <i>creep</i> ) .....	24
4.3.4 Fluxo de detritos ( <i>debris flow</i> ) .....	25
4.3.5 Agentes e Causas dos movimentos de massa.....	26
4.4 Análise de risco e perigo ( <i>hazard</i> ) .....	28
4.4.1 Conceitos associados aos riscos .....	28
4.4.1.1 Suscetibilidade e vulnerabilidade.....	31
4.4.1.2 Mecânica das Rochas .....	32
4.4.1.3 Geometria do talude e área de captação .....	34
4.4.1.4 Atividade e grau de influência externa.....	35
4.4.1.5 Probabilidade e Intensidade .....	35
4.4.2 Metodologias existentes .....	37

4.4.2.1 Matriz de probabilidade e Matriz de perigo de queda de blocos – Metodologia de SILVEIRA (2017).....	37
4.4.2.2 Metodologia de BAUER e NEUMANN (2011) .....	40
4.4.2.3 Metodologia de GOMES (2009) .....	41
4.5 Análise de risco de queda de blocos .....	46
4.6 Zoneamento de riscos .....	48
<b>5 METODOLOGIA</b>	<b>49</b>
5.1 Localização dos taludes .....	49
5.1.1 Ponto 4 – Nova Serrana.....	50
5.1.2 Ponto 2.....	51
5.1.3 Ponto 1 – Pará de Minas.....	52
5.1.4 Talude Betim .....	52
5.1.5 Talude Pará de Minas .....	53
5.2 Levantamento de campo .....	54
5.3 Metodologias para avaliação de perigo.....	55
5.3.1 Metodologia proposta por SILVEIRA (2017) .....	55
5.3.2 Metodologia proposta por GOMES (2009).....	56
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>57</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na engenharia geotécnica, a estabilidade de taludes pode ser pautada como um projeto para análise e prevenção de possíveis rupturas. Especificamente em rodovias, taludes rochosos são superfícies potencialmente instáveis, que frequentemente condicionam quedas de blocos (GOMES e SOBREIRA, 2013). A avaliação dos fatores que podem provocar essas quedas de blocos se torna extremamente importante para a definição dos níveis de riscos. Tanto a interferência humana quanto o meio físico em que se encontra o talude podem alterar a sua estabilidade, diversos fatores são responsáveis por essa influência, como fatores geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, geométricos etc.

Um desafio encontrado na área da engenharia geotécnica deve-se ao fato do meio heterogêneo das encostas rochosas nas rodovias brasileiras. Essas rodovias atravessam diversas regiões metropolitanas, com características geológico-geotécnicas muito distintas. A queda de blocos ao atingir o domínio da rodovia, pode afetar diversas esferas, como o fluxo dos condutores e a paralisação do tráfego. Sendo assim, nota-se a importância da análise de riscos nas rodovias que podem definir medidas corretivas ou preventivas, reparando ou impedindo a ruptura e queda de um bloco.

Os processos erosivos e a ação do intemperismo são facilitados por diversos fatores (clima, presença de descontinuidades estruturais, tipo de relevo) em condições desfavoráveis e como consequência, surgem diversos problemas geotécnicos. Um desses problemas são as quedas de blocos, que HOEK e BRAY (1981) definiram como o processo onde é solta uma massa de rocha de uma encosta ou talude, com pouca ou nenhuma ruptura por cisalhamento da matriz rochosa. Queda de blocos afetam tanto as áreas residenciais e rodovias, quanto os taludes de mineração, com isso, a necessidade de estudos relacionados, aumenta de forma significativa para garantir a segurança física e financeira dos empreendimentos (SILVEIRA, 2017).

FELL *et al.* (2008) definem perigo como uma condição com o potencial de causar um acidente com dano ou ferimento. Já risco, estes mesmos autores, definiram como sendo uma medida da probabilidade de um evento ocorrer e de sua gravidade (probabilidade x consequência).

Vários autores propuseram metodologias para avaliar perigo/risco, tais como: PIERSON *et al.* (1990). CORTELETTI (2014), ALVES (2014), CUNHA (2016). O presente trabalho irá apresentar uma avaliação de perigo relacionada a quedas de blocos

em taludes localizados na rodovia BR-262, entre Betim e Nova Serrana. A avaliação foi realizada a partir de duas metodologias existentes, de SILVEIRA (2017) (adaptação de BAUER e NEUMANN, 2011) e GOMES (2009). Assim, pode-se identificar os taludes com necessidade ou não de intervenção e comparar a aplicação das duas metodologias.

## **2 JUSTIFICATIVA**

A rodovia BR-262 está inserida nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Por se tratar de alternativa de conexão entre a região metropolitana de Belo Horizonte e as grandes regiões do Centro-Oeste Mineiro e Triângulo Mineiro, é considerada uma rodovia estratégica para escoamento de bens e passageiros (SANTOS *et al.* 2018). Obras lineares em geral, percorrem diversos tipos de maciços ao longo de sua extensão. Os maciços contidos nessa área possuem diversas características e comportamentos geológicos-geotécnicos distintos e que seguem sem monitoração/intervenção. Uma área de estudo crescente é a relação das obras civis com a segurança da sociedade e de propriedades ao redor dos maciços localizados em rodovias.

Para realizar uma classificação dos taludes em relação ao seu grau de risco de queda de blocos, é necessário o uso de ferramentas que proporcionem essas informações. Com isso, surgem as metodologias de análise de perigo que são adaptáveis para cada tipo de região e que servem de amparo no monitoramento e decisões de intervenções nos locais necessários. Os métodos referentes a essa avaliação possibilitam realizar a classificação/caracterização dos taludes encontrados ao longo da rodovia, para isso é necessário ter o conhecimento nas áreas da geotecnia, como em mecânica das rochas e geologia.

Diante deste contexto, este trabalho tem o intuito de auxiliar na tomada de decisão com relação ao gerenciamento e priorização de obras, não somente na malha rodoviária, mas também, em ferrovias, conjuntos habitacionais e em áreas de mineração. Assim, é possível ver a necessidade crescente nos projetos de engenharia de uma avaliação de perigo nos locais onde existam esses tipos de obras, proporcionando a segurança física e financeira dos afetados.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desse projeto é a análise e avaliação do perigo para ocorrer a queda de blocos em certos taludes da rodovia BR-262, visando comparar duas metodologias que foram empregadas neste estudo: a metodologia de GOMES (2009) e a metodologia de SILVEIRA (2017) adaptada de BAUER e NEUMANN (2011). Acredita-se que a realização dessa comparação possibilite o entendimento da situação encontrada nos locais de estudo, vista e analisadas de formas diferentes.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Para cumprir com o propósito do trabalho, foi estabelecido alguns objetivos específicos. São eles:

- revisão bibliográfica referente aos termos utilizados para a pesquisa;
- seleção dos taludes ao longo da BR-262;
- análise dos métodos de avaliação de perigo mais indicados para a área de estudo;
- levantamento geológico-geotécnico dos taludes;
- realização de medidas necessárias para a avaliação de perigo;
- estimar o perigo de queda de blocos de todos os taludes estudados e identificar os taludes mais susceptíveis ao fenômeno.

### **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **4.1 Conceitos iniciais da geotecnia**

##### **4.1.1 Maciço rochoso, rocha e taludes**

É de suma importância a definição de maciço rochoso e rocha, devido aos problemas encontrados na engenharia que abrangem esses tópicos. Essa distinção promove um melhor entendimento e organização de projetos envolvendo esses termos (JAQUES, 2014).

De acordo com AZEVEDO e MARQUES (2002), é possível definir rocha como sendo um agregado de materiais sólidos consolidados compostos por minerais fragmentados ou uma grande massa de minerais. Segundo MESQUITA (2008) rocha é

um agregado de minerais, sólido e natural, decorrente de processos geológicos em condições de pressão e temperatura.

A partir do conceito de rocha, têm-se a definição de maciço rochoso, por FIORI e CARMIGNANI (2009), como sendo um certo volume de rocha constituído por blocos discretos, interceptado por descontinuidades. Os blocos discretos possuem as propriedades de rocha intacta (rochas que não possuem planos de fraquezas ou descontinuidades).

Os diferentes tipos litológicos, grau de alteração e a existência de descontinuidades, provocam a heterogeneidade e anisotropia encontradas nos maciços rochosos. A delimitação de um maciço rochoso, ocorre a partir das similaridades das propriedades geotécnicas encontradas no maciço, e tais delimitações são chamadas de regiões ou domínios estruturais (FIORI e CARMIGNANI, 2009).

Segundo FIORI e CARMIGNANI (2009), taludes são superfícies de planos inclinados limitantes de maciços, seja ele de terra, rocha ou as duas composições. O desenho esquemático de um talude e os elementos que o compõem pode ser visualizado na Figura 1.

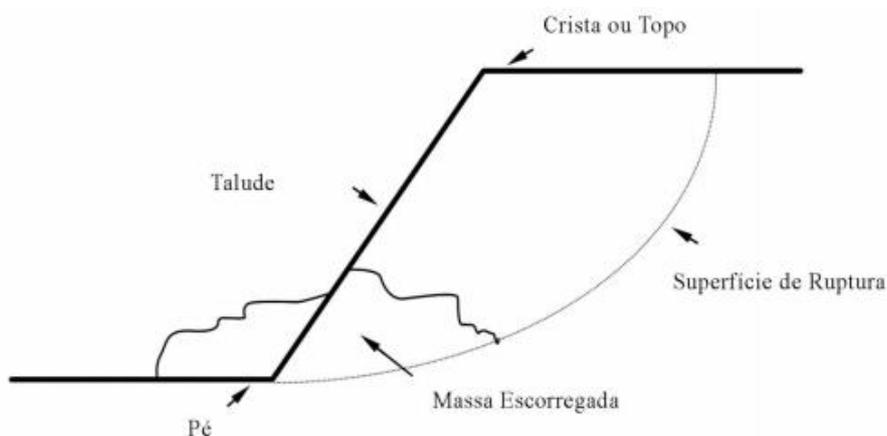


Figura 1: Configuração de taludes  
Fonte: LONDE e BITAR (2011).

Existem dois tipos de taludes, de acordo com CUNHA *et al.* (1991), apresentado por LONDE e BITAR (2011), sendo eles:

- Taludes Naturais: sua gênese é a partir das intervenções geológicas e agentes naturais, como encostas;
- Taludes Artificiais: sua gênese é a partir das intervenções dadas pelo homem, como flancos de estrada. Quando o talude artificial é originado a partir da retirada de material, ele é chamado de talude de corte. Já o talude formado a

partir da deposição de diversos materiais, como argila, silte e areia, é denominado talude de aterro.

Inúmeros sítios geológicos com os mais diferenciados tipos de maciços rochosos, em diferentes condições, são interceptados por obras civis. A partir disso, os taludes estão sujeitos a diversos problemas envolvendo estabilidade, devido a fatores como a presença de descontinuidades e alteração sobre o maciço (MANHAGO, 2008).

#### 4.1.2 Descontinuidades

As descontinuidades são definidas pela ISRM (1981), como sendo estruturas que ocasionam a interrupção da continuidade de uma rocha, com resistência à tração nula. Segundo LONDE e BITAR (2011), descontinuidades são planos ou zonas de fraqueza localizadas nas rochas, onde a resistência ao cisalhamento é baixíssima ou nula. Existem diversos tipos de descontinuidades, como: falhas, juntas, veios e diques (LONDE e BITAR, 2011).

A Figura 2 expressa os parâmetros utilizados na caracterização das descontinuidades, onde devem ser considerados ao se tratar da influência sobre o maciço (LONDE e BITAR, 2011). As zonas de fraqueza são imensamente importantes no assunto de estabilização, como túneis, taludes e outras obras relacionadas.

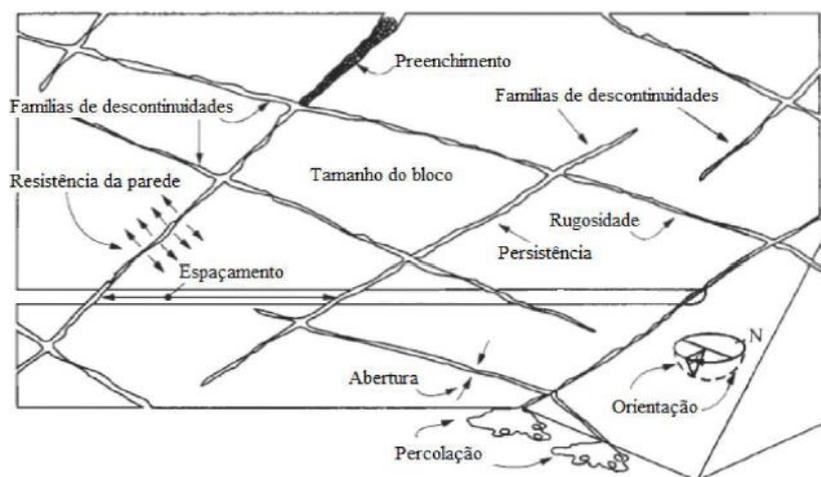


Figura 2: Características das descontinuidades.  
Fonte: ISRM (1981).

#### 4.1.3 Obras de engenharia

Na engenharia existem diversas aplicações que a análise de perigo atua, como em construções civis (construção de rodovias), na mineração (taludes de estéril), entre outros. De acordo com BASSANELI *et al.* (2016), o papel dos estudos de estabilidade

de taludes é proporcionar segurança, conforto e economia a sociedade afetada por essa obra.

FIORI e CARMIGNANI (2009), citado por BASSANELI *et al.* (2016), descrevem a existência de três forças em que os taludes são submetidos, sendo elas: força de cisalhamento, força resultante do escoamento de água e a força peso do material constituinte do maciço. O equilíbrio entre essas forças é essencial para evitar a movimentação de massa, que será descrita mais à frente, onde a segunda e a terceira tendem a levar o material a se movimentar e a primeira tende a parar o movimento.

Para possuir o controle da estabilidade dos taludes em obras da engenharia, existe a norma técnica NBR 11.682 (ABNT, 2009) que indica condições para isso. Essa norma possui por objetivo prescrever os requisitos necessários para esse estudo, entre as instruções necessária para obter a estabilidade do talude está a realização da análise de perigo para o conhecimento do grau de risco proporcionado pelo talude (ABNT, 2009).

Algumas das exigências da NRB 11.682 (ABNT, 2009) é o levantamento de informações disponíveis, e isso engloba a consulta de mapas com informações de riscos e que possuem a setorização desses riscos. Além disso, é necessário também, a indicação dos elementos em risco na área da obra, como a vida de pessoas, propriedades nas redondezas e meios de transportes que passam no local. Sendo assim, é de extrema importância os estudos referentes a avaliação de perigo quanto a movimentação de massa.

Para taludes relacionados a mineração, existe a norma técnica NRM 02 (DNPM, 2002) que indica exigências que devem ser seguidas em locais com riscos de quedas (paralisação de serviços, construção de leiras). Uma das condições para o empreendimento operar é a necessidade de um acervo de diversas plantas e entre elas uma planta referente à delimitação de áreas de risco, com isso a importância dos estudos relacionados a análise de perigo.

#### **4.2 Contexto geológico e área de estudo (BR-262)**

A área de estudo do presente trabalho está localizada na região de Pará de Minas, que, segundo ALMEIDA (1977) citado por ROMANO (2007), está localizada no Cráton do São Francisco. Os terrenos presentes nessas regiões são gnáissicos migmatíticos e uma sequência *greenstone belt* (Supergrupo Rio das Velhas), da época mesoarqueano e neoarqueano. Na Figura 3 é possível observar o limite do Cráton do São Francisco e a localização da região de Pará de Minas (PM).

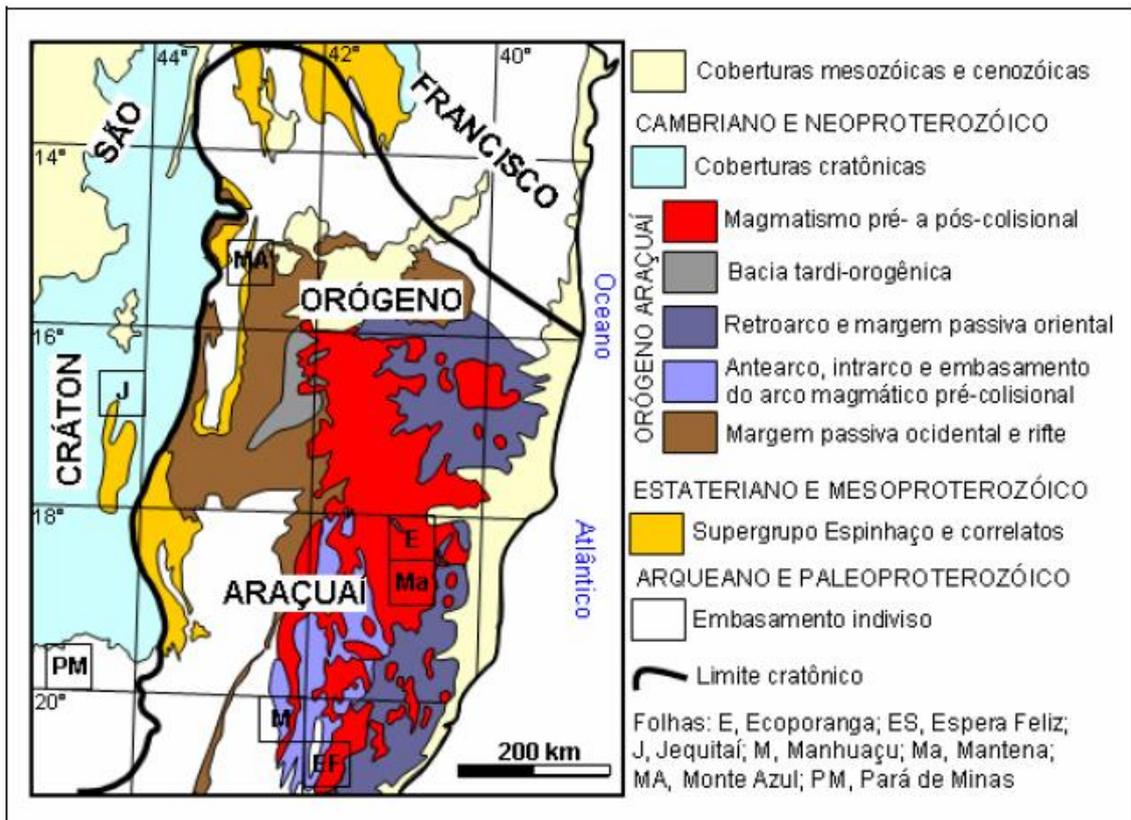


Figura 3: Limite Cráton do São Francisco e localização da região de Pará de Minas.  
 Fonte: ROMANO (2007).

Em relação a geologia da região de Pará de Minas, os tipos litológicos são diversificados e alguns deles são dificilmente encontrados em outras regiões, como exemplo as rochas peraluminosas, chamadas de agalmatolitos. Porém, é possível classificar três grandes domínios litológicos: intrusões de granitoides (20 - 25%), sequência *greenstone belt* (30 - 35%) e embasamento cratônico (35 - 40%). Outras litologias também aparecem no território, como diques básicos (mesmos que expressivos na região, ocupam, apenas, cerca de 2% da área mapeada) e cobertura de plataforma carbonatítica, neógenas quaternárias e neógenas terciárias (correspondente a 15% da área mapeada) (ROMANO, 2007).

A área de estudo possui algumas características referentes a geologia do local. Essas características, referentes a cada talude estudado, estão descritas a seguir de acordo com ROMANO (2007):

- Ponto 1: gnaiss (bandamento centimétrico a métrico), ocorrências de porções máficas, diques félsicos, migmatitos, composto de feldspato, quartzo, biotita e anfibólio, granulação fina e talude de grande extensão.

- Ponto 2: gnaiss (bandamento centimétrico a métrico), algumas porções máficas e muitas migmatíticas, composto por feldspato rosa, biotita, quartzo e anfibólio e granulação centimétrica nos feldspatos.

- Ponto 4: gnaiss (bandamento centimétrico a métrico), porções milonitizados, maior intemperismo na parte superior do talude possuindo alguns cristais de feldspato rosa, composto de feldspato, biotita e anfibólios e granulometria fina a grossa.

Com essas descrições é possível observar a relação entre os pontos em relação a sua geologia, isso ocorre por pertencerem ao mesmo complexo (Complexo de Divinópolis), de acordo com ROMANO (2007).

### 4.3 Movimentos de massas

Cada autor possui um tipo de classificação dos movimentos de massa devido a diversidades de fenômenos e de regiões. Segundo FRITSCHER (2016), essa classificação pode ser de acordo com o tipo e velocidade de movimentação ou uma classificação físico-mecânica. Na Figura 4 é possível observar alguns exemplos de movimentos de massa.

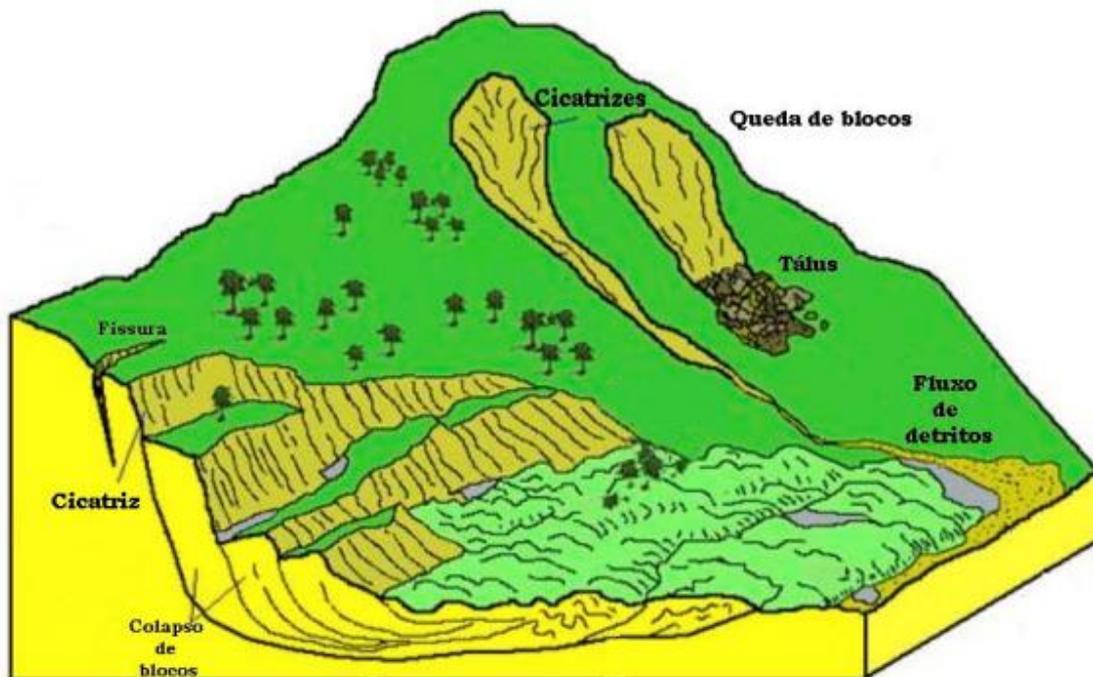


Figura 4: Exemplos de movimentos de massa.  
Fonte: SILVA (2010).

