



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA E PROPOSTAS DE  
ESTABILIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO DO MORRO DA FORÇA – OURO PRETO**

**Victor Prates Timo**

**MONOGRAFIA nº 334**

Ouro Preto, agosto de 2019



**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA E  
PROPOSTAS DE ESTABILIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO  
DO MORRO DA FORÇA – OURO PRETO**

---





## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas



# **MONOGRAFIA**

**Nº 334**

## **CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA E PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO DO MORRO DA FORÇA – OURO PRETO**

**Victor Prates Timo**

*Orientadora*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosyelle Cristina Corteletti

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2019/1.

**OURO PRETO**

**2019**

---

T585c Timo, Victor Prates.  
Caracterização geológica-geotécnica e propostas de estabilização do maciço rochoso do Morro da Força - Ouro Preto [manuscrito] / Victor Prates Timo. - 2019.

116f.: il.: color; tabs.

Orientadora: Profª. Drª. Rosyelle Cristina Corteletti.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia.

1. Geotecnia. 2. Taludes (Mecânica do solo) - Estabilidade. 3. Mecânica das rochas. I. Corteletti, Rosyelle Cristina. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624.137

Catálogo: [ficha.sisbin@ufop.edu.br](mailto:ficha.sisbin@ufop.edu.br)

BAREMA DE AVALIAÇÃO DO TCC				
TÍTULO DA MONOGRAFIA: <i>Caracterização Geológica Geotécnica e Propostas de Estabilização do Maciço Rochoso do Morro da Força, CP-116</i>				
NOME DO ALUNO(A): <i>Vitor Prates Lima</i>				
DATA: <i>15 / 08 / 2019</i>				
Itens de Avaliação da Monografia	PESOS	NOTAS		
		EX1	EX2	EX3
1- Apresentação pré-textual incluindo Resumo e Abstract	0,5			
2- Apresentação do tema (título, problemas, objetivos e justificativas)	1			
3- Materiais e Métodos	1,5			
4- Revisão de literatura e exposição do contexto geológico	2			
5- Apresentação dos dados: organização, qualidade e quantidade	2,5			
6- Discussão dos resultados e conclusões	2			
7- Referências Bibliográficas: Norma ABNT (NBR)	0,5			
Nota do Trabalho Escrito por Examinador				
Média do Trabalho Escrito (met)				
Itens de Avaliação da Apresentação Oral:	PESOS	NOTAS		
		EX1	EX2	EX3
1- Apresentação dos objetivos, da metodologia, dos resultados, da discussão e conclusão	3			
2- Domínio do conteúdo	5			
3- Adequação do material audiovisual e conteúdo	1			
4- Adequação ao tempo disponível	1			
Nota da Apresentação por Examinador				
Média da Apresentação (map)				
Item de Avaliação da Arguição		NOTAS		
		EX1	EX2	EX3
1- Desempenho na arguição				
Nota da Arguição por Examinador				
Média da Arguição (mar)				
NOTA (MÉDIA FINAL = 0,7*met + 0,1*map + 0,2*mar)		<i>9,0</i>	<i>9,0</i>	<i>9,0</i>
		<i>9,0</i>		
BANCA EXAMINADORA:				
Examinador(a) 1 - Presidente: <i>Rosyelle Cristiana Cortez Leite</i>				
Examinador(a) 2: <i>CHARLES ROMAZÃO MURTA</i>				
Examinador(a) 3: <i>Adivane Terezinha Josta</i>				

DECLARO PARA OS DEVIDOS FINS QUE todas AS CORREÇÕES SUGERIDAS PELA BANCA EXAMINADORA foram efetuadas.

ORIENTADOR (PRESIDENTE DA BANCA): *Rosyelle Cortez Leite*

DIA: *21/08/2019*



# DEDICATÓRIA

---

*À minha vó Leda que  
do início ao fim me apoiou.*



## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a toda minha família, que mesmo quando eu duvidei de mim mesmo nunca deixaram de confiar no meu potencial. Essa conquista é de vocês.

À minha vó Leda, símbolo de união e amor. A senhora sempre estará comigo, não importa onde for.

À minha mãe, Cynthia, minha musa inspiradora, exemplo de mulher batalhadora, muito obrigado pelo TUDO.

Às minhas tias, Káthia e Luiza, por sempre se fazerem presentes e essenciais, muito obrigado pela ajuda incondicional.