Segundo SILVA (2017) diversos autores propuseram classificações para os movimentos de massa e cita AUGUSTO FILHO (1992) que ajustou a classificação de

VARNES (1978) apud SILVA (2017) para as características das realidades ambientais brasileiras, em quatro grandes categorias: rastejo (*creep*), quedas de bloco (*rockfall*), fluxo ou corrida de detritos (*debris flow*) e deslizamento ou escorregamento (*landslide*). As características dos tipos de movimentos de massa estão descritas a seguir.

#### 4.3.1 Quedas (*rockfall*)

O deslocamento de massas por quedas (*rockfall*), segundo GIANI (1992) citado por SILVEIRA (2017), refere-se ao desprendimento de rocha de um local íngreme ou escarpado. Ou seja, porção de fragmentos de rocha ou solo, o qual se desligam do restante do maciço. O desprendimento ocorre de forma livre e rápida, acumulando-se no local de estacionamento (fenômeno localizado).

De acordo com CAPUTO e CAPUTO (2015), o desprendimento pode ser evitado por métodos de prevenção utilizando, por exemplo, obras de contenção (muro de arrimo, cortina atirantada, parede de concreto estrocada, etc.). A Figura 5 apresenta um processo de desprendimento (queda).

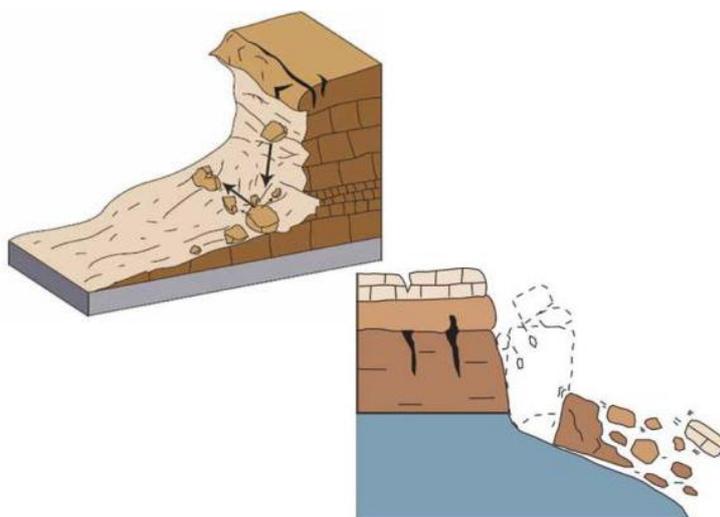


Figura 5: Desprendimento ou queda.  
Fonte: USGS (2008).

Os movimentos desse tipo são tortuosos, onde o material pode ser constituído por rochas, solos ou ambos. O material ao atingir ângulos menores que o de queda gera saltos com velocidades relacionadas com essas inclinações, como é possível observar na Figura 5 (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

Esse tipo de deslocamento é comum em locais que possuem encostas íngremes ou verticais, além de ocorrer nas margens de rios. Os mecanismos de acionamento desse movimento são processos naturais, como ação de rios e intemperismo diferencial

(congelamento ou descongelamento), e processos artificiais, onde está contida as ações humanas, vibrações e tremores relacionados a essa atividade (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

De acordo com CARVALHO (1991) citado por SILVEIRA (2017), existem duas causas que levam a movimentação de massa por quedas. A primeira está relacionada a presença de descontinuidades, podendo afetar seriamente na estabilidade do maciço, além de promover um local para crescimento de raízes e a infiltração da água. Já a segunda é a desagregação, onde blocos de rochas mais duras se encontram descalçadas, o que é mais comum em rochas sedimentares.

A Figura 6 mostra as causas da movimentação de massa do tipo *rockfall*, onde é ilustrado a explicação anterior.

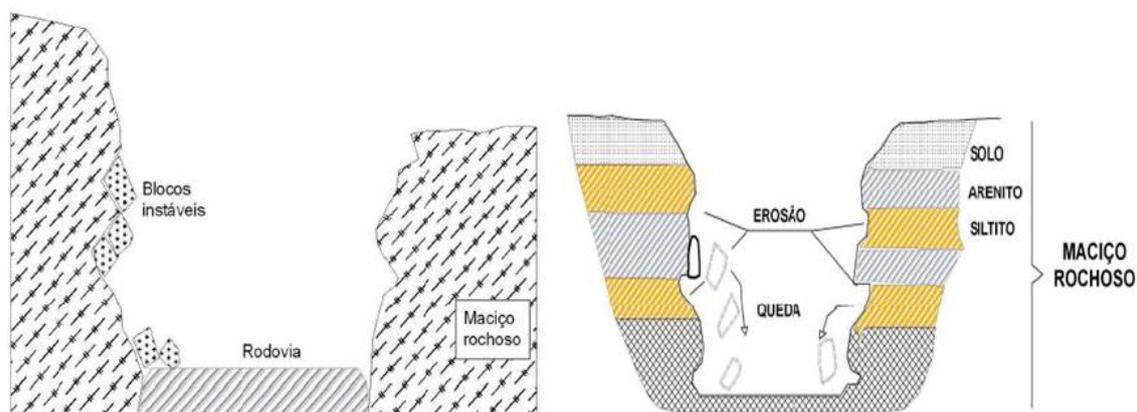


Figura 6: Causas da queda de blocos.  
Fonte: CARVALHO (1991) apud SILVEIRA (2017).

#### 4.3.2 Escorregamento (*landslide*)

Escorregamento ocorre quando uma massa de solo ou rocha desliza, de forma rápida, para baixo e para fora do talude (superfície de deslizamento). CAPUTO e CAPUTO (2015) descreve que o percurso dessa massa leva o escorregamento ser superficial quando a ruptura do talude é acima ou no pé do talude. Já o escorregamento é profundo quando a ruptura do talude passa por um ponto afastado do pé do talude.

Os escorregamentos são predominantemente rotacional/circular ou translacional. Segundo FREIRE (1965), citado por SANTOS (2014), no primeiro caso ocorre o desprendimento delimitado pelo talude e por uma superfície contínua de ruptura (dependência nas distribuições de pressões neutras e resistência ao cisalhamento). Já o escorregamento translacional/planar possui anisotropias elevadas em seu interior, ocorrendo em maciços impermeáveis. A diferença entre esses dois tipos de

escorregamentos é o tipo de superfície de ruptura (rotacionais: curvas e translacionais: planas). A Figura 7 apresenta o processo de escorregamento.

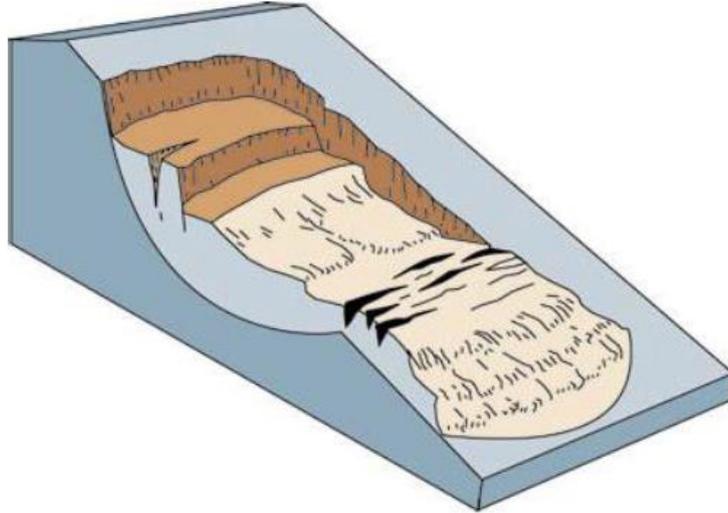


Figura 7: Escorregamento (*landslide*).  
Fonte: USGS (2008).

#### 4.3.3 Rastejo (*creep*)

É um tipo de escoamento que se desloca de forma lenta e constante, podendo ter um limite definido ou não, entre o próprio maciço e a massa que se movimenta. De acordo com CAPUTO a CAPUTO (2015), existem alguns sinais que podem ser observados e que indicam o fenômeno discutido, como inclinações da vegetação arbustiva, em infraestruturas ou fissuras no local.

O deslocamento lento ocasiona uma grave consequência, o movimento pode se tornar imperceptível, ou seja, o reconhecimento do que é massa inerte e o que é massa em movimento não ocorre. Os fatores que ocasionam esses movimentos podem ser diversos, como a gravidade ou temperatura e umidade encontradas no local (FREIRE, 1965 apud SANTOS, 2014). A Figura 8 apresenta o processo de rastejo (*creep*).

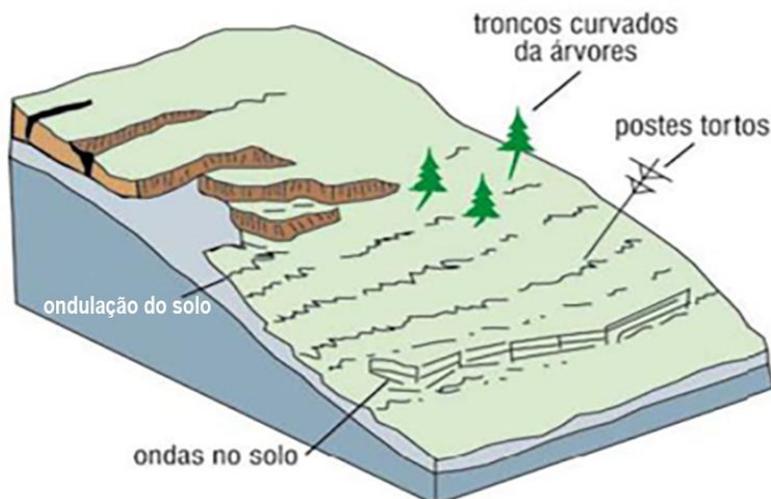


Figura 8: Rastejo (*creep*).  
Fonte: USGS (2008).

#### 4.3.4 Fluxo de detritos (*debris flow*)

Outro exemplo de tipo de movimento de massa é o fluxo de detritos (*debris flow*), descrito por HIGHLAND e BOBROWSKY (2008). Neste fenômeno ocorre uma movimentação com velocidade alta, onde solos soltos, pedras, matérias orgânicas, entre outros, se juntam com água formando, assim, uma lama. São considerados como um tipo de movimento devido ao fluxo de enormes quantidades de material.

Os locais de incidência desse movimento são regiões vulcânicas e que possuem um solo enfraquecido. A Figura 9 mostra a ação do fluxo de detritos (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

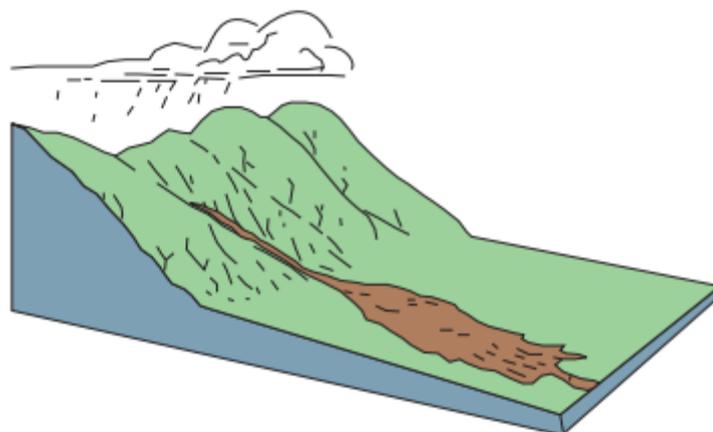


Figura 9: Fluxo de detritos (*debris flow*).  
Fonte: HIGHLAND e BOBROWSKY (2008).

Esse tipo de fluxo é considerado de alto risco devido a sua rapidez ao iniciar, a alta velocidade de ocorrência no movimento, a incorporação de grandes pedras e pedaços de detritos e a possibilidade de intensificação na ausência de vegetação. Os fatores citados podem tornar o fluxo de detrito tão forte que é possível que o mesmo arraste objetos

grandes localizados em seu caminho (casas, carros, etc.), além de preencherem rapidamente estruturas e alterar a qualidade da água.

#### **4.3.5 Agentes e Causas dos movimentos de massa**

Segundo GUIDICINI e NIEBLE (1993), o termo “causa” é entendido como o modo de atuação de um determinado agente na instabilização de um talude ou encosta. Já o termo “agente” pode se distinguir de duas formas: agentes predisponentes ou agentes efetivos. O primeiro é um complexo de características ambientais, geológicas e geométricas proporcionadas no local, servindo como um “pano de fundo” para que o fenômeno ocorra. Os agentes efetivos podem ser descritos como elementos que são diretamente incumbidos de provocar o movimento de massa, ocorrendo uma segunda divisão de classe, de acordo com GUIDICINI e NIEBLE (1984): agentes efetivos preparatórios (pluviosidade, erosão pela água ou vento, variação da temperatura) e agentes efetivos imediatos (chuva intensa, terremotos, ventos, erosão).

Já as causas, TERZAGHI (1967) apud PINOTTI e CARNEIRO (2015) as separam pelas suas posições em relação ao talude estudado em três classes, sendo elas:

- Causas externas: altera a geometria do talude (ângulo de declive maior, sismos e vibrações), onde a resistência do material não é alterada e ocorre o aumento da tensão cisalhante.
- Causas internas: colapso sem qualquer modificação na geometria do próprio talude, causando uma redução na resistência interna, aumento da pressão hidrostática, menor ângulo de atrito no interior, além de uma diminuição na coesão interna.
- Causas intermediárias: ocorrem quando os agentes externos afetam o interior de um talude, como uma erosão retrogressiva.

O Quadro 1 remete exemplos de agentes e causas, separados pelas categorias anteriormente discutidas.

Quadro 1: Exemplos de agentes e causas.

AGENTES			CAUSAS		
Predisponentes	Efetivos		Internas	Externas	Intermediárias
	Preparatórios	Imediatos			
Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climato - hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação da temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de lençol freático, ação humana e de animais	Chuvas intensas, fusão de gelo e neve, erosão, terremoto, ondas, vento, ação do homem	Efeitos das oscilações térmicas, redução dos parâmetros de resistência por intemperismo	Mudanças na geometria do sistema, efeitos de vibrações, aumento do declive do talude por processos naturais ou artificiais, deposição de material na porção superior do talude	Liquefação espontânea, elevação do nível ou da coluna de água em massas "homogêneas" e desconitualidades, rebaixamento rápido do lençol freático, erosão subterrânea retrogressiva ( <i>piping</i> ), diminuição do efeito de coesão aparente

Fonte: GUIDICINI e NIEBLE (1984).

Diversos fatores dos movimentos de encostas são dispostos no Quadro 2, de acordo com VARNES (1978) apud CAPUTO e CAPUTO (2015).

Quadro 2: Fatores dos movimentos de massa

AÇÃO	FATORES		FENÔMENOS NATURAIS/ANTRÓPICOS
Aumento da sollicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)		Erosão, escorregamentos, cortes
	Sobrecarga		Peso da água da chuva, neve, granizo, etc. Acúmulo natural de material (depósitos), peso da vegetação, construção de estruturas, aterros etc
	Sollicitações dinâmicas		Terremotos, ondas, vulcões etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos.
	Pressões laterais		Água em trincas, congelamento, material expansivo etc.
Redução da resistência	Características inerentes ao material	Texturas, estrutura, geometria, etc	Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais
	Mudanças ou fatores variáveis	Mudanças nas características do material	Intemperismo, redução da coesão, ângulo de atrito, elevação do nível d'água
	Outras causas		Enfraquecimento devido ao rastejo progressivo, ação das raízes das árvores e buracos de animais

Fonte: VARNES (1978) apud CAPUTO (2015).

O Quadro 3 apresenta um resumo das características de cada tipo de movimento, onde os aspectos mencionados devem ser levados em consideração ao analisar a área de estudo para classificação dos movimentos.

Quadro 3: Resumo das características dos movimentos de massa.

PROCESSOS	DINÂMICA/GEOMETRIA/MATERIAL
Rastejo ( <i>Creep</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vários planos de deslocamento (internos);</li> <li>- Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade;</li> <li>- Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes;</li> <li>- Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada;</li> <li>- Geometria indefinida.</li> </ul>
Deslizamentos ou Escorregamentos ( <i>Landslides</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poucos planos de deslocamento (externos);</li> <li>- Velocidades médias (km/h) a altas (m/s);</li> <li>- Pequenos a grandes volumes de material;</li> <li>- Geometria e materiais variáveis:</li> <li>- Planares ou translacionais: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;</li> <li>- Circulares ou rotacionais: aterros, solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;</li> <li>- Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.</li> </ul>
Quedas ( <i>Rockfall</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sem planos de deslocamento;</li> <li>- Queda livre ou rolamento através de plano inclinado;</li> <li>- Velocidades muito altas (vários m/s);</li> <li>- Material rochoso;</li> <li>- Pequenos e médios volumes;</li> <li>- Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.;</li> <li>- Rolamento de matacão;</li> <li>- Tombamento.</li> </ul>
Corridas ou Fluxo de detritos ( <i>debris flow</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação);</li> <li>- Movimento semelhante ao de um líquido viscoso;</li> <li>- Desenvolvimento ao longo das drenagens;</li> <li>- velocidades médias a altas;</li> <li>- Mobilização de solo, rochas, detritos e água;</li> <li>- Grandes volumes de material;</li> <li>- Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.</li> </ul>

Fonte: Modificado de CORTELETTI (2014).

#### 4.4 Análise de risco e perigo (*hazard*)

##### 4.4.1 Conceitos associados aos riscos

Segundo CORTELETTI (2014), o termo risco não possui uma descrição de amplitude universal, surgindo diversos conceitos, sendo interpretados, geralmente, como “probabilidade de ameaça”. Uma das definições de risco está relacionado com perdas de vidas, pessoas feridas, pausa na atividade econômica, danos em propriedades a partir de uma ocorrência específica de um determinado local (VARNES, 1984). Outra proposição para risco é a probabilidade de danos à sociedade (pessoas e objetos), sendo uma condição para que ocorra um acidente (AUGUSTO FILHO *et al.*, 1990).

Para FELL *et al.* (2008), referido por SILVEIRA (2017), o risco pode ser estabelecido pelo resultado do produto de “probabilidade x consequência”, ou seja, é uma associação da probabilidade de ocorrência de um fenômeno e suas consequências sociais, econômicas e físicas (CLAYTON, 2001 apud LONGO e GAMA, 2005). Podem ser considerados como elementos em risco população, atividades econômicas, meio ambiente, obras de infraestrutura, entre outros (COSTA, 2005; FELL *et al.*, 2008; SILVEIRA, 2017).

Os riscos possuem origens diversificadas podendo ser útil uma divisão de acordo com sua natureza ou suas características. NEVES (2006) subdivide o risco em:

- Risco individual: indivíduo colocado em risco devido a uma obra potencialmente perigosa;
- Risco social: consequências em grande escala promovendo uma discussão pública entre o meio social e político;
- Risco ambiental: ocorre uma transformação do meio natural, em relação a sustentabilidade e satisfação da natureza;
- Risco tangível: possuem impactos detectáveis e mensuráveis;
- Risco comensurável: riscos dimensionados por padrões iguais;
- Risco voluntário: risco assumido para alcançar qualquer tipo de benefício;
- Risco involuntário: risco colocado por alguma organização de controle sobre a sociedade, sem que a mesma escolha livremente.

Outro tópico discutido por NEVES (2006), é a significância do risco ou a escala do risco (conjunção da probabilidade de um resultado e suas consequências, sendo possível calcular um valor para o risco). Um exemplo seria uma alta probabilidade de um fato ocorrer com uma perda reduzida, pode ser igual a uma baixa probabilidade com alta perda, com isso a gestão de risco deve ser realizada levando em consideração todas as componentes com sua individualidade.

Para o gerenciamento de risco, COSTA (2005) indica um programa nacional que define quatro metas, formuladas pela *U. S. Geological Survey* (1982), sendo elas:

- Avaliação da ameaça em estudo;
- Mapeamento ou zoneamento da ameaça em estudo;
- Disseminação de informações à população;
- Avaliação do uso dessas informações;

Outros termos relacionado com o risco é o perigo (*hazard*), definido por NEVES (2006) para dois tipos de análises de riscos, para estruturas em geral (relação com as

condições do meio) e para movimentos de terra (relação com o acontecimento do evento). Para a primeira, o perigo é a fonte de danos ou um propulsor para diversos eventos, podendo ser chamado de ameaça, sendo consequência de algum fator externo. Enquanto a análise de risco para movimentos de terra, podendo incluir uma descrição da localização, volume e intensidade do evento (FELL *et al.*, 2008), o perigo é a causa de fenômeno indesejado podendo estimar sua ocorrência em um determinado período de tempo, a Figura 10 apresenta alguns exemplos relacionados com os movimentos de massa.

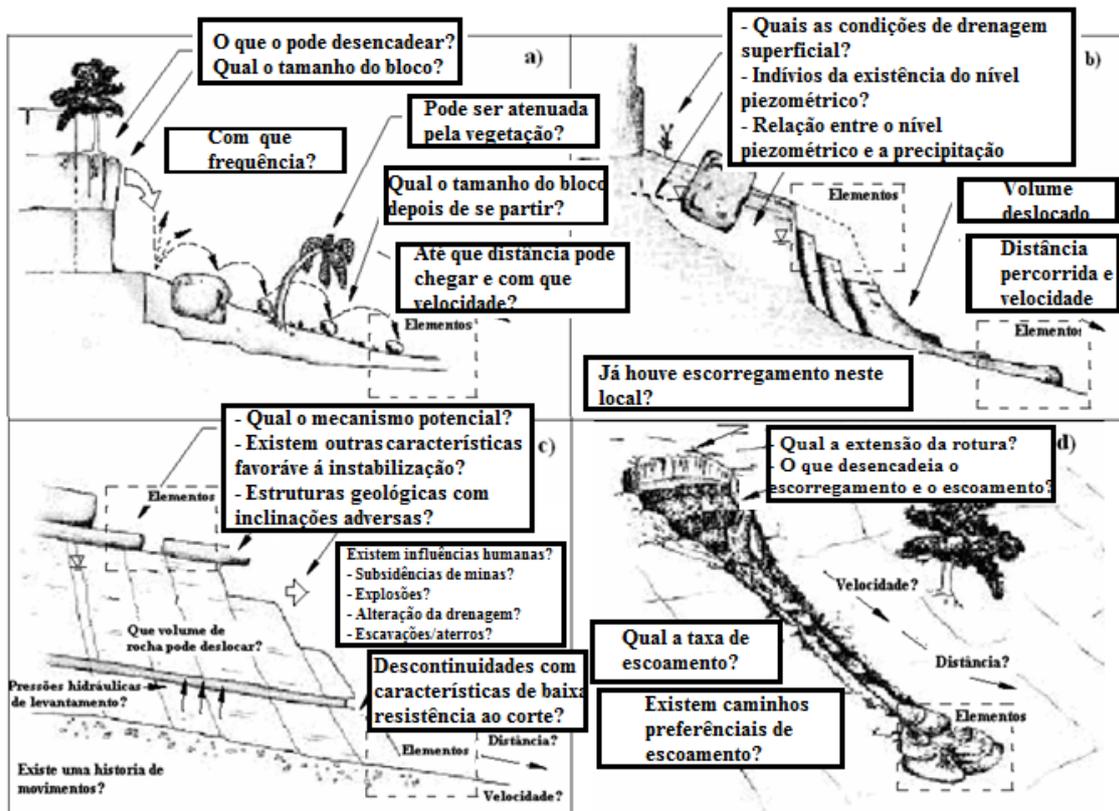


Figura 10: Exemplos de perigos associados a movimentos de massa: A: queda de blocos; B: escorregamentos de solo; C: deslizamentos em rocha; e D: escoamentos viscosos de solo.

Fonte: AGS (2007) apud NEVES (2006).

VARNES (1984) considera o perigo como sendo um evento que causa danos em um determinado local por um determinado período de tempo. Já para ZUQUETTE (1993) um evento perigoso é aquele que o perigo se incorpora com um evento, natural ou não, manifestado em um local e período de tempo específico afetando os elementos de risco citados anteriormente. Para taludes a definição de perigo usada é quando ocorre uma situação que possua um potencial de ocasionar um evento indesejado, como um escorregamento (ALVES, 2014). Ao relacionar perigo e movimento de massa é incluído ao evento a sua localização e volume, além da sua intensidade e seu período de tempo (SILVEIRA, 2017).

#### 4.4.1.1 Suscetibilidade e vulnerabilidade

Segundo CORTELETTI (2014), os conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade estão ligados intimamente a definição de risco. A suscetibilidade é uma avaliação das características dos movimentos de massa (volume, disposição espacial e classificação), podendo ser feita de forma quantitativa ou qualitativa, do local onde ocorre ou existe a possibilidade de ocorrer esse evento (FELL *et al.*, 2008). Outra definição mais clara é a de SOETERS e VAN WESTEN (1996), onde a suscetibilidade é a possibilidade de em certo local ocorrer movimentos de massa devido a condições do terreno, sem levar em consideração a probabilidade de ocorrência dos fenômenos. O Quadro 4 descreve um exemplo, dado por CARVALHO (1998) apud COSTA (2005), para descrições dos tipos de suscetibilidades:

Quadro 4: Níveis de suscetibilidade.

SUSCETIBILIDADE	DESCRIÇÃO
S4 - Muito Alta	O processo de instabilização encontra-se em adiantado estágio de desenvolvimento, com elevada probabilidade de ocorrência de um evento destrutivo em um ano
S3 - Alta	O processo de instabilização encontra-se instalado, com probabilidade mediana de ocorrência de um evento destrutivo em um ano
S2 - Média	Detecta-se a presença de condicionantes para o processo de instabilização, mas não se observam indícios de instabilização. Baixa probabilidade de destruição da moradia em um ano
S1 - Baixa	O setor encontra-se estável, não se observa presença de condicionantes para o processo de instabilização nas condições atuais.

Fonte: CARVALHO (1998) apud COSTA (2005).

FELL *et al.* (2008), descreve a vulnerabilidade como certo tipo de grau de danos para todos os elementos presentes nos locais com perigo de movimentação de massa. Como NEVES (2006) descreve perigo tanto para estruturas em geral quanto para movimentos de terra, o mesmo acontece para a vulnerabilidade.

Com relação as estruturas em geral, como as barragens, a vulnerabilidade condiz com o conjunto de fatores que são responsáveis pela probabilidade de ocorrência de um evento com consequências prejudiciais. Enquanto para os movimentos de terras, define-se vulnerabilidade como um grau de perda para os elementos que estão inclusos no local de ocorrência do evento e que podem ser afetados pelo mesmo (NEVES, 2006). O Quadro 5 descreve um exemplo (CARVALHO, 1998 apud COSTA, 2005), para

descrições das consequências de acordo com a vulnerabilidade e o número de moradias em uma favela:

Quadro 5: Vulnerabilidade de acordo com número de moradias.

NÚMERO DE MORADIAS	VULNERABILIDADE		
	Pequena	Média	Grande
Pequeno	C1	C2	C3
Médio	C4	C5	C6
Grande	C7	C8	C9

Fonte: Carvalho (1998) apud Costa (2005).

Para ALVES (2014), os fatores que mais afetam essa vulnerabilidade no movimento de massa são: o volume de escorregamento, posição do elemento de risco, magnitude do deslocamento e a potência de acordo com o tipo de movimento.

#### **4.4.1.2 Mecânica das Rochas**

Para ÁVILA (2012), as orientações das descontinuidades são medidas de acordo com o norte magnético. A direção dessas descontinuidades pode afetar grandemente, juntamente com outros fatores, a estabilidade de um talude caso esteja em uma orientação favorável. A orientação preferencial acontece devido as tensões geológicas existentes na época em que se formaram essas descontinuidades (PINOTTI e CARNEIRO, 2015).

Os maciços rochosos são submetidos a diversos fatores físico-químicos causando alterações em suas propriedades mecânicas. Cada litotipo é afetado pelo intemperismo de forma diferente, mas as descontinuidades presentes nas rochas podem acelerar o processo (SILVEIRA, 2017). A classificação do grau de alteração de uma rocha é dada pela Quadro 6.

Quadro 6: Grau de alteração do maciço rochoso.

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. Deslocamentos 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: ISRM (1981).

A configuração estrutural das descontinuidades também afeta as estruturas do maciço, criando planos perigosos para os movimentos de massa, e consistem em diversas características encontradas através de observações em campo. Um parâmetro avaliado é a persistência, segundo PINOTTI e CARNEIRO (2015), que está diretamente ligada ao tamanho e geometria do maciço avaliado e pode ser classificada de acordo com a Quadro 7. Em escavações subterrâneas as extensões dessas descontinuidades são observadas e definidas como contínua quando o seu comprimento é equivalente ao comprimento da dimensão da própria escavação (ÁVILA, 2012).

Quadro 7: Classificação da Persistência.

TERMO	PERSISTÊNCIA
Persistência muito pequena	Menor que 1
Persistência pequena	de 1 a 3
Persistência média	de 3 a 10
Persistência grande	de 10 a 20
Persistência muito grande	Maior que 20

Fonte: ISRM (1983) apud Pinotti e Carneiro (2015).

A quantificação das persistências é obtida a partir da medição do comprimento, observado nas superfícies expostas do maciço, do traço das descontinuidades, mesmo difícil de se medir é extremamente importante devido a influência sobre o comportamento geomecânico (FREITAS, 2011).

Outro parâmetro é a abertura das descontinuidades, um dos mais importantes, e que mostra as características de um espaço que está vazio ou preenchido por algum

mineral de ligação (PINOTTI e CARNEIRO, 2015). Para ÁVILA (2012), essa distância controla a conexão entre superfícies opostas e a quantidade de água que possa passar por elas, caso não ocorra a interconexão, as forças de cisalhamento são controladas pelo tipo de preenchimento, chamado também de grau de transecção. As condições das aberturas podem controlar e até modificar a resistência e até mesmo controlar o comportamento geral do maciço em que se encontra as descontinuidades (PINOTTI E CARNEIRO, 2015).

A rugosidade são as irregularidades encontradas nas superfícies e estão relacionadas com a sua resistência tangencial influenciando as direções em que os movimentos de massa podem ocorrer (FREITAS, 2011). Esse parâmetro caracteriza a condição do local em que as descontinuidades se encontram, um exemplo seria: superfícies limpas e fechadas impedem a movimentação de cisalhamento (ÁVILA, 2012).

Caso não seja possível definir os parâmetros anteriores, o grau de afrouxamento é determinado. As características avaliadas são a indicações claras ou não, como juntas abertas ou alteradas e lacunas entre as paredes (SILVEIRA, 2017).

#### **4.4.1.3 Geometria do talude e área de captação**

GOMES e SOBREIRA (2013), citam os diversos fatores, estudados por RITCHIE (1963) que possam influenciar a trajetória dos movimentos de massa. Alguns desses fatores estão relacionados com a geometria dos taludes estudados e área de captação de blocos existentes onde os taludes estão posicionados.

A altura, inclinação e a área de captação (citada anteriormente) do talude, são parâmetros analisados dentro dessa classe de características. O primeiro índice é a altura que é classificada entre muito alta à baixa variando em uma faixa de 80 metros à 10 metros, respectivamente. Já a inclinação do talude é classificada por três tipos de planos, sendo eles: inclinado ou subvertical a vertical com feições de lançamento e por último, com ângulos abaixo de 30° ou próximo à 90° sem feições de lançamento (SILVEIRA, 2017).

E, não menos importante, a área de captação é a distância entre o pé do talude até o elemento de risco (no presente trabalho esse elemento seria a própria rodovia). Sua classificação é feita da seguinte maneira: pequena distância/elevada inclinação/pouca ou nenhuma vegetação, moderada distância e/ou inclinação/pouca ou nenhuma vegetação e grande distância/baixa inclinação/com ou sem vegetação (SILVEIRA, 2017).

#### **4.4.1.4 Atividade e grau de influência externa**

Atividade, segundo SILVEIRA (2017), se resume em a quantificação de todos os movimentos de massa ocorridos em áreas que possam ocorrer a queda de blocos. É possível observar suas ocorrências diretamente no campo a partir do intemperismo, blocos já caídos ou até mesmo por recentes cicatrizes presentes no talude estudado. Além disso, todo movimento de avanço encontrado em campo, deve ser indicado.

SILVEIRA (2017) também descreve sobre o impacto que as influências possuem em relação aos taludes estudados. São classificados em dois índices: os sismos e a precipitação da região onde se localiza o maciço. A intensidade em que os sismos acontecem podem resultar em danificação de encostas e proporcionar um evento de queda de blocos. Os tipos de sismos observados podem ser: tectônicos, de minerações/regiões cársticas/veículos pesados ou ser isenta de sismos. Já a precipitação da região deve-se considerar o período mais intenso num intervalo de 72 horas para recorrência de 100 anos.

#### **4.4.1.5 Probabilidade e Intensidade**

A probabilidade fornece a medida de um grau de certeza do acontecimento de um fenômeno. É possível obter esse valor utilizando observações de dados qualitativos, onde a faixa de avaliação encontra-se no intervalo de zero (impossível ocorrência do fenômeno) a um (certeza de ocorrência do fenômeno), com isso é possível auxiliar a medida do risco para a região analisada (FELL *et al.*, 2008).

Existem diversas aplicações para a probabilidade, WHITMAN (1984), referido por COSTA (2005), cita as principais aplicações, tanto para a probabilidade quanto para a estatística na geotecnia, são elas:

- otimização exploração e investigação, além da coleta de informações;
- avaliação consistente e lógica da segurança de estruturas e de suas componentes;
- otimização, em relação as incertezas, do projeto;
- e por fim, a avaliação de risco.

É possível realizar dois tipos de medidas de probabilidade: objetiva e subjetiva. A probabilidade objetiva está relacionada com a frequência dos eventos de acontecerem (Figura 11), enquanto a probabilidade subjetiva é aquela relacionada ao pesquisador, ou seja, relacionada ao conhecimento especialista (KAPLAN E GARRICK, 1981 apud ALVES, 2014). Outras interpretações para esses dois tipos de probabilidade são descritas por NEVES (2006). Quando o cálculo da probabilidade é realizado de forma

direta e precisa e baseada nas propriedades dos eventos, denomina-se probabilidade objetiva. Quando é utilizada para medir a confiança de um resultado (grau de crença) baseando-se em todas as informações disponíveis de um evento, é chamada de probabilidade subjetiva.

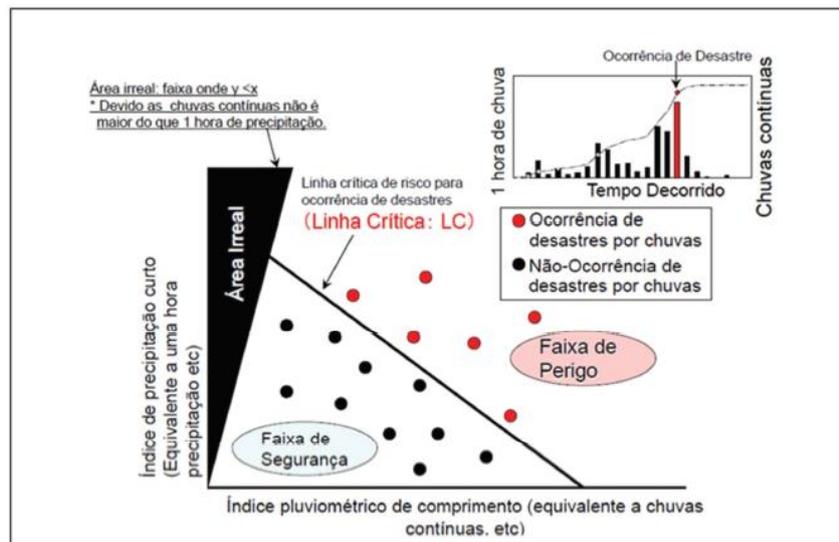


Figura 11: Exemplo de probabilidade objetiva.  
 Fonte: Goto (2012) apud Alves (2014).

GAMA (1994), aludido por LONGO e GAMA (2005), definem a probabilidade para colapso de taludes como uma regularidade em que um determinado evento ocorre, onde a superfície de movimento de massa possui forças tangenciais maiores que as forças de corte resistentes, resultando no colapso. Têm-se então que a relação entre o volume inicial (antes do deslizamento) e o volume final (após o deslizamento) determinam a probabilidade de colapso para um determinado talude.

Os parâmetros geomecânicos, os indícios de atividades de um maciço e as influências externas (definidos anteriormente), são utilizados para o cálculo de probabilidade de ocorrer a queda de blocos. Para realizar a completa análise do perigo, ainda é necessário saber a intensidade do evento, calculado a partir do volume de blocos destacados ou isolados (SILVEIRA, 2017).

A intensidade está relacionada a diversos fatores, como energia associada a queda de blocos, velocidade da queda e o grau de destruição proporcionado pelo evento. Ao definir esses a probabilidade e a intensidade do evento, é possível realizar a avaliação de perigo de queda de blocos, como mostra a Figura 12.

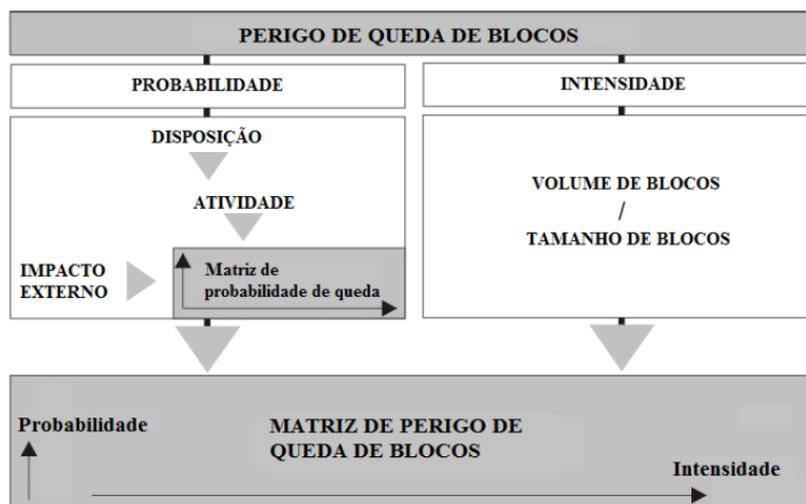


Figura 12: Avaliação de perigo.  
 Fonte: BAUER e NEUMANN (2011) apud SILVEIRA (2017).

#### 4.4.2 Metodologias existentes

Para realizar a quantificação e qualificação dos níveis de perigo e risco existem várias metodologias e adaptações das mesmas, referentes a cada local de estudo tais como CROSTA e AGLIARDI (2003), LAN *et al.* (2007), MOLK *et al.* (2008), FRATTINI *et al.* (2012). Neste trabalho será discutido as metodologias de SILVEIRA (2017), BAUER e NEUMANN (2011) e GOMES (2009).

##### 4.4.2.1 Matriz de probabilidade e Matriz de perigo de queda de blocos – Metodologia de SILVEIRA (2017)

Os tópicos tratados no índice 4.4.2.1, foram escritos com base nas definições de SILVEIRA (2017). Os fatores responsáveis pela suscetibilidade à queda de blocos, atividade e influências externas foram descritos anteriormente. Para cada parâmetro foram distribuídos pesos relacionados a influência sobre a probabilidade de ocorrência de quedas para a suscetibilidade, atividade (Quadro 8) e influências externas (Quadro 9).

O presente trabalho utiliza a mesma metodologia de SILVEIRA (2017) para os cálculos por meio dos mesmos pesos dispostos a cada parâmetro. A soma desses pesos proporciona dois resultados: total de disposição somado à atividade e total de impacto externo.

Quadro 8: Tabela com pesos para a suscetibilidade à queda de blocos e atividade.

1 - ORIENTAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES	Desfavorável	Razoável	Favorável
<b>Característica</b>	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)	
<b>Probabilidade atribuída</b>	Alta	Baixa	
Nota (Peso = 7%)	200	0	
<b>3 - CONFIGURAÇÃO ESTRUTURAL DAS DESCONTINUIDADES</b>			
<b>Persistência</b>	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
<b>Grau de transecção</b>	Nenhum mineral de ligação	Existência de mineral de ligação	
Nota (Peso = 7%)	200	0	
<b>Abertura das descontinuidades</b>	Abertas (>1 cm)	Suavemente abertas (entre 0,5mm a 1 cm).	Fechadas (<0,5 mm)
Nota (Peso = 7%)	200	100	0
<b>Condição das paredes</b>	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
<b>Total de mecânica de rochas (1+2+(3 ou 4))</b>			
5 - TIPO DE EMBASAMENTO	Muito desfavorável	Desfavorável	Favorável
<b>Tipo de formação</b>	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	
<b>Total de ambiente geomecânico (5+6+7)</b>			
8 - ATIVIDADE INICIAL	Ativo	Não ativo	
Nota (Peso = 17%)	500	0	
<b>Total de atividade (0 a 500)</b>			
<b>Total de disposição e atividade [1+2+ (3 ou 4)+5+6+7+8]</b>			
Probabilidade atribuída	Alta	Média	Baixa
<b>Classificação</b>	1900 a 3000	800 a 1900	0 a 800

Fonte: SILVEIRA (2017).

Quadro 9: Tabela com pesos para influências externas e o grau de impacto.

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	Alta	Média	Baixa
Nota	50	20	0
<b>Total de impacto externo</b>			
<b>Classificação</b>	Alta (> 60)	Média (30 a 60)	Baixa (<30)
<b>Grau de impacto</b>	Forte	Médio	Fraco

Fonte: SILVEIRA (2017).

A partir dos resultados é possível obter a probabilidade de queda de blocos utilizando a matriz de probabilidade (Disposição + Atividade x Influências externas), como é mostrado na Figura 13. Cada parâmetro é avaliado de acordo com sua influência no resultado final, sendo possível encontrar probabilidade de ocorrência do evento de acordo com a situação da região onde se encontra o maciço.

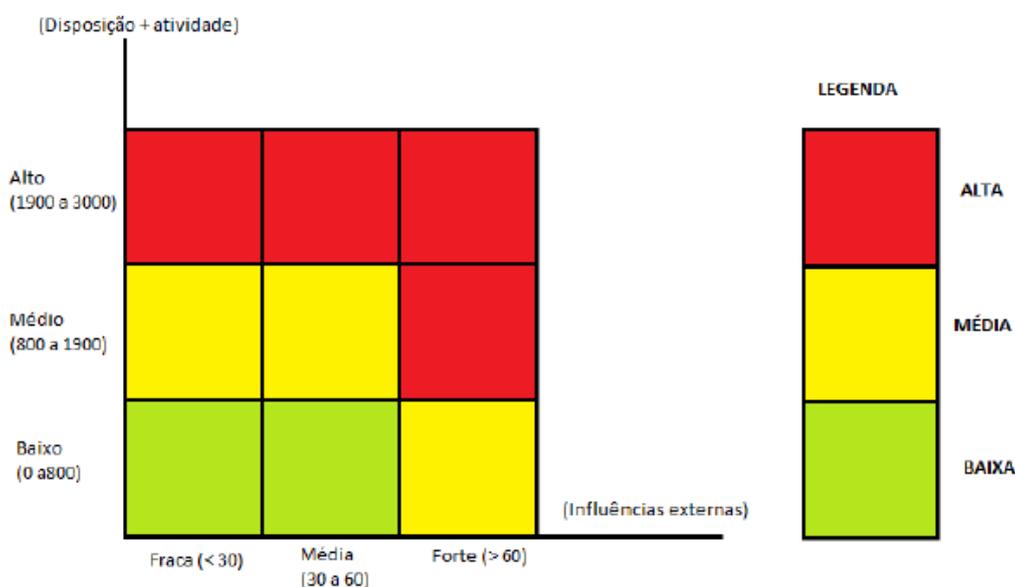


Figura 13: Matriz de probabilidade à ocorrência de queda de blocos (adaptado de BAUER e NEUMANN, 2011).

Fonte: SILVEIRA (2017).

Para SILVEIRA (2017), os parâmetros (velocidade e profundidade do movimento de massa, deslocamento final e energia cinética) para o cálculo da intensidade são quantitativos e qualitativos. Nesse estudo a intensidade é calculada através do volume de blocos que se destacam do maciço na região analisada. O Quadro 10 reflete a classificação da intensidade de queda de blocos.

Quadro 10: Intensidade da 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 1.000.000 m <sup>3</sup>	Volume total com cerca de 1.000.000 m <sup>3</sup>	Volume total com cerca de 10.000 m <sup>3</sup>	Volume total com cerca de 100 m <sup>3</sup> e/ou fragmentos com diâmetro maior que 200 mm	Um bloco ou pequenos fragmentos de até 200 mm de diâmetro

Fonte: BAUER e NEUMANN (2011) apud SILVEIRA (2017).

A partir da probabilidade, utilizando a matriz de probabilidade, e da intensidade do fenômeno, é possível obter o perigo de quedas de blocos através da matriz de perigo (Figura 14). Essas matrizes caracterizam o talude e possuem os perigos mapeados de acordo com a possível movimentação de massa (ALVES *et al*, 2014 apud SILVEIRA, 2017).