Aos meus irmãos Lucas, Felipe e Henrique, por demonstrarem que a distância nada abala a amizade. Vocês são o meu maior incentivo.

Às minhas primas Clara e Isabela, agradeço pela sorte de poder contar sempre com vocês.

Ao meu sobrinho, Theo, que chegou por agora, botando alegria e felicidade por onde passa.

Aos amigos que fiz em Ouro Preto. Hoje posso dizer que a irmandade 12.1 + Arregão é eterna.

Agradeço à professora Rosyelle, por todos os ensinamentos e paciência que foram necessários para a conclusão deste trabalho.

A UFOP, Escola de Minas, pelo ensino gratuito de qualidade.

A equipe de Geotecnia da Vale Complexo Mariana, por me iniciar nessa área pela qual me apaixonei.

Minha imensa gratidão à população ouro-pretana, por ter me acolhido por esses longos anos. Que esse trabalho seja uma forma de agradecimento e possa contribuir com essa linda cidade.

Por último, mas não menos importante, agradeço a Grandiosa República Bangalô, todos os ex-alunos e moradores que convivi. Aqui fiz uma segunda família e um porto seguro.

# SUMÁRIO

---

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>viii</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvii</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	25
1.2 ÁREA DE ESTUDO .....	26
1.3 OBJETIVOS.....	29
1.3.1 Objetivo geral.....	29
1.3.2 Objetivos Específicos.....	29
1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....	29
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	31
2.1 ROCHA BRANDA OU DE BAIXA RESISTÊNCIA.....	31
2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS BRANDAS .....	34
2.2.1 COMPRESSIBILIDADE.....	35
2.2.2 RESISTÊNCIA .....	35
2.2.3 INFLUÊNCIA DAS DESCONTINUIDADES .....	36
2.3 CLASSIFICAÇÕES GEOLÓGICAS .....	38
2.4 CLASSIFICAÇÕES GEOTÉCNICAS E GEOMECÂNICAS .....	40
2.5 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	47
2.6 TIPOLOGIA DOS MOVIMENTOS DE MASSA EM ENCOSTAS .....	50
2.6.1 QUEDAS .....	50
2.6.2 TOMBAMENTO .....	51
2.6.3 ESCORREGAMENTOS .....	51
2.6.4 CORRIDAS .....	54
2.6.5 RASTEJOS .....	55
2.7 FATORES QUE INFLUENCIAM OS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA .....	56
2.8 ANÁLISE CINEMÁTICA DOS ESCORREGAMENTOS.....	57
2.8.1 ESCORREGAMENTOS PLANARES.....	58
2.8.2 ESCORREGAMENTOS EM CUNHA .....	59
2.8.3 ESCORREGAMENTO POR TOMBAMENTO .....	60

2.9 ANÁLISE DE RISCOS .....	61
2.10 ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES .....	61
2.10.1 Medidas de Proteção.....	64
2.10.2 Medidas de correção.....	66
2.10.3 Medidas de Reforço.....	68
2.10.4 Ancoragens .....	71
2.10.5 Aplicar sistemas de drenagem .....	73
2.11 GEOLOGIA REGIONAL .....	74
2.12 GEOLOGIA LOCAL.....	75
3 METODOLOGIA .....	79
4 ANÁLISE DE RESULTADOS .....	85
4.1 ANÁLISE TEMPORAL.....	85
4.1.1 MACIÇO DO MORRO DA FORÇA.....	85
4.2 TRABALHO DE CAMPO .....	93
5 CONCLUSÕES.....	113
5.1 COMPORTAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DO MACIÇO ROCHOSO .....	113
5.2 PROPOSTAS PARA OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO .....	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1</b> - Localização da área de estudo. ....	27
<b>Figura 2</b> – Solar Baeta Neves. Fonte: Tavares (2018).....	28
<b>Figura 3</b> - Av. Vitorino Dias. ....	28
<b>Figura 4</b> - Critérios para definição do limite rocha e solo. Fonte: Rocha (1977). ....	32
<b>Figura 5</b> - Definição de rocha branda de acordo com a ISRM, 1978. Fonte: Pinho, 2003. ....	32
<b>Figura 6</b> - Comparação de limites de resistência propostas para rochas brandas e duras. Fonte: Hawkins, 1988.....	33
<b>Figura 7</b> - Disposição das rochas brandas em Geotecnia. Fonte: Pinho, 2003. ....	34
<b>Figura 8</b> - Compressibilidade para diversos materiais geológicos. Fonte: Pinho, 2003. ....	35
<b>Figura 9</b> - Influência da orientação das descontinuidades na resistência de uma ardósia. Fonte: Pinho, 2003.....	37
<b>Figura 10</b> - Influência da orientação das descontinuidades na resistência de uma argila estratificada. Fonte: Pinho, 2003. ....	38
<b>Figura 11</b> - Gênese das rochas brandas. Fonte: Dobereiner, 1984. ....	39
<b>Figura 12</b> - Evolução das classificações geotécnicas e geomecânicas. Fonte: Parizotto, 2015. ....	41
<b>Figura 13</b> - Classificação de Stapledon para materiais rochosos baseados nos valores de compressão uniaxial simples. Fonte: Parizotto, 2015. ....	42
<b>Figura 14</b> - Critério de Designação da Qualidade do Maciço Rochosos. Adaptado de Deere, 1984.....	44
<b>Figura 15</b> - Queda de blocos. Fonte: USGS, 2004. ....	50
<b>Figura 16</b> - Tombamento. Fonte: Nola, 2015. ....	51
<b>Figura 17</b> - Escorregamento rotacional. Fonte: USGS, 2004. ....	52
<b>Figura 18</b> - Escorregamento translacional ou planar. Fonte: USGS, 2004. ....	53
<b>Figura 19</b> - Escorregamento em cunha. Fonte: Tominaga, 2009.....	54
<b>Figura 20</b> - Corrida de detritos. Fonte: Tominaga, 2009. ....	55
<b>Figura 21</b> - Rastejo. Fonte: USGS, 2004.....	55
<b>Figura 22</b> - Rede de Schmidt. Fonte: Hoek & Bray, 1981. ....	57
<b>Figura 23</b> - Esquematisação do escorregamento planar. Fonte: Gonçalves (2014).....	58
<b>Figura 24</b> - Escorregamento planar na rede de Schimdt. Fonte: Hoek e Bray (1981).....	58
<b>Figura 25</b> - Esquematisação do escorregamento em cunha. Fonte: Gonçalves (2014). ....	59
<b>Figura 26</b> - Esquematisação do escorregamento por tombamento. Fonte: Gonçalves (2014).....	60
<b>Figura 27</b> - Ficha de campo para taludes urbanos de rocha. Fonte: Tavares, 2018. ....	62
<b>Figura 28</b> - Fluxograma da metodologia aplicada a estabilização de taludes rodoviários. Fonte: Gonçalves, 2014. ....	63
<b>Figura 29</b> - Esquema de uma vala de retenção. Fonte: Gonçalves, 2014. ....	64
<b>Figura 30</b> - Rede metálica de proteção. Fonte: Gonçalves, 2014. ....	65
<b>Figura 31</b> - Diminuição da inclinação do talude. Fonte: Oliveira (2010).....	66
<b>Figura 32</b> - Retirada da parte superior do talude para o pé do talude. Fonte: Oliveira, 2010. ....	67
<b>Figura 33</b> - Incremento no pé do talude. Fonte: Oliveira, 2010.....	67