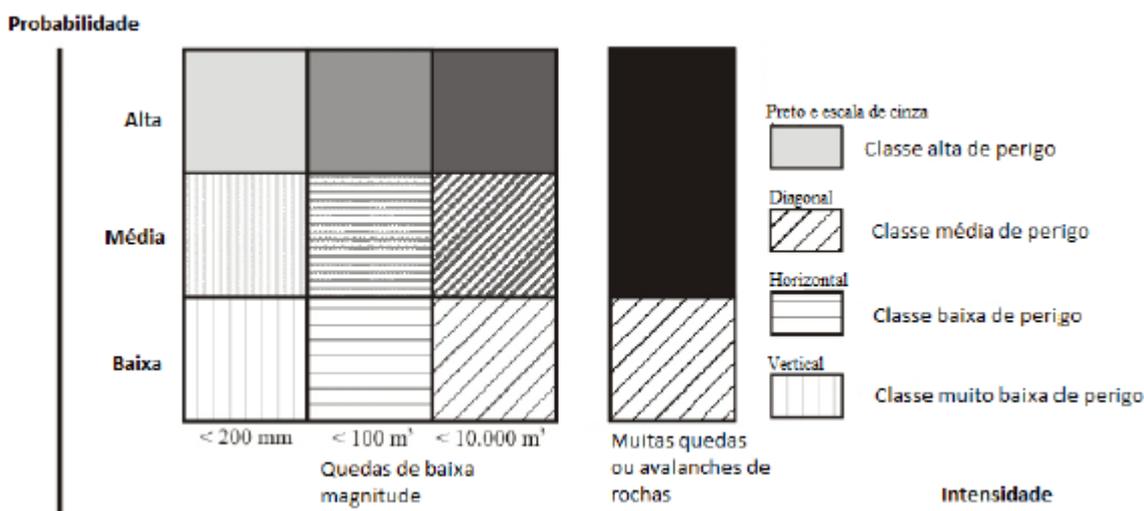


Figura 14: Matriz de perigo de queda de blocos (adaptado de BAUER e NEUMANN, 2011).  
Fonte SILVEIRA (2017).

#### 4.4.2.2 Metodologia de BAUER e NEUMANN (2011)

BAUER e NEUMANN (2011) basearam sua metodologia de acordo com o tipo de local que estudaram (Alpes Bávaros, Alemanha), ou seja, um contexto geológico, geomorfológico e climático totalmente diferente da encontrada no Brasil.

O grau de perigo é definido através da matriz de probabilidade *versus* intensidade (Figura 13) de acordo com suscetibilidade referente as características geotécnicas e ambiente geomecânicos, atividades e influências externas, além do volume de blocos para encontrar a intensidade. As diferenças entre o método de BAUER e NEUMANN (2011) e o método de SILVEIRA (2017) são:

- Ambiente geomecânicos: tipos de formação, deformações em larga escala e movimentos de massa na base do talude, onde SILVEIRA (2017) os substituiu por parâmetros geométricos do talude;
- Influências externas: valores de pluviosidade e sismos (apenas zona de terremotos);

Sendo assim, a metodologia de BAUER e NEUMANN (2011) permanece com as mesmas pontuações indicadas nos Quadros 8 e 9. Além disso, é utilizada o Quadro 10 para determinar o volume de blocos e as mesmas matrizes mostradas nas Figuras 13 e 14 para análise de risco de queda de blocos.

#### **4.4.2.3 Metodologia de GOMES (2009)**

GOMES (2009), utiliza em seu estudo o método de análise de queda de blocos mais usado nos departamentos de estradas nos EUA e de outros órgãos. A base de sua avaliação foi a utilizada por RITCHIE (1963), PIERSON *et al.* (1990) e BUDETTA (2004), onde são utilizados um total de oito índices, resultados coletados dos parâmetros, para realização dessa análise.

No Quadro 11, PIERSON & VAN VICKLE (1993) adaptado, segundo as necessidades do local de estudo, por GOMES (2009), é possível observar os critérios e pontuações atribuídas aos parâmetros analisados nessa metodologia.

Quadro 11: Pontuação dos parâmetros para análise de queda de blocos.

PARÂMETRO	CRITÉRIOS E PONTUAÇÃO			
	3 PONTOS	9 PONTOS	27 PONTOS	81 PONTOS
Altura do talude	6.0 m	12.0 m	18.0 m	24.0 m
Efetividade da área de captura	Boa captura + conformidade com o ábaco de Ritchie + proteção	Captura moderada + conformidade com o ábaco de Ritchie	Captura limitada + não conformidade com o ábaco de Ritchie	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	75% Distância de visibilidade moderada	50% Distância de visibilidade limitada	25% Distância de visibilidade muito limitada
Largura do pavimento	13.2 m	10.8 m	8.4 m	6.0 m
Dimensão do bloco	0.30 m	0.60 m	0.90 m	1.2 m
Condição Climática	Baixa precipitação média anual < 1.150 mm	Precipitação média anual moderada 1.150 – 1.450 mm	Precipitação média anual grande 1.450 – 1.750 mm	Alta precipitação média anual > 1.750 mm
Característica geológica (SMR)	80	70	60	50

Fonte: GOMES (2009).

Em relação as pontuações atribuídas no Quadro 11, quanto menor o valor melhor será as condições de segurança. A partir desses dados recolhidos em campo e devidamente analisados, GOMES (2009) realizou correlações para obter equações relacionadas com cada parâmetro utilizado na análise de risco de queda de blocos. O Quadro 12 mostra as equações e símbolos utilizados por GOMES (2009).

Quadro 12: Equações e símbolos dos parâmetros de análise de risco.

PARÂMETROS	SÍMBOLO	EQUAÇÃO ATRIBUÍDA
Altura do talude (H)	<i>IAT</i>	$IAT = e^{0,183(H)}$
Risco ao veículo ( <i>RV</i> )	<i>IRV</i>	$IRV = e^{0,0439(RV)}$
% da distância de visibilidade ( <i>DV</i> )	<i>IDV</i>	$IDV = 243e^{-0,0439(DV)}$
Largura do pavimento ( <i>LP</i> )	<i>ILP</i>	$ILP = 1262,7e^{-0,4578(LP)}$
Dimensão do bloco ( <i>Db</i> )	<i>IDb</i>	$IDb = e^{3,662(Db)}$
Característica geológico-geotécnica (SMR)	<i>ICG</i>	$ICG = 19683e^{-0,11(SMR)}$

Fonte: GOMES (2009).

GOMES e SOBREIRA (2013) utilizaram diversas fórmulas para encontrar alguns dos parâmetros que são utilizados para a avaliação de perigo. A Equação 1, proposta por PIERSON & VAN VICKLE (1993) e citado por GOMES e SOBREIRA (2013), possibilita encontrar uma altura média do maciço estudado, onde H é altura do talude, X

é a distância do ponto de medição,  $\alpha$  é o ângulo medido pelo equipamento (clinômetro) e AC é a altura do equipamento.

$$H = X * \tan \alpha + AC$$

Equação 1: Altura dos taludes

Segundo RITCHIE (1963), citado por GOMES e SOBREIRA (2013), a efetividade da área de captura é medida a partir da competência do concreto na prevenção do movimento de massa por queda de blocos. Já o risco ao veículo é o tempo, em porcentagem, em que os veículos permanecem na zona de perigo. Esse valor é obtido através da Equação 2, onde RV é o risco médio ao veículo, VDM é o tráfego diário (carros/hora), CC é o comprimento do talude (quilômetros) e VD é a velocidade diretriz (quilômetros/hora) (PIERSON e VAN VICKLE, 1993 apud GOMES E SOBREIRA, 2013).

$$RV = \frac{VDM * CC}{VD}$$

Equação 2: Risco médio ao veículo

Para tomada de uma decisão instantânea em uma situação, é necessário definir um comprimento da rodovia para isso. Sendo assim a Equação 3 é utilizada para essa finalidade, onde DV é a distância de visibilidade, DVR é a visibilidade real e DVP é a visibilidade de projeto (GOMES e SOBREIRA, 2013).

$$DV = \frac{DVR}{DVP} * 100\%$$

Equação 3: Distância de visibilidade

GOMES e SOBREIRA (2013), definem a largura do pavimento como a extensão da faixa pavimentada, inclusive o acostamento. Para o cálculo do volume de blocos é necessário considerar o número de famílias de descontinuidades, para os autores a melhor proposta para determinar esse valor foi a de PALMSTRÖM (1995). Esse modelo utiliza o contador volumétrico de juntas e o fator de forma dos blocos (função do número de famílias de descontinuidades e do espaçamento entre as fraturas) para o cálculo do volume de blocos.

Encontrando o valor do volume de blocos, é possível realizar o cálculo da dimensão do bloco, proposto por BUDETTA (2004) apud GOMES e SOBREIRA (2013). A Equação 4 representa esse cálculo, onde  $Db$  é a dimensão do bloco e  $Vb$  o volume de blocos.

$$Db = \sqrt[3]{Vb}$$

Equação 4: Dimensão dos blocos.

O parâmetro de condição climática (ICC) foi pontuado em relação a precipitação pluviométrica média anual sobre os locais de estudo, segundo BIENIAWSKI (1984) e PALMSTRÖM (1995), citado por GOMES e SOBREIRA (2013), os taludes localizados no Brasil sofrem uma maior influência da precipitação pluviométrica (percolação de água nas descontinuidades provocando redução na resistência ao cisalhamento).

O último parâmetro a ser analisado é a característica geológica-geotécnica, utilizando o SMR, adaptação do RMR para encostas. A Tabela 1 mostra um resumo da classificação SMR, realizado por ROMANA (1985) apud GOMES (2009), para realizar sua contribuição à análise de risco.

Tabela 1: Resumo da classificação SMR

FATORES DE AJUSTAMENTO PARA DESCONTINUIDADES ( $F1, F2, F3$ )		$\alpha_j$ = direção da descontinuidade $\alpha_s$ = direção do talude		$\beta_j$ = mergulho da descontinuidade $\beta_s$ = mergulho do talude		
		Muito Favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito Desfavorável
Ruptura planar $ \alpha_j - \alpha_s  =$ Tombamento $ \alpha_j - \alpha_s - 180  =$		$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
VALOR DE $F1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
RELAÇÃO		$F1 = (1 - \text{sen }  \alpha_j - \alpha_s )^2$				
$\beta_j =$		$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
$F2$	Ruptura Planar	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
	Tombamento	1.00				
RELAÇÃO		$F2 = \tan^2 \beta_j$				
Ruptura planar $ \beta_j - \beta_s  =$		$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	$0^\circ$	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
Tombamento $ \beta_j + \beta_s  =$		$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	-	-
VALOR DE $F3$		0	-6	-25	-50	-60
Fatores de ajustamento para o método de escavação		Talude natural	Pré-fissuramento	Detonações suaves	Detonações normais	Detonações defeituosas
VALOR DE $F4$		+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

Fonte: ROMANA (1985) apud GOMES (2009).

Além dos valores de  $F1$ ,  $F2$  e  $F3$  necessários para o cálculo do SMR, é necessária encontrar o valor de RMR para que seja feita a adaptação. A Tabela 2 mostra o resumo das características referentes ao RMR.

Tabela 2: Resumo da classificação RMR

PARÂMETRO	INTERVALOS						
	Resistência à compressão da rocha intacta (MPa)	< 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	< 25	
15		12	7	4	25 - 5	5 - 1	< 1
RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
	20	17	13	8	3		
Espaçamento entre as descontinuidades (mm)	> 2000	2000 - 600	600 - 200	200 - 60	< 60		
	20	15	10	8	5		
Condição das descontinuidades (rugosidade, persistência, separação, intemperismo nas paredes e preenchimento)	Muito rugosas Sem separação Não intemperizadas	Ligeiramente rugosas Separação < 1 mm Ligeiramente intemperizadas	Ligeiramente rugosas Separação < 1 mm Altamente intemperizadas	Polidas ou preenchimento < 5 mm ou Separação 1 - 5 mm	Preenchimento > 5 mm ou Separação > 5 mm		
	30	25	20	10	0		
Presença de água	Completamente seco	Úmido	Molhado	Gotejamento	Fluxo abundante		
Relação de poropressão	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	0.5		
	15	10	7	4	0		
Orientação da descontinuidade	Muito Favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito Desfavorável		
	0	-5	-25	-50	-60		

Fonte: BIENIAWSKI (1989) apud GOMES (2009).

Após a determinação do RMR, é possível realizar o cálculo do parâmetro SMR utilizando a Equação 5 (ROMANA, 1985 apud GOMES, 2009).

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

Equação 5: Característica geológica-geotécnica - SMR

Ao encontrar as atribuições dos oito parâmetros, é realizado uma somatória de todos os índices resultantes das fórmulas dispostas no Quadro 12, obtendo o Índice de Quedas de Blocos ( $I_{QB}$ ), mostrado na Equação 6. Uma observação importante é o peso atribuído ao índice  $I_{CG}$ , GOMES e SOBREIRA (2013) adicionam esse fator para que a característica geomecânica seja evidenciada, sendo a categoria com maior influência na movimentação de massas por queda de blocos.

$$IQB = IAT + IAC + IRV + IDV + ILP + IDb + ICC + 2ICG$$

Equação 6: Índice de queda de blocos.

A partir disso, é possível classificar os taludes estudados de acordo com o grau de perigo encontrado com o valor do índice de queda de blocos. O grau de perigo de queda de blocos é definido da seguinte forma: quanto maior o  $I_{QB}$ , mais crítico é o talude em relação ao perigo (GOMES, 2009).

#### **4.5 Análise de risco de queda de blocos**

Para NEVES (2002), citado por ALVES *et al.* (2014), a análise de risco consiste em correlacionar e associar todos os parâmetros e possíveis eventos presentes na área de estudo e definir as consequências e danos ocasionados devido a esses eventos. É possível obter modelos com riscos descritos, de acordo com cada dano acarretado a eles, e com isso caracterizar o talude em questão.

Na mineração a análise de risco pode ajudar a procurar meios mais adequados para a exploração, auxiliando no projeto de lavra fornecendo modelos de decisão mais complexos. Esses modelos são utilizados para definir o melhor método a ser implantado, onde leva em conta o desenvolvimento da lavra, os possíveis eventos ou acidentes e os danos acarretados de movimentos de massa, com isso é possível definir o melhor meio de se cumprir as atividades de exploração. A análise de risco ou perigo fornece o acesso a esses tipos de informações de forma rápida e prática (LONGO e GAMA, 2005).

SILVERA (2017), define análise de risco como a possibilidade de estimar um risco, a partir do perigo, à sociedade e ao ambiente em sua volta utilizando de diversas informações disponíveis. Os seguintes passos são realizados quando se trata de análise de risco: definir escopo, identificar perigo e estimar o risco.

Como dito anteriormente, a análise de risco pode ser de dois tipos: qualitativa ou quantitativa. A análise qualitativa (Figura 15) realiza uma hierarquia entre os riscos possíveis, elaborando zoneamentos e cadastramentos de riscos, envolvendo. Esse tipo de análise é necessário uma caracterização da instabilidade no local, delimitar o setor de risco, avaliar a suscetibilidade e magnitude das consequências do evento na área de estudo e atribuir o nível de risco adequado para o setor analisado (CARVALHO, 1998 apud COSTA, 2005).

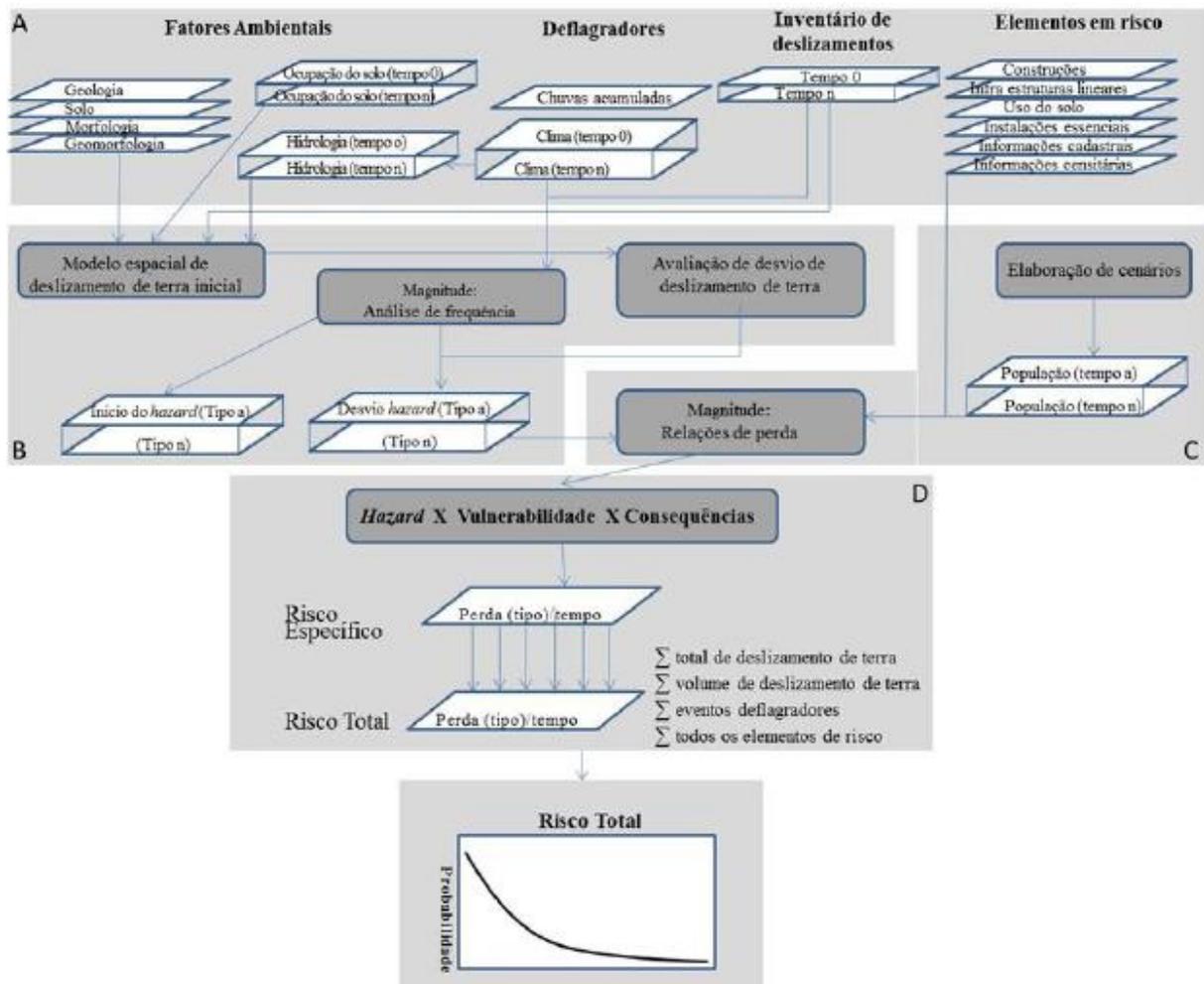


Figura 15: Análise qualitativa: A: Dados básicos; B: Suscetibilidade; C: vulnerabilidade, D: Avaliação do risco; E: Risco Final pela curva de risco.  
Fonte: CORTELETTI (2014).

Já a análise quantitativa (Figura 16) envolve a probabilidade e conseqüências, de um determinado número de eventos, de ocorrer a instabilização. É necessário a realização de duas fases: identificação (tipo de escorregamento, geometria, mecanismo de ruptura) e avaliação de risco (probabilidade de ocorrer o evento, volume de material, vulnerabilidade) (AMARAL E SILVA, 2001 apud COSTA, 2005).

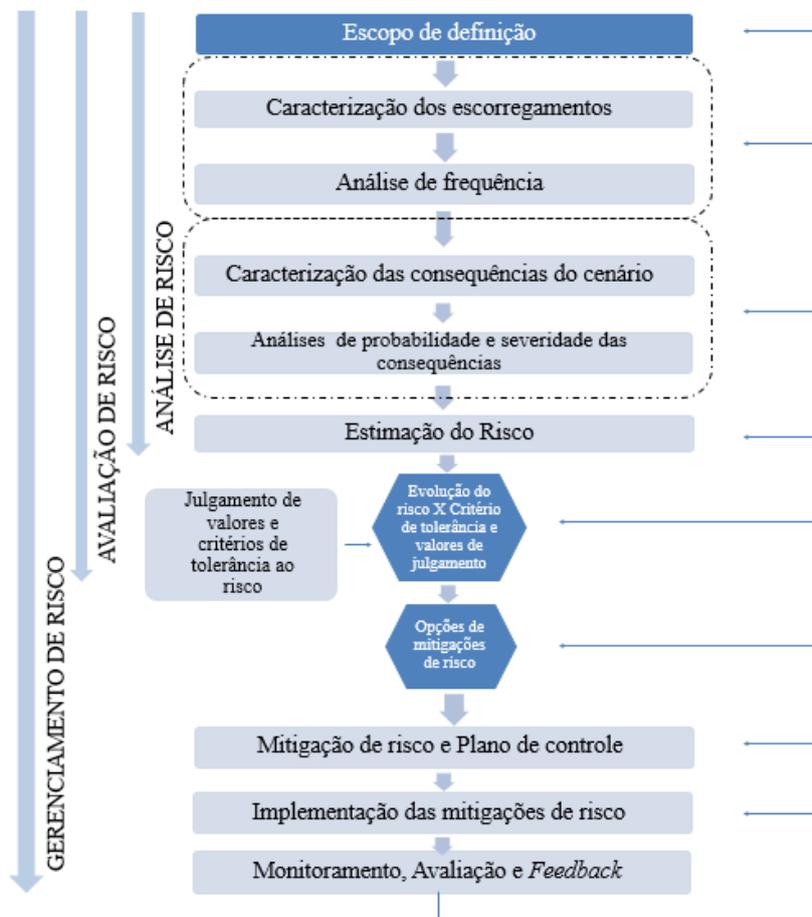


Figura 16: Análise quantitativa e gestão de risco.  
Fonte: CORTELETTI (2014).

#### 4.6 Zoneamento de riscos

Os zoneamentos de perigos são setorizações e classificações de regiões de acordo com seus graus de riscos (COSTA, 2005). Para análise de risco, FELL *et al.* (2008) e AGS (2007), citado por CORTELETTI (2014) define que o zoneamento é essencial para a realização da mesma e são classificadas em dois tipos: zoneamento de suscetibilidade, zoneamento de *hazard* e zoneamento de risco.

O zoneamento de suscetibilidade consiste em classificar os movimentos de massa e definir sua área, volume e distribuição espacial do local analisado, podendo descrever a intensidade do evento existente ou potencial. Para realizar esse zoneamento, é recolhido informações de eventos passados e realizado uma avaliação de movimentos de massa do local analisado (sem avaliar a frequência dos eventos), pode ser utilizado para áreas de deslizamentos que possam atingir a área em estudo. Com isso, são confeccionados mapas mostrando a origem dos movimentos de massa e áreas afetadas pela mesma (FELL *et al.*, 2008 e AGS, 2007 apud CORTELETTI, 2014).