<b>Figura 34</b> - Bancos e bermas em taludes de mineração. Fonte: Oliveira, 2010. ....	68
<b>Figura 35</b> – (A) Muro de alvenaria de pedra. (B) Muro de alvenaria de pedra com concreto. Fonte: Silva (2012). ....	69
<b>Figura 36</b> - Muro de concreto ciclópico. Fonte: Silva ,2012. ....	70
<b>Figura 37</b> - Muro de Gabião. Fonte: <a href="http://awacomercial.com.br/blog/o-que-e-gabiao/">http://awacomercial.com.br/blog/o-que-e-gabiao/</a> , Acesso em agosto de 2019. ....	71
<b>Figura 38</b> - Perfil de tirante em ancoragem passiva. Fonte: Oliveira, 2010.....	72
<b>Figura 39</b> – Perfil de um tirante ancorado. Fonte: Oliveira, 2010. ....	72
<b>Figura 40</b> - Sistemas de drenagem. Fonte: Oliveira, 2010.....	73
<b>Figura 41</b> - Esboço geológico da região de Ouro Preto. Fonte: Sobreira e Fonseca (2001). ....	76
<b>Figura 42</b> - Seção Geológica das principais unidades litológicas da cidade de Ouro Preto. Fonte CPRM (2016). ....	77
<b>Figura 43</b> - Talude da Rua Padre Rolim, exemplificando a sobreposição de itabiritos em filitos, favorecendo o escorregamento. Fonte: Tavares, 2018.....	77
<b>Figura 44</b> - Ficha de Campo. ....	81
<b>Figura 45</b> - Ficha de Campo .....	82
<b>Figura 46</b> - Morro da Forca 4 de setembro de 2011. ....	86
<b>Figura 47</b> - Morro da Forca 31 de agosto de 2012.....	87
<b>Figura 48</b> - Morro da Forca 5 de maio de 2013. ....	88
<b>Figura 49</b> - Morro da Forca 3 de maio de 2016. ....	89
<b>Figura 50</b> - Morro da Forca 16 de abril de 2017.....	90
<b>Figura 51</b> - Morro da Forca 9 de setembro de 2018. ....	91
<b>Figura 52</b> - Vista do Centro Histórico do topo do Morro da Forca.....	93
<b>Figura 53</b> - I) Filito avermelhado com foliação. II) filito castanho avermelhado alterado. III) filito prateado crenulado.....	94
<b>Figura 54</b> - Fratura dentada sem preenchimento (Setor 2).....	95
<b>Figura 55</b> - I) Escorregamento ocasionado pelo peso da água sobre o solo. II) Falta de sistema de drenagem. III) Talude negativo na crista da encosta. ....	96
<b>Figura 56</b> - Detalhe na necessidade de manutenção da infraestrutura no topo da encosta.....	97
<b>Figura 57</b> - Cicatriz de ruptura em cunha no setor 3 e atrás do Solar Baeta Neves. ....	98
<b>Figura 58</b> - Queda de blocos (Setor 1).....	98
<b>Figura 59</b> - Bloco instável no setor sul do maciço (Setor 5).....	99
<b>Figura 60</b> - I) Muro de arrimo com trinca indicando movimentação da encosta a montante. II) Embarrigamento no pé do muro (Fundo do Solar Baeta Neves). ....	100
<b>Figura 61</b> - Setorização do Morro da Forca. ....	101
<b>Figura 62</b> - Filito castanho avermelhado do setor 1 e 2. ....	102
<b>Figura 63</b> - Zona de transição do filito prateado para o filito castanho avermelhado. I) Corte em planta. II) Corte paralelo a orientação da foliação.....	103
<b>Figura 64</b> - Zoneamento do Morro da Fora em relação ao grau de alteração das rochas constituintes. ....	105
<b>Figura 65</b> - Rua Vitorino Dias, detalhe da foliação predominante com atitude N45W/40°SW. ....	106
<b>Figura 66</b> - Água cinza lançada sobre a face do talude.....	108

<b>Figura 67</b> - Muros de gravidade de pedra.....	109
<b>Figura 68</b> - Feição de trinca no muro de pedra indicando movimentação do talude. ....	109
<b>Figura 69</b> - Sinal de movimentação do talude com trincas no muro de cimento e nos drenos. ....	110
<b>Figura 70</b> - Detalhe para os instrumentos no talude úmido. ....	110
<b>Figura 71</b> - Contraforte com necessidade de manutenção. ....	111
<b>Figura 72</b> - Edificação na crista do talude alterado por processos erosivos. ....	112
<b>Figura 73</b> - Ferragens expostas as intempéries. ....	112



## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 1</b> - Critério de resistência estimado por meio do golpe de martelo a partir do URCS, Williamsom (1959). Fonte: Parizotto, 2015. ....	41
<b>Tabela 2</b> - Classificação geomecânica de Bieniawski (1989).....	43
<b>Tabela 3</b> - Resultado do cálculo do RQD. ....	45
<b>Tabela 4</b> - Classificação geomecânica de Romana (1985). ....	46
<b>Tabela 5</b> - Vantagens e desvantagens das classificações dos movimentos de gravitacionais de massa. Fonte: Nola, 2015. ....	48
<b>Tabela 6</b> - Tipos de movimentos gravitacionais de massa por Hungr, Lerouell e Picarelli (2014). Fonte: Nola, 2015. ....	49
<b>Tabela 7</b> - Estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Tavares (2018). ....	75



## Resumo

---

O presente trabalho teve como objetivo o estudo geológico-geotécnico do maciço rochoso do Morro da Forca, localizado no Centro Histórico da Cidade de Ouro Preto, no intuito de determinar parâmetros geomecânicos que pudessem auxiliar no projeto conceitual de estabilização da encosta. O maciço se encontra dentro da área tombada pelo Patrimônio Mundial Cultural, possuindo edificações de alto valor cultural a jusante de possíveis movimentos gravitacionais de massa.