A segunda classificação seria o zoneamento de *hazard*, que consiste em apresentar os resultados do mapeamento de suscetibilidade, atribuir uma probabilidade anual do evento (frequência estimada). A probabilidade anual leva em conta todas as movimentações de massa (inclusive a montante e a jusante da área) que afetam a região de aplicação do zoneamento (FELL *et al.*, 2008 e AGS, 2007 apud CORTELETTI, 2014).

E por fim, o zoneamento de risco, onde é apresentado todos os resultados dos mapas de riscos, podendo avaliar os danos a sociedade e seus arredores, sendo assim, representa a vulnerabilidade e a probabilidade, tanto temporal como espacial. Deve ser confeccionado mapas de suscetibilidade de riscos e de zoneamento de riscos para todos os possíveis tipos de movimentos de massa, sendo eles naturais ou não (FELL *et al.*, 2008 e AGS, 2007 apud CORTELETTI, 2014).

## **5 METODOLOGIA**

Para o presente trabalho, a metodologia consistiu de quatro etapas para realização do estudo, sendo elas: pesquisa bibliográfica; definição dos locais para análise e levantamento de dados no campo; levantamento de dados existentes sobre os pontos; e por fim, aplicação e comparação de dois métodos para análise de perigo (SILVEIRA, 2017 e GOMES, 2009). A seguir será apresentado o processo realizado para o presente trabalho.

### **5.1 Localização dos taludes**

Foram selecionados três taludes para realizar levantamento geológico-geotécnico e a análise de perigo de ocorrer a queda de blocos, podendo assim, classificar os trechos de acordo com o grau de perigo encontrado. Ao longo da BR-262 existem outros taludes já caracterizados geológico-geotecnicamente, tal como pode ser visto no trabalho de SANTOS *et al.* (2018).

Posto isso, este trabalho complementarará o trabalho de SANTOS *et al.* (2018) adicionando a análise de perigo nos trechos da BR-262 analisados por estes autores. Os taludes se localizam entre as cidades de Betim e Nova Serrana na rodovia BR-262, como é possível observar na Figura 17 da área de estudo e na Figura 18 estão os pontos avaliados no presente trabalho.

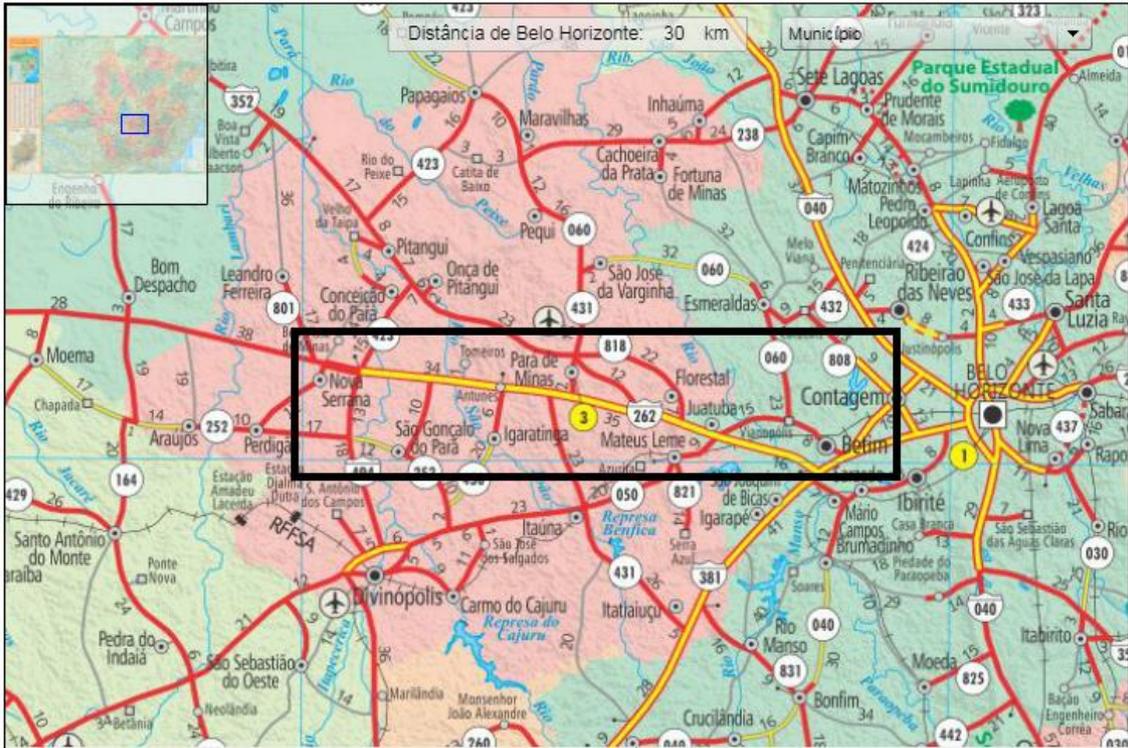


Figura 17: Localização da área de estudo (entre Betim e Nova Serrana).

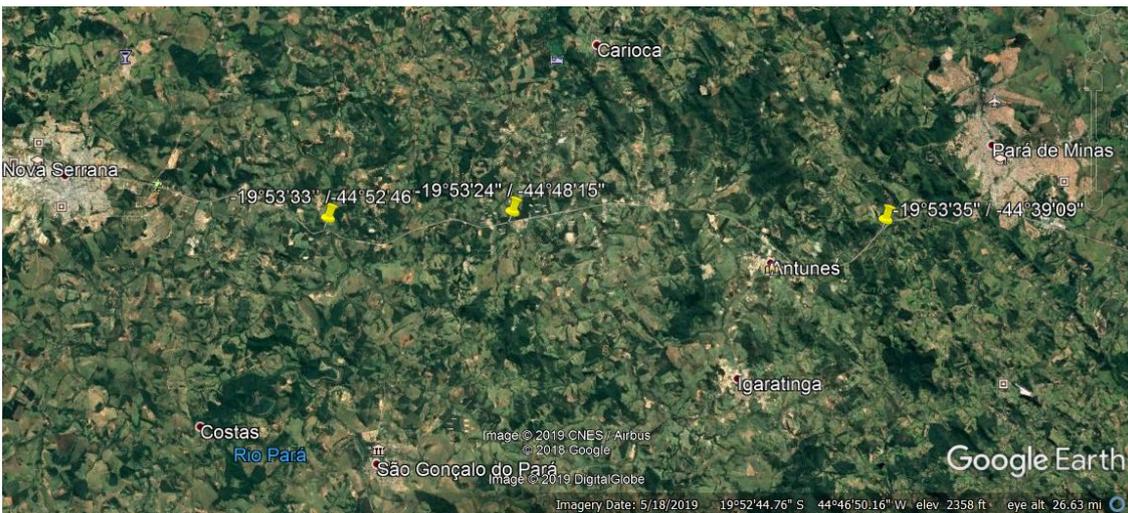


Figura 18: Localização dos taludes estudados.

### 5.1.1 Ponto 4 – Nova Serrana

O Ponto 4 encontra-se próximo a Nova Serrana, e foi o primeiro a ser avaliado de acordo com a rota planejada. O talude avaliado possui coordenadas de  $19^{\circ}53'33''$ S em latitude e  $44^{\circ}52'46''$ W em longitude. Na Figura 19, é possível observar o talude em questão.



Figura 19: Vista panorâmica do Ponto 4 - Nova Serrana.

O talude foi analisado e dividido em quatro setores devido a diferenças encontradas em campo. Esses setores foram nomeados da seguinte forma: P4 – A, P4 – B, P4 – C e P4 – D. A Figura 20 mostra a setorização do talude realizada.



Figura 20: Setorização - Ponto 4.

### 5.1.2 Ponto 2

O talude no Ponto 2 está localizado entre os pontos 1 e 4, sendo o segundo a ser analisado em campo. O local se encontra nas seguintes coordenadas:  $19^{\circ}53'24''S$ , para latitude, e  $44^{\circ}48'15''W$ , para longitude. Na Figura 21 é possível observar o talude em questão.



Figura 21: Talude estudado no Ponto 2.

No Ponto 2 não houve uma setorização do talude, ou seja, toda a extensão do talude foi analisada como um todo, isso ocorreu devido as características analisadas serem uniformes. Assim, como toda a área analisada possuía os mesmos padrões, este talude foi denominado apenas como P2 (Figura 22).



Figura 22: Setorização - Ponto 2.

### 5.1.3 Ponto 1 – Pará de Minas

O último ponto analisado em campo está localizado próximo à Pará de Minas. Esse ponto está situado nas coordenadas  $19^{\circ}53'35''$ S e  $44^{\circ}39'09''$ W, para latitude e longitude, respectivamente. A Figura 23 mostra o talude do Ponto 1.



Figura 23: Vista geral do Ponto 1 - Pará de Minas.

Nesse talude também houve uma setorização, foi realizado três divisões de acordo com as características encontradas no local. Os setores foram nomeados da seguinte forma: P1 – A, P1 – B, P1 – C. Na Figura 24 observa-se essa setorização.



Figura 24: Setorização - Ponto 1.

### 5.1.4 Talude Betim

O talude de Betim, no quilômetro 356 da rodovia BR-262, teve suas informações levantadas a partir do trabalho de SANTOS *et al.* (2018). A localização do local de estudo é  $19^{\circ} 58' 47.762''$  S para latitude e  $92^{\circ} 13' 36.039''$  W. Na Figura 25 é possível observar o talude em questão.



Figura 25: Talude Betim.

Fonte: Foto cedida pelo autor do trabalho de SANTOS *et al.* (2018).

Nesse ponto o autor decidiu manter apenas um setor para a avaliação das questões relacionadas aos seus objetivos. Com isso, foi mantido a mesma divisão de SANTOS *et al.* (2018), como se vê na Figura 26.



Figura 26: Setorização - Talude Betim.

Fonte: Foto cedida pelo autor do trabalho de SANTOS *et al.* (2018).

### 5.1.5 Talude Pará de Minas

O segundo talude estudado por Santos *et al.* (2018), foi o talude de Pará de Minas no quilometro 406 da rodovia BR-262, localizado nas seguintes coordenadas: 19° 53' 37.873'' S de latitude e 92° 39' 15.016'' W. A Figura 27 mostra o talude estudado.

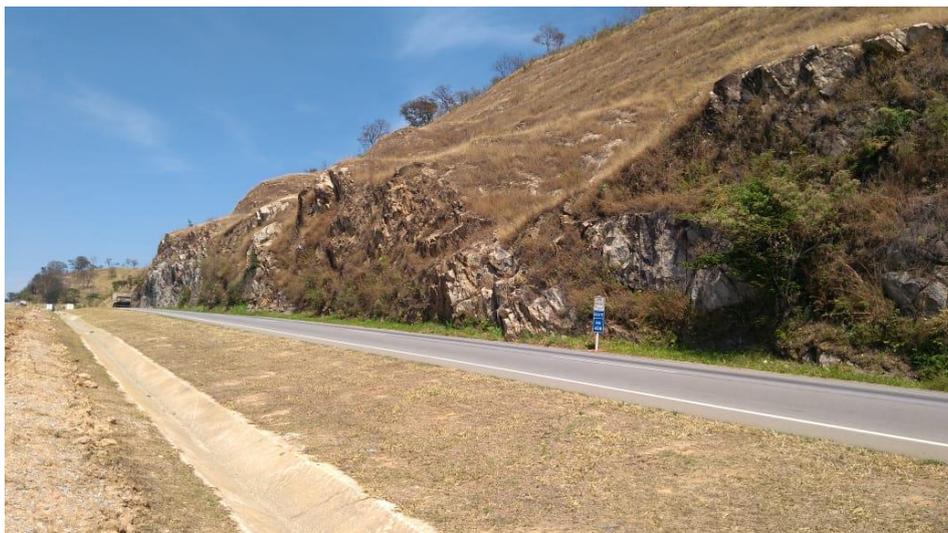


Figura 27: Talude Pará de Minas.

Fonte: Foto cedida pelo autor do trabalho de SANTOS *et al.* (2018).

Para esse talude foi necessária uma setorização, onde o autor optou por realizar a divisão do talude em dois setores denominado: PM1 e PM2. Na Figura 28 é possível ver essa setorização.



Figura 28: Setorização - Talude Pará de Minas.

Fonte: Foto cedida pelo autor do trabalho de SANTOS *et al.* (2018).

## 5.2 Levantamento de campo

Após a seleção dos taludes, foi realizado o levantamento de campo. Os parâmetros necessários para análise de perigo foram observados e coletados. O Quadro 13 relata esses parâmetros.

Quadro 13: Parâmetros coletados em campo.

<b>PARÂMETROS</b>			
<b>Mecânica das rochas</b>	<b>Geometria do talude e área de capacitação</b>	<b>Atividade</b>	<b>Grau de impacto das influências externas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orientação das descontinuidades;</li> <li>- Grau de alteração;</li> <li>- Configuração estrutural das descontinuidade (persistência, grau de transecção, abertura das descontinuidades condição das paredes);</li> <li>- Grau de afrouxamento (se necessário);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura do talude;</li> <li>- Inclinação do talude;</li> <li>- Área de captação;</li> <li>- Extensão do talude;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Atividade inicial;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismos;</li> </ul>

Além dos parâmetros citados no Quadro 13, foi coletado e observado também as dimensões médias de blocos caídos no local (para o cálculo do volume), presença de água no maciço, coordenadas geográficas do talude e características visíveis referentes à sua composição. Todos os dados coletados e observados foram anotados e arquivados para serem analisados e utilizados na aplicação das metodologias propostas neste trabalho.

É importante ressaltar que além dos dados coletados em campo, os dados referentes aos demais parâmetros analisados para avaliar o perigo/risco de queda de blocos, que não era possível retirar em campo, foram coletados em estudos referentes a área de estudo.

### 5.3 Metodologias para avaliação de perigo

#### 5.3.1 Metodologia proposta por SILVEIRA (2017)

SILVEIRA (2017) utiliza a metodologia de BAUER e NEUMANN (2011) com algumas adaptações. Essa modificação ocorre devido aos locais analisados possuírem configurações fisiográficas diferentes. A metodologia de BAUER e NEUMANN (2011), foi utilizada na região dos Alpes Bávaros, Alemanha, ou seja, ambientes totalmente diferentes, com relação aos contextos geológicos e geomorfológicos. Sendo assim, SILVEIRA (2017) realiza duas adaptações a esse método (Quadro 14), referentes ao seu ambiente de estudo, que também se aplica à realidade do presente trabalho.

Quadro 14: Adaptações no método de BAUER e NEUMANN (2011) por SILVEIRA (2017).

<b>PRIMEIRA ADAPTAÇÃO</b>	<b>SEGUNDA ADAPTAÇÃO</b>
<b>Ambiente geomecânico e Influências externas</b>	<b>Ambiente geomecânico</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mudança nos tipos de formação;</li> <li>- Valores de pluviosidade a partir de estudos de índices relacionados com movimentação de massa da região;</li> <li>- Acréscimo aos tipos de sismos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substituição dos fatores: deformação em larga escala, tipo de formação e movimentos no pé do talude por parâmetros geométricos do talude e da área de captação.</li> </ul>

É importante ressaltar que as pontuações relacionadas com cada parâmetro, não foram modificadas. No entanto, a categoria analisada, por exemplo, índice pluviométrico, foi alterado, pois, como dito anteriormente, as condições climáticas do local estudado são diferentes. Para encontrar esses valores, utilizou-se trabalhos de movimentação de massa que se relacionavam com esses índices para a área de estudo.

Da mesma forma a alteração nos tipos de sismos se deu devido a ocorrência de terremotos não ser habitual no Brasil. Utiliza-se então, fatores referentes a presença de veículos pesados, mineração próxima e detonações para avaliar a influência externa relacionada aos sismos.

Outros parâmetros que a metodologia de BAUER e NEUMANN (2011) analisava de forma diferente são a inclinação e altura dos taludes em estudo. Isto se deve ao fato de que a região estudada por BAUER e NEUMANN (2011) ser de encostas alpinas considerando as elevadas alturas do local. Isso para a realidade do presente trabalho, não é válido, com isso essas adaptações foram realizadas de acordo com sua influência na movimentação de massa no local de estudo.

Os parâmetros avaliados por SILVEIRA (2017) e suas respectivas pontuações estão descritas nos Quadros 8, 9 e 10. Após essa análise, os resultados são encontrados nas Figuras 13 e 14.

### **5.3.2 Metodologia proposta por GOMES (2009)**

GOMES (2009) realizou a avaliação de perigo a partir dos métodos utilizados frequentemente nos Estados Unidos da América e em órgãos de países desenvolvidos relacionados com a gestão do transporte. RITCHIE (1963), PIERSON *et al.* (1990) e BUDETTA (2004) foram utilizados como base para a metodologia utilizada no trabalho de GOMES (2009).

O método utilizado por Gomes (2009), adotou um total de oito fatores importantes para a análise de risco de quedas de blocos nos taludes localizados em rodovias. Esses parâmetros receberam pontuações, de acordo com o grau de influência sobre o maciço, numa faixa de 3 à 81 utilizando a proposta de PIERSON *et al.* (1990).

No Quadro 15 é possível observar os parâmetros analisados nessa metodologia, juntamente com seus símbolos e equações.

Quadro 15: Parâmetros adotados e suas simbologias e equações.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>EQUAÇÃO</b>
Altura do talude ( <i>H</i> )	$I_{AT}$	$I_{AT} = e^{0,183 H}$
Efetividade da Área de Captação	$I_{AC}$	-
Risco ao veículo ( <i>RV</i> )	$I_{RV}$	$I_{RV} = e^{0,0439 RV}$
Porcentagem da Distância de Visibilidade ( <i>DV</i> )	$I_{DV}$	$I_{DV} = 243 e^{-0,0439 DV}$
Largura do Pavimento ( <i>LP</i> )	$I_{LP}$	$I_{LP} = 1262,7 e^{-0,4578 LP}$
Dimensão do Bloco ( <i>DB</i> )	$I_{DB}$	$I_{DB} = e^{3,662 DB}$
Condição Climática ( <i>P</i> )	$I_{CC}$	$I_{CC} = 0,0048 e^{0,0054 P}$
Característica Geológico-geotécnica ( <i>SMR</i> )	$I_{CG}$	$I_{CG} = 19683 e^{-0,11 SMR}$

Fonte: GOMES (2009).

Todos esses valores encontrados a partir das equações dispostas no Quadro 15, são somados e resultam em um Índice de Queda de Blocos ( $I_{QB}$ ), denominado por GOMES (2009). Esse índice possui uma alta relevância, pois ele indica a suscetibilidade de queda de blocos e que os maiores valores encontrados refletem os locais de maior risco em um talude.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos em campo estão dispostos nos Quadros 16, 17 e 18. Os parâmetros utilizados foram os mesmos de SILVEIRA (2017).

Quadro 16: Dados obtidos em campo - Mecânica das Rochas.

TALUDE	MECÂNICA DAS ROCHAS						
	ORIENTAÇÃO DESCONTIN.	GRAU DE ALTERAÇÃO	ESTRUTURA DESCONTINUIDADE				GRAU DE AFROUXA MENTO
			PERSISTÊNCIA	GRAU DE TRANSECÇÃO	ABERTURA DESCONTIN.	CONDIÇÃO PAREDES	
P1 - A	Razoável/ Favorável	Forte/Baixo	-	Nenhum Mineral	Suavemente Abertas	Rugosas	Poucas Indicações
P1 - B	Razoável/ Favorável	Forte/Baixo	-	Nenhum Mineral	Abertas	Rugosas	Indicações Claras
P1 - C	Razoável/ Favorável	Forte/Baixo	-	Nenhum Mineral	Abertas	Rugosas	Indicações Claras
P2 - A	Razoável/ Favorável	Baixo	Média	Nenhum Mineral	Suavemente Abertas	Rugosas	-
P4 - A	Razoável/ Favorável	Forte	Média	Nenhum Mineral	Abertas	Rugosas	-
P4 - B	Razoável/ Favorável	Baixo	Média	Nenhum Mineral	Fechada	Rugosas	-
P4 - C	Desfavorável/ Razoável/ Favorável	Baixo	Baixa	Nenhum Mineral	Suavemente Abertas	Rugosas	-
P4 - D	Desfavorável/ Razoável/ Favorável	Baixo	Baixa	Nenhum Mineral	Suavemente Abertas	Rugosas	-
BETIM	Desfavorável	Baixo	Alta	Nenhum Mineral	Suavemente Abertas	Rugosas	-
PM1	Desfavorável	Baixo	Média	Nenhum Mineral	Fechada	Rugosas	-
PM2	Desfavorável	Baixo	Baixa	Nenhum Mineral	Suavemente Abertas	Rugosas	-

Quadro 17: Dados obtidos em campo - Geometria do talude e Área de captação.

TALUDE	GEOMETRIA DO TALUDE E ÁREA DE CAPTAÇÃO		
	ALTURA DO TALUDE	INCLINAÇÃO DO TALUDE	ÁREA DE CAPTAÇÃO
1 - A	MÉDIA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	DISTÂNCIA MODERADA E POUCA VEGETAÇÃO
1 - B	MÉDIA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	DISTÂNCIA MODERADA E POUCA VEGETAÇÃO
1 - C	MÉDIA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	PEQUENA DISTÂNCIA, INCLINAÇÃO ELEVADA, POUCA VEGETAÇÃO
2 - A	BAIXA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	DISTÂNCIA MODERADA E POUCA VEGETAÇÃO
4 - A	BAIXA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	DISTÂNCIA MODERADA E POUCA VEGETAÇÃO
4 - B	BAIXA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	DISTÂNCIA MODERADA E POUCA VEGETAÇÃO
4 - C	BAIXA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	DISTÂNCIA MODERADA E POUCA VEGETAÇÃO
4 - D	BAIXA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	PEQUENA DISTÂNCIA, INCLINAÇÃO ELEVADA, POUCA VEGETAÇÃO
BETIM	BAIXA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	DISTÂNCIA MODERADA E POUCA VEGETAÇÃO
PM1	MÉDIA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	PEQUENA DISTÂNCIA, INCLINAÇÃO ELEVADA, POUCA VEGETAÇÃO
PM2	MÉDIA	SUBVERTICAL A VERTICAL COM FEIÇÕES DE LANÇAMENTO	PEQUENA DISTÂNCIA, INCLINAÇÃO ELEVADA, POUCA VEGETAÇÃO

Quadro 18: Dados obtidos em campo - Influências externas/Atividade/Intensidade.

TALUDE	GRAU DE IMPACTO DAS INFLUÊNCIAS EXTERNAS			ATIVIDADE	INTENSIDADE
	SISMOS	PRECIPITAÇÃO		ATIVIDADE INICIAL	VOLUME DE BLOCOS
1 - A	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	BLOCO ÚNICO
1 - B	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	BLOCO ÚNICO
1 - C	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	BLOCO ÚNICO
2 - A	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	BLOCO ÚNICO
4 - A	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	QUEDAS EM PEQUENAS ESCALAS
4 - B	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	BLOCO ÚNICO
4 - C	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	BLOCO ÚNICO
4 - D	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	BLOCO ÚNICO
BETIM	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	BLOCO ÚNICO
PM1	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	QUEDAS EM PEQUENAS ESCALAS
PM2	VEÍCULOS PESADOS	< 48.2 mm/6 DIAS	> 129 mm/6 DIAS	ATIVO	QUEDAS EM PEQUENAS ESCALAS

É possível visualizar que alguns dos parâmetros dos taludes são iguais, além disso, foi utilizado para os taludes com mais uma característica no mesmo critério a pior situação, por exemplo, as orientações das discontinuidades. Na Tabela 3, os parâmetros analisados em campo estão dispostos juntamente com suas respectivas pontuações (pesos), de acordo com o que foi proposto por SILVEIRA (2017). Conforme SILVEIRA (2017), a classificação para suscetibilidade a partir dos pesos varia em Baixa (0 a 103), Média (104 a 245) e Alta (246 a 388).

Tabela 3: Pontuação - Metodologia de SILVEIRA (2017).

PARÂMETROS	TALUDES										
	P1 - A	P1 - B	P1 - C	P2	P4 - A	P4 - B	P4 - C	P4 - D	BETIM	PM1	PM2
Orientação	34	34	34	34	34	34	85	85	85	85	85
Alteração	14	14	14	0	14	0	0	0	0	0	0
Persistência	-	-	-	7	7	7	0	0	14	7	0
Transecção	-	-	-	14	14	14	14	14	14	14	14
Abertura	-	-	-	7	14	0	7	7	7	0	7
Rugosidade	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Afrouxamento	112	224	224	-	-	-	-	-	-	-	-
Altura	20	20	20	0	0	0	0	0	0	20	20
Inclinação	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Captação	7	7	14	7	7	7	7	14	7	14	14
Atividade	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
<b>SUSCETIBILIDADE</b>	264	376	383	153	167	139	190	197	204	217	217
<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M

Onde: A= Alta, M= Média.

A maior suscetibilidade (disposição + atividade) encontrada foi no valor de 383 para o setor C do Talude 1 e a menor foi de 139 para o setor B do Talude 4, apresentados na Figura 29 e 30, respectivamente. Antes de realizar as tomadas de decisões referentes as intervenções necessárias, é preciso realizar a avaliação de cada parâmetro característico do talude e não apenas as pontuações gerais colocadas a cada área. As diferenças entre os setores de maior e menor suscetibilidade são: o grau de alteração, que mesmo possuindo os dois tipos de alteração (forte e baixo) foi escolhido o pior entre eles (forte) para o talude P1 – C, o grau de afrouxamento, que é pontuado apenas no talude P1 – C, a altura do talude e a área de captação.

O grau de afrouxamento é utilizado como uma alternativa quando não há informações das configurações estruturais das famílias de descontinuidades (persistência, abertura etc.). O Talude 1 é constituído de um maciço muito fraturado, não apresentando famílias de descontinuidades muito claras. A partir disso, a maior influência sobre a pontuação final, observada na Tabela 3, foi a do grau de afrouxamento que acarretou uma pontuação maior para o P1 – C que a configuração estrutural das descontinuidades para o P4 - B.



Figura 29: Ponto com maior suscetibilidade - P1 - C.



Figura 30: Ponto com menos suscetibilidade - P4 - B.

Antes de encontrar a probabilidade de quedas de blocos, outra categoria a ser analisada é a de influências externas (sismos + precipitação), onde foi considerado uma precipitação máxima diária anual 149,3 mm e a mínima, considerada, foi de 0,0 mm (MIRANDA *et al*, 2017).

Os resultados da pontuação obtida seguiram o mesmo padrão devido aos mesmo valores utilizados para precipitação e sismos em todos os casos (Quadro 18), com isso, a pontuação máxima e mínima foram 70 e 20. Assim, foi possível obter a probabilidade de queda de blocos (susceptibilidade + influências externas) disposta na Tabela 4, utilizando a matriz de probabilidade à ocorrência de queda de blocos (Figura 13).

Tabela 4: Probabilidade de ocorrência de quedas de blocos.

TALUDES	DISPOSIÇÃO + ATIVIDADE (PESOS)	DISPOSIÇÃO + ATIVIDADE (CLASSE)	IMPACTO EXTERNO		PROBABILIDADE	
			MINÍMO	MÁXIMO	MINÍMO	MÁXIMO
1 - A	264	Alta	20	70	Média	Alta
1 - B	376	Alta	20	70	Média	Alta
1 - C	383	Alta	20	70	Média	Alta
2 - A	146	Média	20	70	Média	Alta
4 - A	167	Média	20	70	Média	Alta
4 - B	139	Média	20	70	Média	Alta
4 - C	190	Média	20	70	Média	Alta
4 - D	197	Média	20	70	Média	Alta
BETIM	204	Média	20	70	Média	Alta
PM1	217	Média	20	70	Média	Alta
PM2	217	Média	20	70	Média	Alta

Observa-se que o resultado para a probabilidade foi o mesmo para todos os taludes mesmo com os valores de susceptibilidade diferentes. As categorias em que todos estão inseridos são as de média e alta probabilidade para um impacto externo mínimo e máximo, respectivamente.

Também é possível notar a influência da precipitação, que causa justamente a mudança na categoria em que o talude está inserido, onde no período chuvoso a probabilidade de queda é maior, o que é esperado, quanto maior a presença de água, mais instável estará o talude. Sendo assim, o parâmetro que mais influenciou a probabilidade de quedas de blocos foi a susceptibilidade, ou seja, ação da disposição e da atividade sobre o talude. Porém o valor da atividade permaneceu constante, variando apenas os valores de disposição para cada setor analisado.

Agora dispondo tanto da probabilidade (Tabela 4) e a intensidade do evento (Quadro 18), é possível utilizar a matriz de perigo de queda de blocos (Figura 14) para encontrar o grau desse perigo. A Tabela 5, mostra os dados anteriores e resultados obtidos a partir da análise dessa matriz.

Tabela 5: Classe de perigo para os taludes da BR-262 a partir da metodologia de SILVEIRA (2017).

TALUDES	PROBABILIDADE		VOLUME DE BLOCOS	CLASSE DE PERIGO	
	MINÍMO	MÁXIMO		MINÍMO	MÁXIMO
1 - A	Média	Alta	< 200 mm	Muito baixa	Alta
1 - B	Média	Alta	< 200 mm	Muito baixa	Alta
1 - C	Média	Alta	< 200 mm	Muito baixa	Alta
2 - A	Média	Alta	< 200 mm	Muito baixa	Alta
4 - A	Média	Alta	$\approx 100\text{m}^3 / > 200\text{mm}$	Baixa	Alta
4 - B	Média	Alta	< 200 mm	Muito baixa	Alta
4 - C	Média	Alta	< 200 mm	Muito baixa	Alta
4 - D	Média	Alta	< 200 mm	Muito baixa	Alta
BETIM	Média	Alta	< 200 mm	Muito baixa	Alta
PM1	Média	Alta	$\approx 100\text{m}^3 / > 200\text{mm}$	Baixa	Alta
PM2	Média	Alta	$\approx 100\text{m}^3 / > 200\text{mm}$	Baixa	Alta

Os resultados expostos anteriormente na Tabela 5, refletem a classe de perigo que cada talude pertence. É possível verificar que a precipitação mínima alterada para a precipitação máxima alterou o grau de perigo do talude. Isto se deve ao fato da probabilidade de queda ser altamente influenciada pela época em que a análise é realizada, ou seja, períodos chuvosos a probabilidade de quedas é maior que em época de estiagem. A classe de perigo também é alterada a partir da mudança do volume de blocos encontrados no local, como acontece com os taludes P4 –A e PM1 e PM2. Posto isso, os taludes possuem classe de perigo que se encontram localizada na faixa de Muito baixo grau de perigo nas épocas de estiagem, enquanto que nas épocas chuvosas os taludes permanecem na classe Alta de perigo, com exceção dos taludes P4 –A e PM1 e PM2 que têm sua classe de perigo variando entre Baixa a Alta, nas épocas de estiagem e máxima precipitação respectivamente.

A seguir será discutido a metodologia de GOMES (2009). As Tabelas 6, 7, 8 e 9 refletem os dados obtidos no estudo de campo, por meio das fórmulas, citadas anteriormente, e por meio de pesquisas necessárias para realizar a metodologia descrita por GOMES (2009).

Tabela 6: Dados 1 - Metodologia GOMES (2009).

TALUDE	TRÁFEGO DIÁRIO (CARRO/HORA)	COMPRI-MENTO TALUDE (KM)	VELOCIDADE DIRETRIZ (KM/HORA)	VISIBILIDADE REAL	VISIBILIDADE DE PROJETO	VOLUME DE BLOCOS
<b>1 - A</b>	5458.83	0.1	80	1	1	1
<b>1 - B</b>	5458.83	0.08	80	1	1	0.5
<b>1 - C</b>	5458.83	0.06	80	1	1	1
<b>2 - A</b>	5458.83	0.0743	80	1	1	1
<b>4 - A</b>	5458.83	0.034	80	1	1	0.5
<b>4 - B</b>	5458.83	0.0124	80	1	1	1
<b>4 - C</b>	5458.83	0.0286	80	1	1	0.5
<b>4 - D</b>	5458.83	0.0498	80	1	1	0.5
<b>BETIM</b>	4052.29	0.1	80	1	1	0.25
<b>PM1</b>	5458.83	0.2025	80	1	1	0.5
<b>PM2</b>	5458.83	0.2025	80	1	1	0.5

Tabela 7: Dados 2 - Metodologia GOMES (2009).

TALUDE	RMR SECA	RMR ÚMIDA	F1	F2	F3	F4
<b>1 - A</b>	72	57	0.85	1	-25	0
<b>1 - B</b>	70	55	0.85	1	-25	0
<b>1 - C</b>	80	65	0.85	1	-25	0
<b>2 - A</b>	84	69	0.85	1	-25	0
<b>4 - A</b>	60	45	0.85	1	-25	0
<b>4 - B</b>	71	56	0.85	1	-25	0
<b>4 - C</b>	71	56	0.85	1	-25	0
<b>4 - D</b>	71	56	0.85	1	-25	0
<b>BETIM</b>	63	63	0.85	1	-25	0
<b>PM1</b>	89	89	0.85	1	-25	0
<b>PM2</b>	71	71	0.85	1	-25	0

Tabela 8: Dados 3 - Metodologia GOMES (2009).

TALUDE	ALTURA DO TALUDE (M)	RISCO AO VEÍCULO	DISTÂNCIA VISIBILIDADE	LARGURA DO PAVIMENTO (M)	DIMENSÃO DO BLOCO
<b>1 - A</b>	7.3	6.82	100	1	1.00
<b>1 - B</b>	6	5.46	100	3.6	0.79
<b>1 - C</b>	4.5	4.09	100	3	1.00
<b>2 - A</b>	8.5	5.07	100	3.4	1.00
<b>4 - A</b>	3	2.32	100	2	0.79
<b>4 - B</b>	4.5	0.85	100	2	1.00
<b>4 - C</b>	5.5	1.95	100	2	0.79
<b>4 - D</b>	7.65	3.40	100	2	0.79
<b>BETIM</b>	10	5.07	100	1.5	0.63
<b>PM1</b>	12	13.82	100	0	0.79
<b>PM2</b>	12	13.82	100	0	0.79

Tabela 9: Dados 4 - Metodologia Gomes (2009).

TALUDE	CARAC. GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA (SECA)	CARAC. GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA (ÚMIDA)	PRECIPITAÇÃO ESTIAGEM	PRECIPITAÇÃO CHUVAS (MM/ANO)	EFETIVIDADE DE CAPTAÇÃO
1 - A	50.75	35.75	0	1313	Sem Captação
1 - B	48.75	33.75	0	1313	Sem Captação
1 - C	58.75	43.75	0	1313	Sem Captação
2 - A	62.75	47.75	0	1313	Sem Captação
4 - A	38.75	23.75	0	1313	Sem Captação
4 - B	49.75	34.75	0	1313	Sem Captação
4 - C	49.75	34.75	0	1313	Sem Captação
4 - D	49.75	34.75	0	1313	Sem Captação
BETIM	41.75	41.75	0	1313	Sem Captação
PM1	67.75	67.75	0	1313	Sem Captação
PM2	49.75	49.75	0	1313	Sem Captação

Na Tabela 6, o tráfego diário foi obtido no site do DNIT (2014), utilizando a variação volumétrica diária encontrada para cada área de estudo. Os valores obtidos a partir do maior pico nas curvas, foram divididos por 24 horas resultando a unidade utilizada nos cálculos (carro/hora). As Figuras 31 e 32 mostram as curvas de tráfego e os picos selecionados para os Taludes de 1 à 4/Pará de Minas e para o talude de Betim, respectivamente.

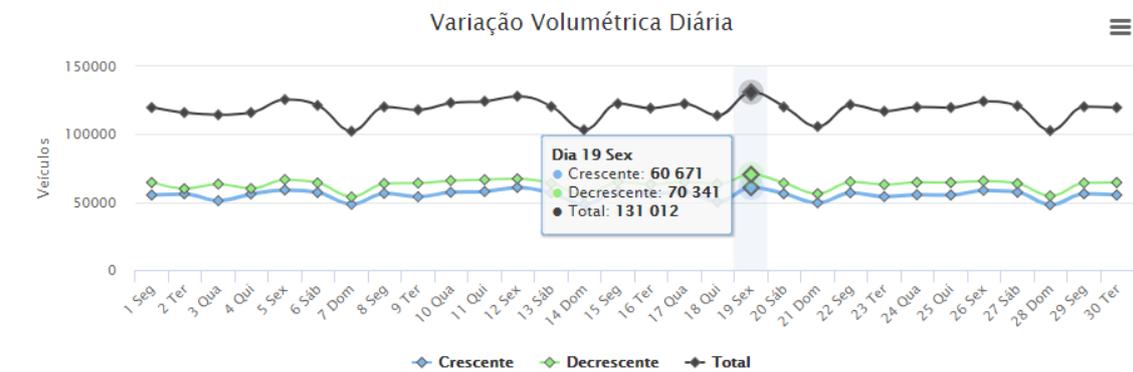


Figura 31: Tráfego diário - Km 475  
Fonte: DNIT (2014).

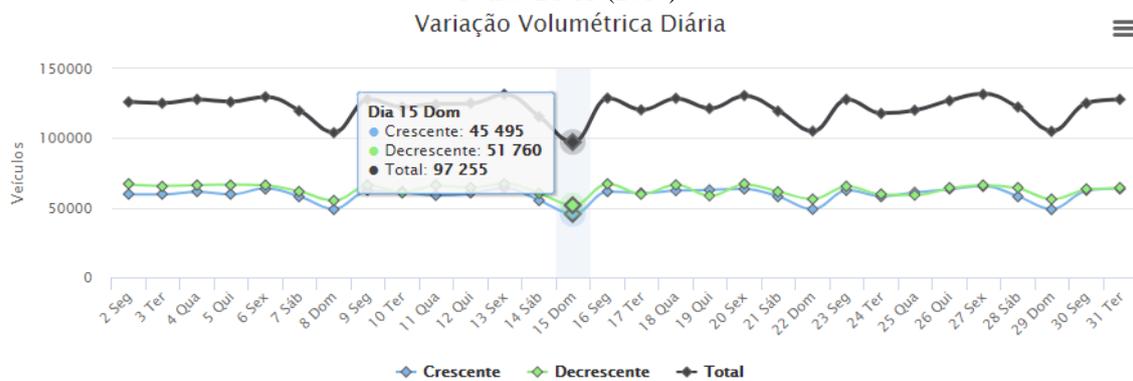


Figura 32: Tráfego diário - Km 331  
Fonte: DNIT (2014).

Para os Taludes 1 à 4 e Pará de Minas, o maior valor encontrado durante o mês foi o de 131012 carros por dia, resultando em torno de 5459 carros por hora. Para o talude de Betim, o menor valor foi utilizado por ele ser um talude de acesso e não estar dentro da rodovia, justificando o seu tráfego ser bem menor em comparação a própria rodovia. Sendo assim, temos 97255 carros por dia, ou seja, em torno de 4052 carros por hora.

Utilizando a velocidade diretriz constante de 80 Km por hora e os comprimentos coletados em campo (Tabela 6), foi possível realizar o cálculo do risco ao veículo (Tabela 8) utilizando a Equação 2, descrita no índice 4.4.2.3 deste trabalho. Para o cálculo da distância de visibilidade (Tabela 8), considerou-se a visibilidade real igual a visibilidade de projeto (Tabela 6), sendo assim os valores para esse parâmetro permaneceram constantes ao utilizar a Equação 3 (índice 4.4.2.3). Já o volume de blocos (m<sup>3</sup>) foi definido a partir das dimensões dos blocos (em metros), para assim calcular a dimensão dos blocos por meio da Equação 4, também descrita no índice 4.4.2.3.

O RMR foi encontrado para duas situações, com a presença de água e sem a presença de água. Ao analisar as características de cada talude foi possível encontrar seus valores de RMR e os fatores para o ajustamento das descontinuidades (Tabela 7) necessários para o cálculo das características geológicas/geotécnicas (Tabela 9), ou seja, encontrar o SMR a partir da Equação 5.

A classificação do SMR foi considerada desfavorável, pois a direção das descontinuidades é quase paralela a direção dos taludes. Além disso, os mergulhos encontrados foram maiores que 60°. A Tabela 10 apresenta as classes e descrições de cada faixa dos valores de SMR e a Tabela 11 os resultados obtidos para cada talude.

Tabela 10: Classificação SMR.

<b>CLASSE</b>	<b>V</b>	<b>IV</b>	<b>III</b>	<b>II</b>	<b>I</b>
<b>VALORES</b>	<b>0-20</b>	<b>21-40</b>	<b>41-60</b>	<b>61-80</b>	<b>81-100</b>
<b>DESCRIÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO</b>	Muito ruim	Ruim	Normal	Bom	Muito bom
<b>ESTABILIDADE</b>	Completamente instável	Instável	Parcialmente instável	Estável	Completamente estável
<b>FALHAS</b>	Cunhas grandes ou falha circular	Planar ou cunhas grandes	Planar, juntas ou cunhas	Alguns blocos	Sem falhas
<b>PROBABILIDADE DE FALHA</b>	0.9	0.6	0.4	0.2	0

Fonte: ROMANA (1985) apud MOHAMAD e ABAD (2011).

Tabela 11: SMR - Sem presença de água / Com presença de água.

TALUDE	SMR - SEM PRESENÇA DE ÁGUA				
	Descrição do Maciço rochoso	Estabilidade	Falhas	Probabilidade de falha	Classe
1 - A	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	0.4	III
1 - B	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	1.4	III
1 - C	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	2.4	III
2 - A	Bom	Estável	Alguns blocos	0.2	II
4 - A	Ruim	Instável	Planar ou cunhas grandes	0.6	IV
4 - B	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	0.4	III
4 - C	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	1.4	III
4 - D	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	2.4	III
BETIM	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	3.4	III
PM1	Bom	Estável	Alguns blocos	0.2	II
PM2	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	3.4	III
TALUDE	SMR - COM PRESENÇA DE ÁGUA				
	Descrição do Maciço rochoso	Estabilidade	Falhas	Probabilidade de falha	Classe
1 - A	Ruim	Instável	Planar ou cunhas grandes	0.6	IV
1 - B	Ruim	Instável	Planar ou cunhas grandes	0.6	IV
1 - C	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	0.4	III
2 - A	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	0.4	III
4 - A	Ruim	Instável	Planar ou cunhas grandes	0.6	IV
4 - B	Ruim	Instável	Planar ou cunhas grandes	1.6	IV
4 - C	Ruim	Instável	Planar ou cunhas grandes	2.6	IV
4 - D	Ruim	Instável	Planar ou cunhas grandes	3.6	IV
BETIM	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	0.4	III
PM1	Bom	Estável	Alguns blocos	0.2	II
PM2	Normal	Parcialmente instável	Planar, juntas ou cunhas	0.4	III

Verifica-se na Tabela 10, que apenas os setores P1 – A, P1 – B, P2A, P4 – B, P4 – C e P4 – D sofrem uma alteração significativa com a presença de água ao mudar a classe SMR, ou seja, menores valores de SMR acarretam menores estabilidades e condições do maciço aumentando os riscos de cada talude. O setor P4 – A possui os

menores valores para as duas condições avaliadas, sendo que para qualquer situação esse setor apresenta maiores risco ao analisar apenas esse parâmetro.

Outros parâmetro também avaliados foram a precipitação e a efetividade de captação, na qual a primeira utilizou-se os valores para os períodos de chuva e estiagem, e a segunda permaneceu constante para aquilo que foi observado em campo, os taludes não possuíam captação, isso acarretou valores constantes para os índices  $I_{CC}$  e  $I_{CG}$ . Com todos os dados disponíveis, foi possível realizar os cálculos dos índices propostos por GOMES (2009), utilizando as fórmulas expressas no Quadro 15 do item 5.3.2. A Tabela 12 mostra os valores encontrados para os índices em cada talude estudado.

Tabela 12: Índices - Metodologia GOMES (2009).

TALUDE	$I_{AT}$	$I_{AC}$	$I_{RV}$	$I_{DV}$	$I_{LP}$	$I_{DB}$	$I_{CC}$ ESTIAGEM	$I_{CC}$ CHUVAS	$I_{CG}$ SECA	$I_{CG}$ ÚMIDA
<b>1 - A</b>	3.803	81	1.349	3.013	81.000	38.939	0.005	5.761	14.907	34.015
<b>1 - B</b>	2.998	81	1.271	3.013	81.000	18.293	0.005	5.761	16.640	37.971
<b>1 - C</b>	2.278	81	1.197	3.013	81.000	38.939	0.005	5.761	9.600	21.907
<b>2 - A</b>	4.737	81	1.249	3.013	81.000	38.939	0.005	5.761	7.705	17.581
<b>4 - A</b>	1.732	81	1.107	3.013	81.000	18.293	0.005	5.761	28.841	65.813
<b>4 - B</b>	2.278	81	1.038	3.013	81.000	38.939	0.005	5.761	15.750	35.939
<b>4 - C</b>	2.736	81	1.089	3.013	81.000	18.293	0.005	5.761	15.750	35.939
<b>4 - D</b>	4.055	81	1.161	3.013	81.000	18.293	0.005	5.761	15.750	35.939
<b>BETIM</b>	6.234	81	1.249	3.013	81.000	10.043	0.005	5.761	24.454	24.454
<b>PM1</b>	8.989	81	1.834	3.013	81.000	18.293	0.005	5.761	5.852	5.852
<b>PM2</b>	8.989	81	1.834	3.013	81.000	18.293	0.005	5.761	15.750	15.750

Para melhor visualização alguns dos dados dispostos nas Tabelas 7 e 9, gráficos foram criados para comparação do efeito da estiagem e das chuvas sobre os taludes estudados. A Figura 33 mostra os dados obtidos para RMR, tanto para precipitação de 0 mm quanto para de 1313 mm ao ano.