Para a caracterização geológico-geotécnica, foram realizados levantamentos de campo, elaboração de uma ficha de campo para registro desses dados, caracterização das discontinuidades, classificação geomecânica do maciço rochoso, análise temporal das imagens de satélite, análise cinemática e análise de estabilidade do maciço.

Por fim, o trabalho propõe soluções conceituais de obras de estabilização do maciço rochoso de filito da Fm. Sabará.

Este trabalho faz parte do projeto de pesquisa intitulado “Identificação das áreas de risco no distrito sede de Ouro Preto/MG”, em uma parceria entre a Universidade federal de Ouro Preto (UFOP) com a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMDEC), no programa Amálgama Territorial de Ouro Preto.

**Palavras chave:** geotecnia, rochas brandas, movimentos gravitacionais de massa, estabilização de taludes.



## Abstract

---

The current work's objective was to study the geological-geotechnical behavior of the Morro da Forca rock massif, located in the Historic Center of Ouro Preto City, in order to determine geomechanical parameters that could help in the conceptual design of slope stabilization. The massif is within the area listed by the Patrimônio Mundial Cultural, having buildings of high cultural value downstream of possible mass gravitational movements.

For geological and geotechnical characterization, field surveys were performed, a field record was elaborated to record these data, discontinuities were checked, geomechanical classification of the rock mass, temporal analysis of satellite images, kinematic analysis and stability analysis of the massif.

Finally, the work proposes conceptual solutions of stabilization works on the phyllite rock mass from Sabará Formation.

This work is part of the research project entitled "Identification of risk areas in the Ouro Preto/MG headquarters district", in a partnership between the Federal University of Ouro Preto (UFOP) and the Municipal Coordination of Protection and Civil Defense (COMDEC), in the Territorial Amalgam program of Ouro Preto.

**Key words:** geotecnic, weak rocks, landslides, slope estabilization.



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A região conhecida como Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais, é caracterizada como uma região composta por rochas polideformadas, com alto grau de fraturamento e presença significativa de descontinuidades estruturais (foliações, lineamentos, famílias de fraturas, etc.) (Endo, 1997). Além disso, devido ao clima tropical úmido o intemperismo químico, acelera o processo de alteração das rochas, criando perfis de alteração em alta profundidade. Esse conjunto de características diminui a resistência dessas rochas, fazendo com que o estudo da estabilidade de taludes na região seja muito necessário.

A cidade de Ouro Preto se encontra dentro deste contexto geológico-geotécnico e destaca-se por possuir um quadro recorrente de fenômenos naturais denominados movimentos gravitacionais de massa, dentre eles os escorregamentos e queda de blocos. Tendo em vista que esses movimentos ocorrem dentro da área urbana, os escorregamentos podem afetar a população, comprometendo edificações, causando perda econômica e possivelmente humana para o município.

Como é comum no Brasil, as cidades não possuem uma ocupação urbana planejada. Devido ao rápido crescimento das cidades após a industrialização, muitos problemas sociais foram agravados, entre eles os acidentes naturais em encostas (Tominaga, 2009). No Distrito Sede, a ocupação de encostas nas áreas periféricas é comum, sendo na maioria das vezes áreas não estáveis, que não possuem as condições necessárias de construção.

O órgão responsável pela prevenção de acidentes e realização das ações necessárias para minimizar o perigo da população exposta aos movimentos gravitacionais de massa (MGM) dessas encostas é a Defesa Civil. No caso de Ouro Preto, a Coordenadoria Municipal de Ouro Preto através da Comissão Municipal de Proteção e Defesa Civil de Ouro Preto (COMPDEC) é responsável pela execução, coordenação e mobilização dessas ações. O COMPDEC possui registro de 807 áreas com evidências de movimentação. Dentro do Centro Histórico no Distrito Sede da cidade, tombada pelo Patrimônio Cultural da Humanidade, existem 33 áreas que foram afetadas por escorregamentos e são suscetíveis a novas movimentações.