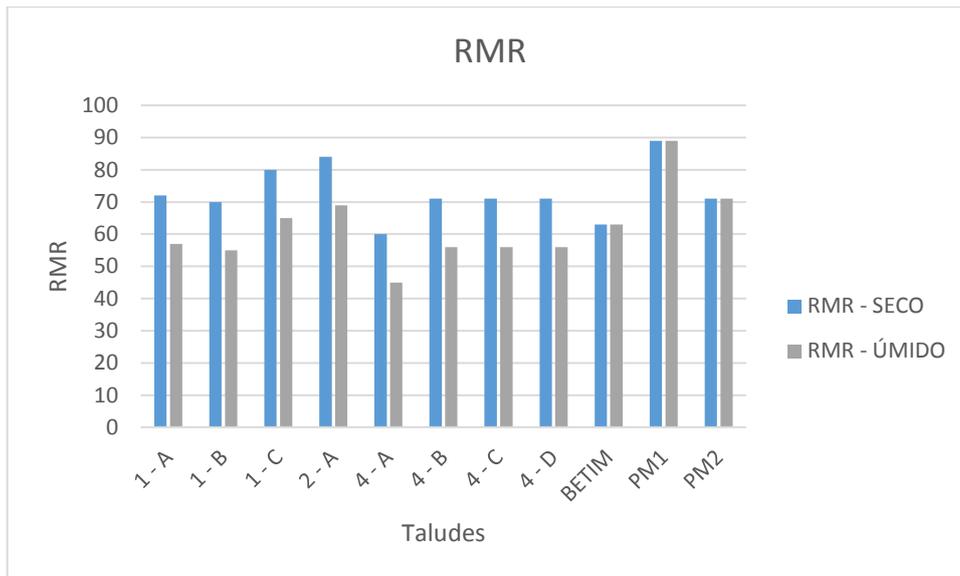


Figura 33: RMR - Estiagem e Chuvas.

É possível observar que nos taludes de Betim e Pará de Minas foram considerados o mesmo RMR para os dois períodos estudados, isso aconteceu porque SANTOS *et al.* (2018) só apresentam um único valor de RMR para análise realizada. Ao comparar os períodos chuvosos com o período de estiagem, observa-se um padrão, onde para a diferença entre os dois valores são de 15, seguindo assim uma linha de raciocínio. Confirma-se então, que a presença de água afeta diversas características dos taludes que afetam a sua estabilidade. A Figura 34 apresenta os resultados de SMR obtidos a partir do cálculo de RMR, obtidos também para os dois períodos.

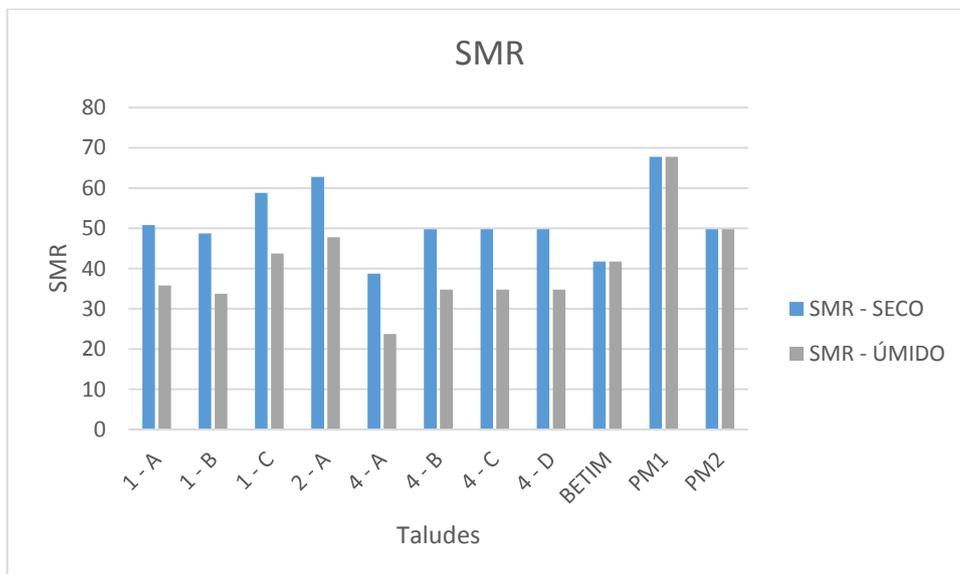


Figura 34: SMR - Estiagem e Chuvas

A diferença padrão entre os valores de SMR ocorre da mesma forma que para os resultados de RMR, devido aos fatores de ajustamento das descontinuidades

permanecerem constantes para todos os taludes estudados. Da mesma forma que o RMR, as melhores condições são para o período de estiagem.

Em relação aos índices obtidos e dispostos na Tabela 12, foram plotados gráficos a fim de comparação da relação com os parâmetros avaliados. A Figura 35 mostra o gráfico referente ao índice  $I_{AT}$  e a altura do talude encontrada em campo.

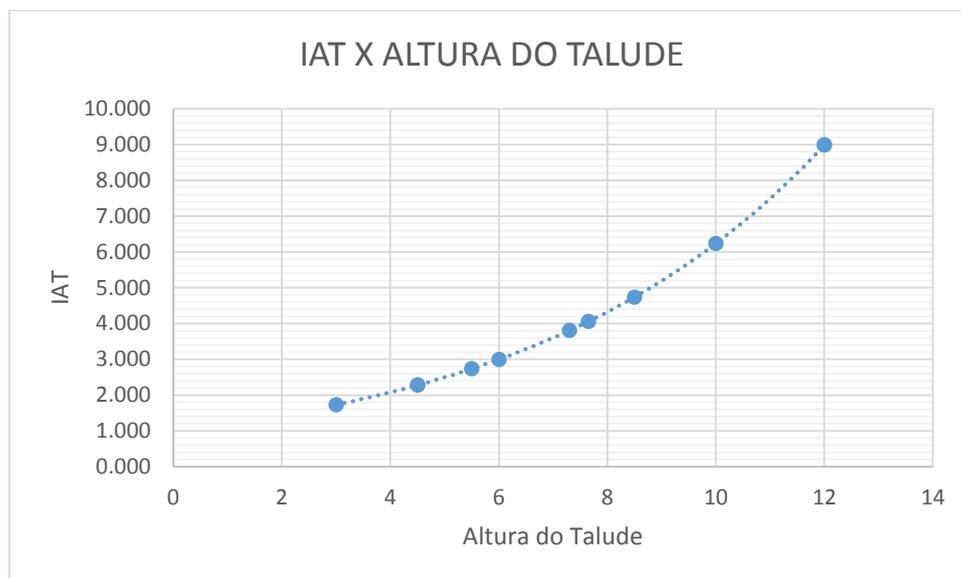


Figura 35: Relação  $I_{AT}$  e altura dos taludes

Observa-se a variação exponencial presente no gráfico (Figura 35), onde o maior ponto encontrado na curva indica o talude localizado em Pará de Minas, que possui a maior altura entre todos os taludes estudados. Em consequência esse mesmo talude possui o maior índice  $I_{AT}$ , indicando a efetividade em diagnosticar o risco referente a ruptura de blocos possível de acordo com a geometria do talude. Ou seja, quanto maior for o  $I_{AT}$ , maior será a altura e por conseguinte maior a probabilidade da presença de descontinuidades acarretando a possível queda de blocos.

Em relação ao  $I_{AC}$ , o mesmo permanece constante devido à falta de área de captação em torno de todos os taludes estudados nesse trabalho. Já o  $I_{LP}$  foi baseado na faixa de pontuação proposta por GOMES (2009) no Quadro 11 (item 4. 4. 2. 3.), como todos os taludes estão com a largura do pavimento abaixo de 6, a pontuação utilizada é 81. Esse parâmetro possibilita um espaço de manobras e desvios, ou seja, quanto menor a largura, menor segurança ele traz, o que o torna um aspecto importante para análise.

O índice  $I_{DV}$  está relacionado a possibilidade de ocorrer um acidente entre o automóvel e o bloco solto. Quanto menor for o índice, maior será o perigo para o motorista. Neste caso para todos os taludes, a distância de visibilidade foi considerada máxima devido as localizações dos taludes serem em retas dentro da rodovia.

Para  $I_{RV}$ , utilizou-se os valores de  $RV$  para os cálculos, onde quanto maior o índice, maior será a probabilidade de tráfego em áreas de riscos. No gráfico da Figura 36, podemos ver uma variação exponencial (muito parecida com uma variação linear) do índice, sendo que esse parâmetro tende a aumentar com o crescimento dos veículos presentes na área de perigo devido ao aumento da população.

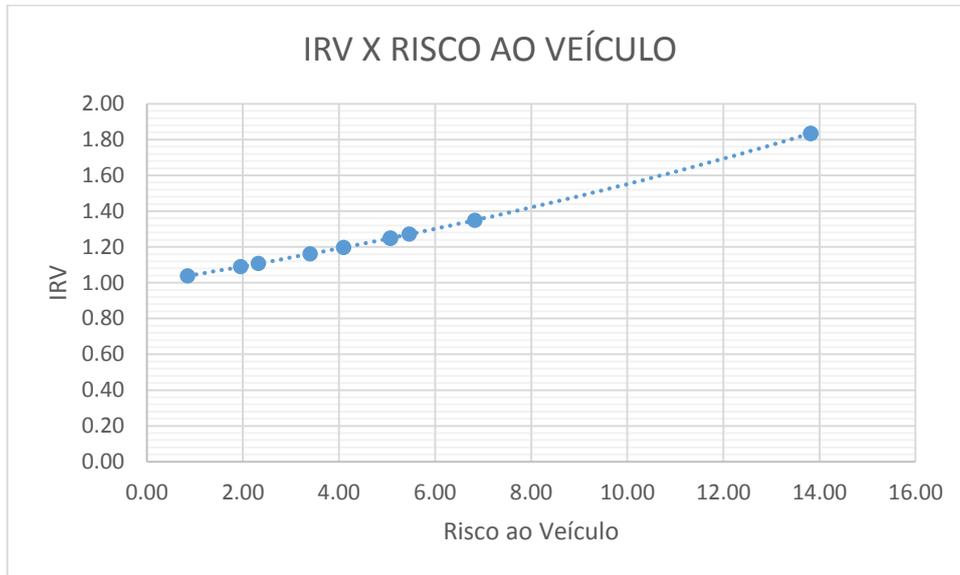


Figura 36: Relação  $I_{RV}$  e Risco ao veículo.

Da mesma forma que alguns índices mencionados anteriormente, o índice  $I_{CC}$  permaneceu constante para todos os taludes analisados, pois todos os taludes se localizam na mesma região, e assim, apresentam os mesmos valores de precipitação pluviométrica média anual. Neste estudo utilizou-se como referência a precipitação pluviométrica média anual do município de Divinópolis, que varia entre 1200 e 1400mm segundo o site da Câmara Municipal de Divinópolis. É possível analisar que a presença de água aumenta consideravelmente o valor do  $I_{CC}$  (Figura 37), ou seja, quanto maior índice, maior será a presença de água e maior o risco acarretado.

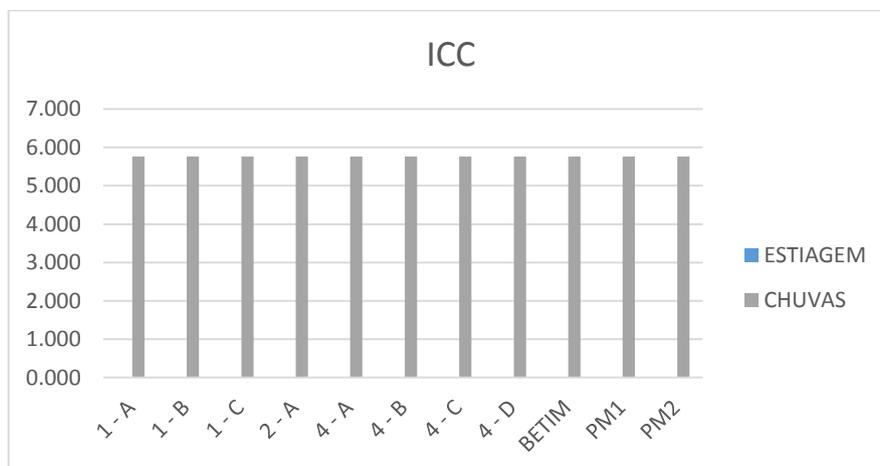


Figura 37: Índice  $I_{CC}$ .

A Figura 38, representa os dados obtidos para o índice  $I_{DB}$ , onde os menores valores indicam os menores volumes de blocos, com baixa magnitude, diminuindo o grau de risco do talude. Os maiores blocos encontrados foram nos setores P1 – A, P1 – C, P2 – A e P4 – B, e conseqüentemente os maiores  $I_{DB}$ .

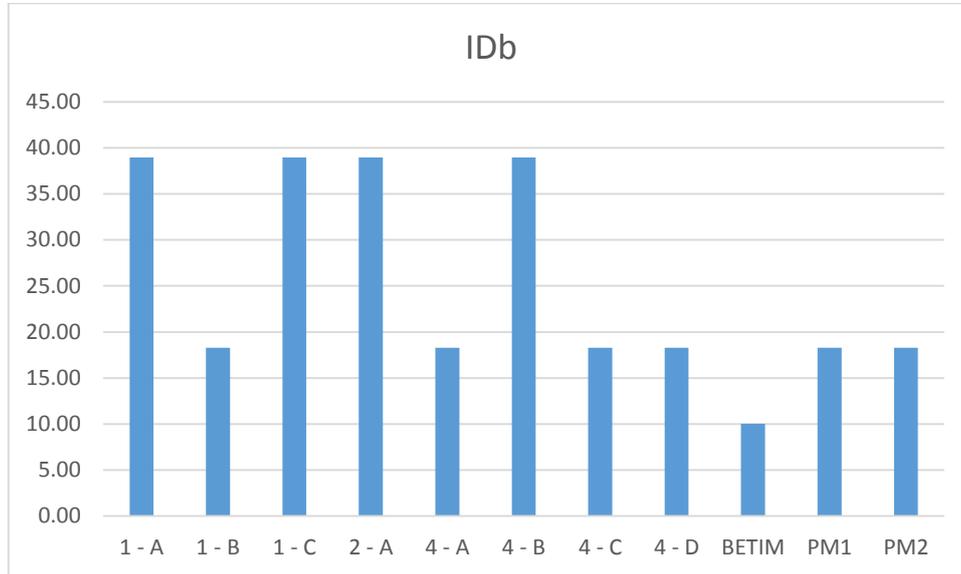


Figura 38: Dados  $I_{DB}$ .

As características relacionadas a dimensão dos blocos foram parecidas entre os taludes, acarretando apenas três valores de  $I_{DB}$  que agrupa os taludes estudados. A Figura 39, mostra o gráfico referente aos valores em que o volume dos blocos varia.

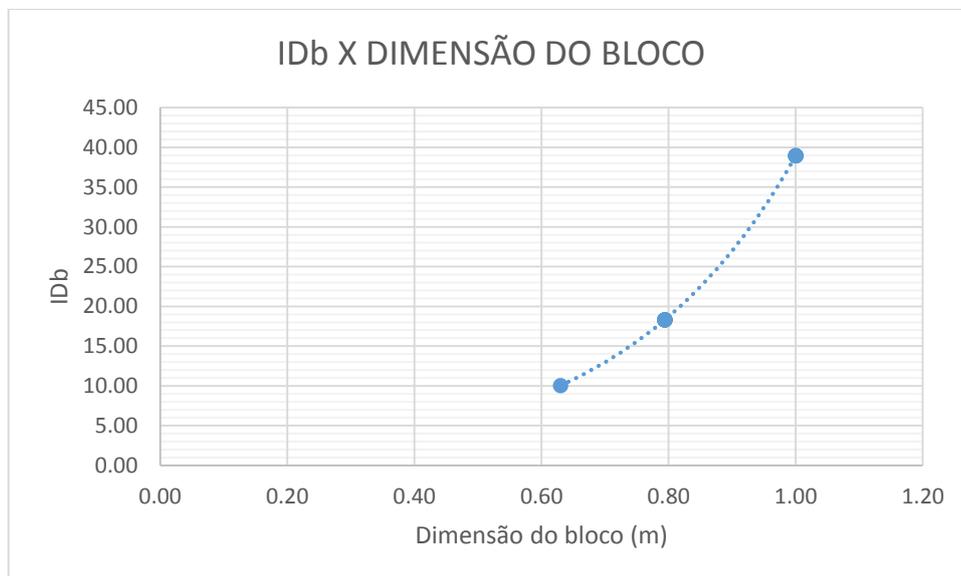


Figura 39: Relação  $I_{DB}$  e Dimensão dos blocos.

O último parâmetro utilizado para o índice  $I_{CG}$  foi a característica geológica-geotécnica, ou seja, ajuste do RMR, o SMR. Para esse índice também foram considerados as duas épocas extremas do ano, tempo de estiagem e o tempo de chuva. O

gráfico da Figura 40 exibe as curvas referentes aos valores encontrados nesses dois períodos.

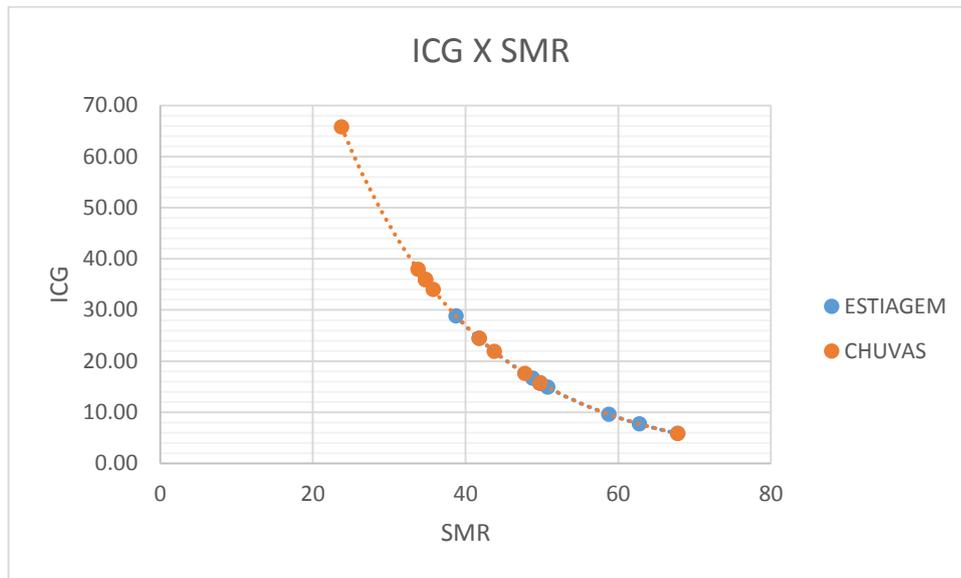


Figura 40: Relação  $I_{CG}$  e SMR.

A Figura 40 mostra a relação inversa de proporcionalidade, ou seja, maiores valores de  $I_{CG}$  são consequências de menores valores de SMR contribuindo para o aumento dos riscos. Com isso, esse resultado explica a utilização do peso 2 para o índice  $I_{CG}$  na Equação 6, do item 4.4.2.3, para o cálculo do  $I_{QB}$  devido a sua importância para definir o grau de risco. Na Figura 41 estão dispostos os resultados para melhor visualização.

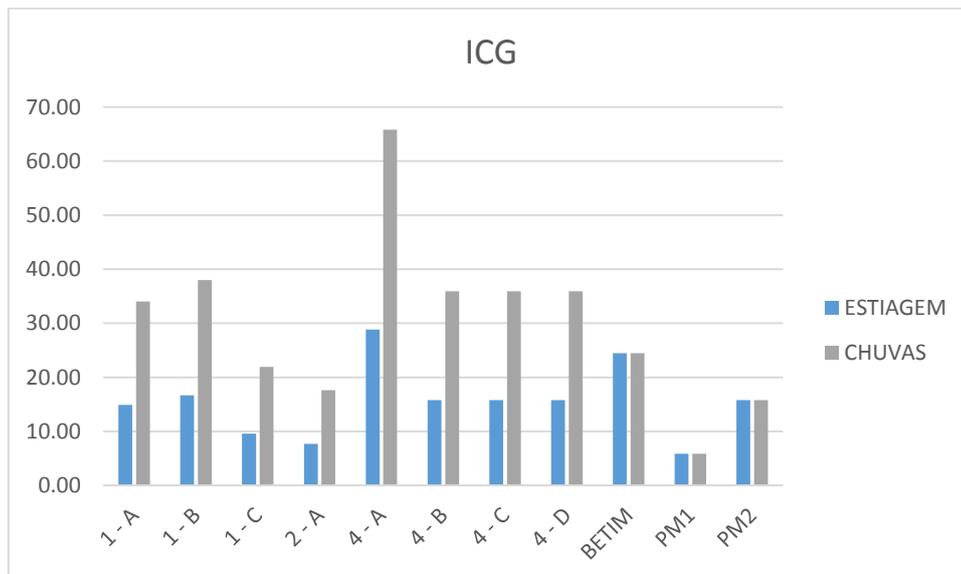


Figura 41: Dados  $I_{CG}$ .

É possível analisar que os maiores valores de  $I_{CG}$  estão relacionados aos taludes com cenários geotécnicos/geológicos não favoráveis. Nessa categoria, o maior índice pertence ao setor P4 – A, indicando a instabilidade do setor nesse talude. Por fim,

utilizando a Equação 6, os valores de  $I_{QB}$  foram encontrados para as duas situações descritas anteriormente e dispostos e na Tabela 13.

Tabela 13: Dados  $I_{QB}$ .

TALUDE	$I_{QB}$ SECA	$I_{QB}$ ÚMIDA
1 - A	238.92	277.14
1 - B	220.86	263.52
1 - C	226.63	251.24
2 - A	225.35	245.10
4 - A	243.83	317.77
4 - B	238.77	279.15
4 - C	218.63	259.01
4 - D	220.02	260.40
BETIM	231.45	231.45
PM1	205.83	205.83
PM2	225.63	225.63

O gráfico da Figura 42 mostra esses valores para melhor visualização, onde o maior índice  $I_{QB}$  foi para o Talude 4 no setor P4 – A, para as duas situações, seguido do setor P4 – B, para época de chuvas, e o Talude 1 no setor P1 – A, para época de estiagem.

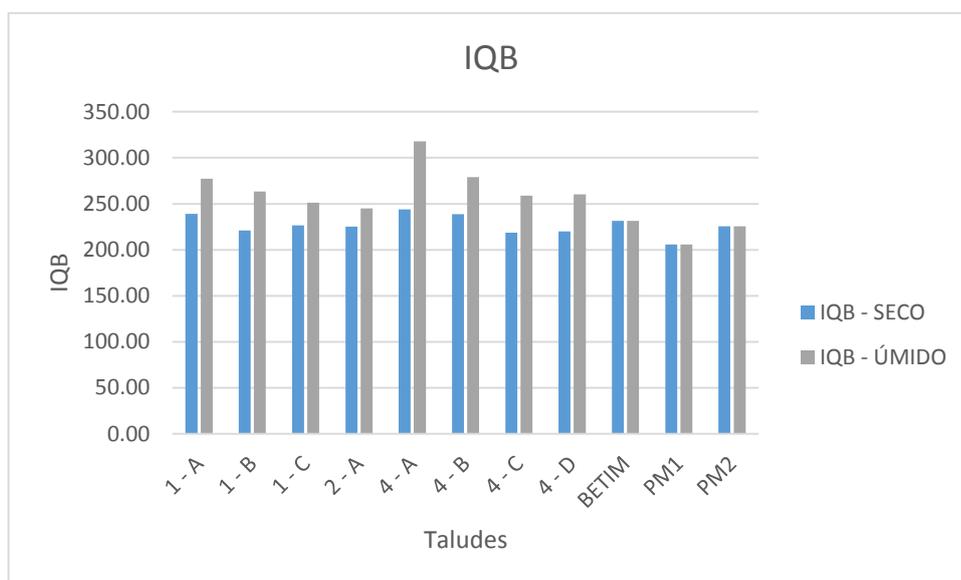


Figura 42: Dados  $I_{QB}$ .

Tabela 14: Comparação dos resultados obtidos a partir das duas metodologias.

TALUDE	GOMES (2009)		SILVEIRA (2017)	
	SECA	ÚMIDA	SECA	ÚMIDA
<b>1 - A</b>	238.92	277.14	Muito baixa	Alta
<b>1 - B</b>	220.86	263.52	Muito baixa	Alta
<b>1 - C</b>	226.63	251.24	Muito baixa	Alta
<b>2 - A</b>	225.35	245.10	Muito baixa	Alta
<b>4 - A</b>	243.83	317.77	Baixa	Alta
<b>4 - B</b>	238.77	279.15	Muito baixa	Alta
<b>4 - C</b>	218.63	259.01	Muito baixa	Alta
<b>4 - D</b>	220.02	260.40	Muito baixa	Alta
<b>BETIM</b>	231.45	231.45	Muito baixa	Alta
<b>PM1</b>	205.83	205.83	Baixa	Alta
<b>PM2</b>	225.63	225.63	Baixa	Alta

Para a metodologia de SILVEIRA (2017), analisada a partir da Tabela 14, obteve-se alguns taludes com resultados com algumas discrepâncias dos resultados obtidos por meio da metodologia de GOMES (2009). O talude selecionado de maior perigo em ambas metodologias entre os que foram estudados, foi o Talude 4-A. Porém ao se analisar o Talude de Pará de Minas (PM1), nota-se que pela metodologia de SILVEIRA (2017) ele se encontra com probabilidade Baixa na época de estiagem (probabilidade mais alta se comparada aos resultados dos outros taludes), enquanto este mesmo setor é o de menor  $I_{QB}$  a partir da metodologia de GOMES (2009).

A decisão do método a ser empregado deve levar em conta os parâmetros que mais afetaram o talude ou se esses parâmetros são críticos para o talude em questão. Mesmo com a variação dos resultados, todos os taludes permaneceram em uma zona de perigo Muito baixa a Alta e nenhum necessitou de intervenções imediatas. Porém, como o intemperismo continua afetando esses taludes, é necessário o monitoramento das mudanças que podem ser ocasionadas ao longo do tempo, aplicando algumas medidas de contenção, como muros de arrimos, podendo ser do tipo gravidade ou concreto armado, entre outros.

Para o método de GOMES (2009) é possível realizar apenas uma hierarquização dos taludes sendo um comparativo entre eles, onde taludes com maiores índices de quedas de blocos seriam os taludes priorizados. Com isso, observa-se a necessidade da presença de outros taludes para classificação do nível de perigo encontrado no local, além da grande dificuldade de obter alguns dos parâmetros utilizados.

Já para SILVEIRA (2017), a metodologia possibilita a classificação dos taludes e do potencial perigo oferecido pelo mesmo. Porém, a metodologia se mostra

conservadora perante aos fatores influenciadores da movimentação de blocos, onde a mudança da precipitação ocasiona um salto de classe de perigo.

Sendo assim, a metodologia de estudo deve, também, ser escolhida a partir do objetivo da pesquisa. Para estudos referentes a hierarquização, a metodologia de GOMES (2009) se adéqua a situação, já para estudos que necessitam de uma classificação, a metodologia de SILVEIRA (2017) seria a melhor escolha entre as duas.

## **7 CONCLUSÃO**

Os métodos utilizados neste trabalho podem ser utilizados para a avaliação de perigo, porém com atenção as características da área de estudo para que o método seja adequado ao local. A pior situação encontrada em campo deve ser levada em consideração para obter a noção dos piores danos que a queda dos blocos pode causar e conseqüentemente ajudar na melhor escolha de contenção do evento.

Para a metodologia de SILVEIRA (2017), a maior suscetibilidade encontrada foi para o ponto P1 – C, no valor de 383, entrado na classe alta de suscetibilidade, já o menor valor (139), foi encontrado para o P4 – B. As maiores diferenças entre esses valores foram devido aos fatores: altura do talude, área de captação, o grau de alteração e o grau de afrouxamento, sendo o último o fator determinante do aumento da pontuação.

As classes de suscetibilidade encontradas para os taludes analisados foram de alta, para os setores do P1, a média, para os demais taludes. As classes para a probabilidade de queda de blocos também se encontraram entre alta a média, para estiagem e período de chuvas respectivamente. Essa mudança de classe confirma o que era esperado, a presença de água nos taludes afeta diretamente a probabilidade de ocorrência do evento, ou seja, quanto maior a presença de água maior será o risco de quedas de blocos.

Na análise de perigo, os taludes se encontraram em grau de perigo muito baixo até alto, para os períodos de estiagem e chuvas, respectivamente. Assim, a avaliação dos fatores utilizados pela metodologia de SILVEIRA (2017) é influenciada pelo período em que os fatores são analisados. O fator agravante para a classe de perigo foi o volume de blocos encontrados na área de estudo, afetando os taludes em questão, os mais afetados e conseqüentemente com maior grau de risco foram os pontos P4 – A, PM1 e PM2.

Na metodologia de GOMES (2009), encontrou-se o tráfego diário de 131012 carros nos taludes P1, P2, P4 e PM, já para o talude de Betim 97255 carros por dia. O

fator SMR analisado por esse método foi considerado desfavorável de acordo com a orientação encontrada (descontinuidades paralelas a direção dos taludes) e as classes obtidas na análise foram II á IV.

Para os taludes/setores P1 – A, P1- B, P2 – A, P4 – B, P4 – C e P4 – D, a presença de água resultou em uma drástica mudança de classe do SMR (parcialmente instável para instável). O menor valor para o SMR, tanto no período de chuva quanto para o período de estiagem, foi o ponto P4 – A, acarretando maiores riscos e em razão disto um maior  $I_{CG}$  devido aos péssimos cenários geotécnicos- geológicos.

Em relação à dimensão dos blocos na área de estudo, os maiores blocos foram encontrados nos taludes P1 – A, P1 – C, P2 – A e P4 – A, ou seja, foram os de maior magnitude. Para  $I_{QB}$ , o maior valor encontrado foi para o ponto P4 – A (período de estiagem e chuvas), concordando com a metodologia de SILVEIRA (2017) como sendo o de maior perigo de queda.

Porém ocorreram discrepâncias, mesmo o talude P4 – A sendo o de maior risco, na metodologia de SILVEIRA (2017) indica baixo grau de perigo para o período de estiagem (mesmo sendo o de maior  $I_{QB}$ ) e para o talude PM1 para a metodologia de GOMES (2009) possui o menor  $I_{QB}$  enquanto para o método de SILVEIRA (2017) está classificado como de alto risco no período de chuva.

As metodologias utilizadas no presente trabalho, podem ser escolhidas de acordo com o objetivo do estudo, seja ele de classificação (SILVEIRA, 2017) ou de hierarquização (GOMES, 2009). Uma desvantagem do método de GOMES (2009) é a dificuldade em encontrar alguns dos parâmetros utilizados, enquanto para SILVEIRA (2017) a metodologia se mostra conservadora, onde a mudança da precipitação altera fortemente a mudança de classe de perigo.

Com isso, nota-se a importância da escolha do método de análise perigo/risco para que as decisões sejam baseadas em dados confiáveis. Sendo assim, o diagnóstico das áreas de estudo depende de uma avaliação de perigo completa e adequada com os parâmetros mais críticos encontrados por ser o primeiro estágio no estudo de locais críticos.

## REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682:2009 – Estabilidade de encostas**. Informações de catálogo.

AGS. **Practice Note Guidelines for Landslide Risk Management.** Australian Geomechanics Society Landslide Taskforce Landslide Zoning Working Group. Australian Geomechanics 42 (1), p. 63–114, 2007.

ALMEIDA, F. F. M. **O cráton de São Francisco.** 1977. Ver. Brás. Geoci. São Paulo, 7: 349 -364.

ALVES, S. M. **Metodologia para Análises de Riscos geotécnicos em Taludes de Ferrovias - Estudo de Caso: Estrada de Ferro Vitória - Minas.** 2014. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Romero César Gomes.

ALVES, S. M.; GOMES, R. C. **Risk Analysis of Slopes on Vitória-Minas Railroad.** In: Engineering Geology for Society and Territory, 2014, Roma. Engineering Geology for Society and Territory, 2014. v. 2. p. 1817-1821.

ALVES, S. M.; GOMES, R. C.; CARRIEL, B. R. **Análise de Risco de Taludes na Estrada de Ferro Vitória-Minas.** In: COBRAMSEG 2014, 2014, Goiânia. Anais do COBRAMDEG 2014, 2014.

AMARAL, C.; SILVA, F. M. **Risco quantitativo a escorregamentos: proposta de índice no Rio de Janeiro.** In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 3., COBRAE, Rio de Janeiro, 2001. Anais... Rio de Janeiro: ABMS, 2001, p.247-253.

AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização Geológica-geotécnica voltada à Estabilização de Encostas: Uma proposta Metodológica. In: Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, Vol. 2, pp. 721-733.

AUGUSTO FILHO; CERRI, L.E.S.; AMENOMORI, C.J. **Riscos geológicos: aspectos conceituais.** In: Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano, 1, 1990, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE. p.334-341.

ÁVILA, C. R. **Determinação das propriedades mecânicas de maciços rochosos e ou descontinuidades utilizando classificações geomecânicas - uma comparação entre os diversos métodos de classificação.** 2012. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto. Orientador: Milene Sabino Lana.

ÁVILA, C. R.; LANA, M. S. **Comportamento Geotécnico e Classificação Geomecânica de Maciços Rochosos em Taludes na Região de Belo Horizonte.** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA), v. 3, p. 21-29, 2014.

AZEVEDO, I. C., MARQUES, E. A. **Introdução à Mecânica das Rochas.** Caderno Didático 85. Viçosa, MG: Editora UFV. 2012.

BASSANELI, H. R. **Estabilidade de taludes.** Jornada Científica, [S.I.], v. 1, n. 2, 2016. ISSN 2447-2581. Disponível em: <<http://www.revista.unisal.br/lo/index.php/revistajornada/article/view/484>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

BAUER, M. & NEUMANN, P. (2011): **A guide to processing rock-fall hazard from field data.**- In: 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.

BIENIAWSKI, Z. T. (1984). **Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling**. AA.Balkema, Boston, 1984.

BUDETTA, P. **Assessment of rockfall risk along roads**. Natural Hazard and Earth System Sciences 4: 71-81. 2004.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N. **Mecânica das Rochas: Fundações e Obras da Terra**. 7. ed. Ed. Ltc, 2015. 576 p. (Volume 2).

CARVALHO, C. S. **Risco geotécnico em favelas**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11., COBRAMSEG, Brasília, 1998. Anais... Brasília, 1998, v.4, p.123-141.

CARVALHO, P. A. S (1991). **Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas**. São Paulo. IPT. 410 p.

CLAYTON, C.R.I., (2001). **“Managing Geotechnical Risk – Improving Productivity in UK Building and Construction”**, Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd, London, United Kingdom.

CORTELETTI, R. C. **Proposta de metodologia para análise de riscos geológico - geotécnicos em ferrovias: estudo de caso: estrada de ferro Carajás (EFC)**. 2014. 186 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

COSTA, E. A. **Avaliação de ameaças e risco geotécnico aplicados à estabilidade de taludes**. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Orientador: Luiz Antonio Bressani.

CROSTA, G. B., AGLIARDI, F. **A methodology for physically based rockfall hazard assessment**. Nat. Hazard Earth Syst 3:407–422. 2003.

CUNHA, L. E. **Avaliação do perigo de queda de blocos em talude urbano na cidade de Mariana – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto – MG. 2016.

CUNHA, M. A.; *et al.* **Ocupação de encostas**. 3 ed. São Paulo: IPT, 1991. 216 p.

DIVINÓPOLIS. 2018. Câmara Municipal de Divinópolis. Sobre Divinópolis. Geografia. Disponível em: <<https://www.divinopolis.mg.leg.br/sobre-divinopolis/geografia>> Acesso em: 25/10/2019.

DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (2014). Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnc/ContagemContinua>>. Acesso em: 19 Ago. 2019.

DNPM, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **NRM 02 – Lavra a céu aberto**. 2002. Disponível em: < [http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm\\_02.htm](http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_02.htm)>. Acesso em: 26 jul. 2019.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W.Z. **Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning**. Engineering Geology 102, p. 85-98, 2008.

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

FRATTINI, P., CROSTA, G. B., LARI, S., AGLIARDI, F. **Probabilistic rockfall hazard analysis (PRHA)** E. Eberhardt, C. Froese, A.K. Turner, S. Leroueil (Eds.), Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society Through Improved Understanding, Taylor & Francis, London, pp. 1145-1151. 2012.

FREIRE, E. S. M. **Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e sua Moderna Sistemática. Construção**. Rio de Janeiro, 1965.

FREITAS, S. B. N. **Caracterização Geomecânica e Classificações RMR (Bieniawsky) e SMR (Romana) de Maciços Rochosos em Taludes do Funchal**. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2011. Orientador: Domingos Rodrigues

FRITSCHER, E. C. **Análise de estabilidade de talude: estudo de caso na cidade de Teutônia/RS**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES. Orientador: Viviane Rocha dos Santos.

GAMA, C. D. (1994). **“Rock Mechanics – Models and Measurements – Challenges from Industry”**. Proceedings of the First North American Rock Mechanics Symposium, University of Texas at Austin, A.A. Balkema, Brookfield, Vermont, USA.

GIANI, G. P. (1992). **Rock Slope Stability Analysis**. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands.

GOMES, G. J. C. **Avaliação do Perigo Relacionado à Queda de Blocos em Rodovias**. 2009. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GOMES, G. J. C.; SOBREIRA, F. G. **Avaliação do Perigo de Queda de Blocos em Rodovias - Rockfall Evaluation in Highways**. Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ. Impresso), v. 35\_2, p. 14-27, 2013.

GOTO, K. (2012). **Desastres relacionados à sedimentação e contramedidas não estruturais no Japão**. Palestra proferida no evento Understanding Risk Brasil 2012. Belo Horizonte, nov. 2012.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. Ed. Edgard Blücher LTDA. São Paulo, 1993. 216 p.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1984. 194 p.

HIGHLAND, L. M. BOBROWSKY, P. 2008, **The landslide handbook—A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.

HOEK, E; BRAY, J. W. **Rock Slope Engineering**. Revista 3ª Edição, The Institution of Mining and Metallurgy, Londres, 1981.

International Society for Rock Mechanics, ISRM (1981). **Rock Characterization Testing and Monitoring**. E.T.Brown, 211 p.

International Society for Rock Mechanics, ISRM. 1983. **Método para descrição quantitativa de discontinuidades em maciços rochosos**. Trad. de: ISRM. **Suggested methods for the quantitative description of rock masses**. São Paulo: ABGE/CBRM 132p. (Trad. 12).

JAQUES, D. S. **Caracterização e classificação de maciços rochosos da mina de volta grande, Nazareno, Minas Gerais**. 2014. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa – UFV. Orientador: Enivaldo Minette.

KAPLAN, S.; GARRICK, B.J. (1981). **On The Quantitative Definition of Risk**. Risk Analysis, v. 1, n. 1, p. 11-27.

LAN, H., DEREK MARTIN, C., LIM, H. C. **RockFall analyst: a GIS extension for three-dimensional and spatially distributed rockfall hazard modeling**. Comput Geosci 33:262–279. 2007.

LONDE, P. R.; BITAR, N. A. B. **Importância do uso de vegetação para contenção e combate à erosão em taludes do lixão desativado no município de Patos de Minas (MG)**. Perquirere (UNIPAM), v. 8, p. 224-249, 2011.

LONGO, S.; GAMA, C. D. D. **Análise de risco aplicada à segurança dos taludes nas pedreiras**. Cegeo – Instituto Superior Técnico. Lisboa: Ponta Delgada, 2005. 8 p.

MANHAGO, S. R. **Técnicas de revegetação de Talude de Aterro Sanitário**. 2008. 18 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MESQUITA, J. B. de. **Maciços rochosos em projetos hidrelétricos: proposta de classificação geomecânica**. 2008. 269 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008. Orientador: José Alexandre de Jesus Perinotto.

MIRANDA, C. T. da S.; THEBALDI, M. S.; ROCHA, G. M. R. B. **Precipitação Máxima Diária Anual e Estimativa da Equação de Chuvas Intensas do Município de Divinópolis, MG, Brasil**. Scientia Agraria, v. 18, n. 4, p.9-16, 2017. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i4.49883>>. Acesso: 13/09/2019.

MOHAMAD, E. T.; ABAD, S. V. A. N. K. **Assessment on Blasting-Induced Rock Slope Instability at Johor, Malaysia**. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. v.16, p.357-374. 2011.

MOLK, M., POISEL, R., WEILBOLD, J., ANGERER, H. **Rockfall rating systems: is there a comprehensive method for hazard zoning in populated areas.** In: Proceedings of the 11th INTERPRAEVENT 2008 congress, vol 2, 26–30, Dornbirn (Vorarlberg), Austria. 2008.

NEVES, E. M (2002). **Breves Considerações Sobre Análises de Risco de Obras Geotécnicas em Portugal.** 8º Congresso Nacional de Geotecnia – A Geotecnia Portuguesa e os Desafios do Futuro, Volume 4.

NEVES, R. C. dos S. **Enquadramento das Análises de Riscos em Geotecnia.** 2006. 257 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia Para Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

PALMSTRÖM, A. (1995). **RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes.** PhD thesis, Oslo University, Norway, 400p.

PIERSON, L. A.; DAVIS, S. A.; VAN VICKLE, R. **Rockfall Hazard Rating System – Implementation Manual,** Federal Highway Administration (FHWA), Report FHWA-OR-EG-90-01, FHWA, U.S. Dep. of Transp. 1990.

PIERSON, L. A.; VAN VICKLE, R. (1993). Rockfall Hazard Rating System, Transportation Research Record N° 1343, National Research Board, Washington, D.C., pp 6-19.

PINOTTI, A. M.; CARNEIRO, C.D.R. **Geologia estrutural na previsão e contenção de queda de blocos em encostas: aplicação no Granito Santos, SP.** REVISTA TERRAE DIDATICA, v. 9, p. 132-168, 2015.

RITCHIE, A. M. **Evaluation of rockfall and its control.** U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Roads, and the Washington State Highway Commission. 1963.

ROMANA, M. (1985). **New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes.** International Symposium on the Role of Rock Mechanics. Zacatecas, pp. 49-53.

ROMANO, A. W. **Nota Explicativa da Folha Pará de Minas (SE. 23-Z-C-IV).** Programa Geologia do Brasil: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, v. 5. Edição 1, 2007.

SANTOS, A. E. M.; LANA, M. S.; SILVA, D. F. S.; SILVEIRA, L. R.; SALES, O. P. G.; SANTOS, T. B. **Caracterização geológica-geotécnica de maciços rochosos marginais à BR-262.** In: VIII Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas - SBMR 2018, 2018.

SANTOS, T. G dos. **Estabilidade de talude de escavação em mina de grafita.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Alfenas. Orientador: Ericlis Pimenta Freire.

SILVA, D. de F. S. da. **Avaliação do alcance de deslizamentos em função da geometria da encosta - estudo de caso: estrada de Ferro Vitória-Minas.** 2017. 193 f.

Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SILVA, O. C. A. **Análise da suscetibilidade a escorregamentos e as implicações da evolução do uso e cobertura do solo no município de Paraty, RJ.** Paraty, Rio de Janeiro, 2010. Universidade de São Paulo - Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.11606/d.44.2010.tde-06052010-105556>.

SILVEIRA, L. R. C. **Avaliação do Perigo de Queda de Blocos em Taludes Urbanos e Ferroviários e Simulação de sua Trajetória.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Milene Sabino Lana.

SOETERS R, VAN WESTEN C J (1996) **Slope instability recognition, analysis and zonation.** In Turner A K, Schuster R L (Eds.) *Landslides, investigation and mitigation.* Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A.: 129 -177.

TERZAGHI, K. 1967. **Mecanismo dos escorregamentos de terra.** Publ./ Escola Politécnica USP, 41pp., il. Transcr. Rev. Politécnica (167), jul./ago. 1952. Trad. E. Pichler. T. Orig.: **Mechanism of landslides.** 1950. Harvard, Dept. Eng., publ. (488):83-123. jan. 1951. (Harvard Soil Mechanics Series 36). Reimpr. por Eng. Geology (Berkey), Vol. Geol. Soc. Am., nov. 1950.

USGS. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides.** Highland, L.M., and Bobrowsky, P. (versão em português): Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular. GFDRR/World Bank. 1325, 129p. , 2008.

VARNES, D.J. **Landslides hazard zonation: a review of the principles and practice.** Internacional Association of Engineering Geology Commission on Landslides and other Mass Movements on Slopes. Natural Hazards, Series. Paris: United Nations Economic, Scientific and cultural organization. UNESCO. 1984.

WHITMAN, R. V. **Evaluating calculated risk in geotechnical engineering.** Journal of Geotechnical Engineering. New York: ASCE, v.110, n2, p.144-188. Feb. 1984. 17., Terzaghi Lecture.

ZANARDO, B. F. **Análise de estabilidade de talude em mina de bauxita.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Alfenas. Orientador: Ericlis Pimenta Freire.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração.** 1993. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993. (Tese de Livre-Docência).