A desestabilização dos taludes das encostas é a causa dos movimentos gravitacionais de massa (MGM). Para a prevenção desses movimentos é necessário o estudo desses maciços, na tentativa de melhor caracterizá-los, de forma a propor uma técnica de estabilização mais indicada para cada situação.

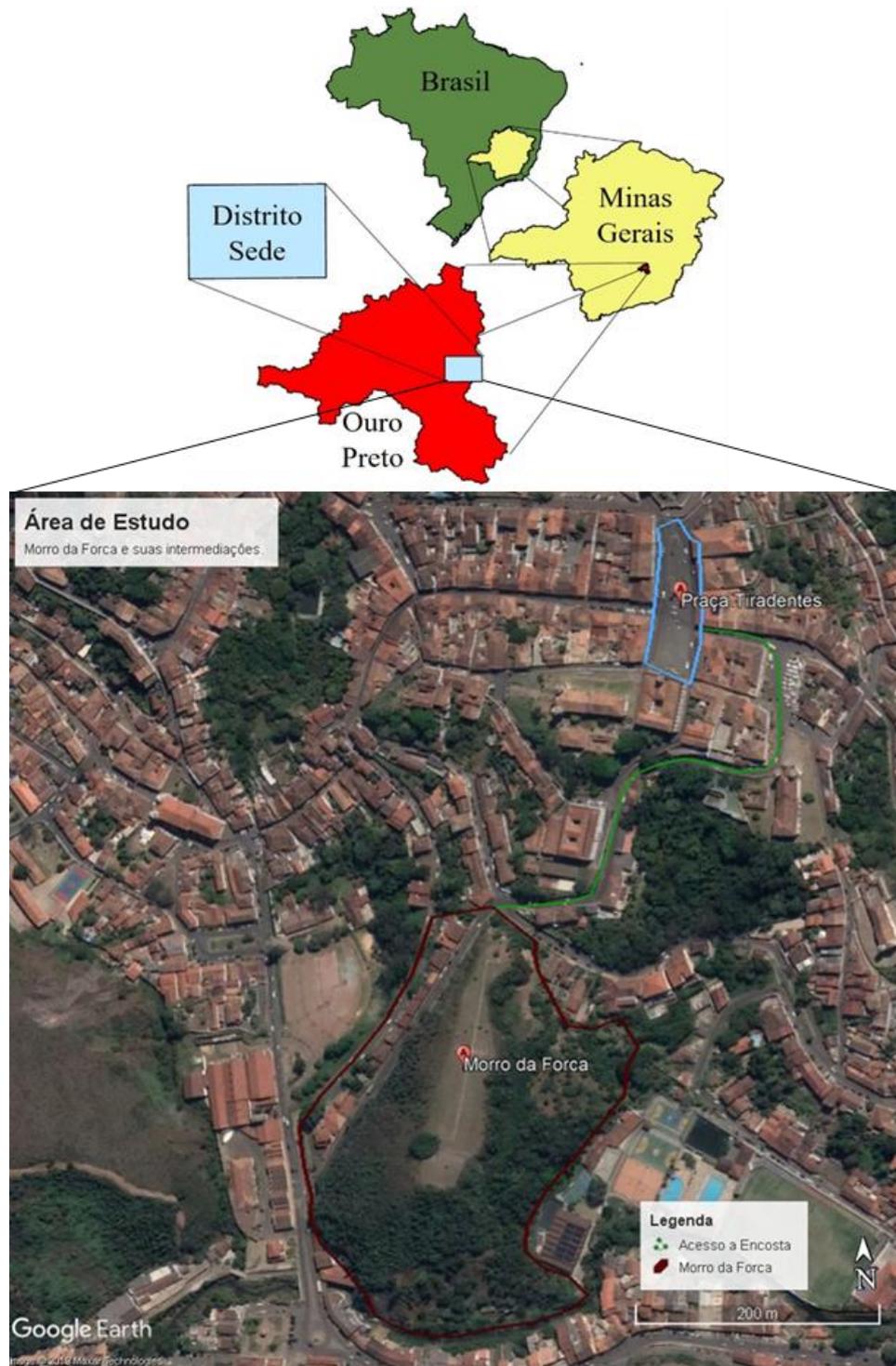
Este trabalho faz parte do projeto de pesquisa intitulado “Identificação das áreas de risco no distrito sede de Ouro Preto/MG”, em uma parceria entre a Universidade federal de Ouro Preto (UFOP) com o COMPDEC, no programa Amálgama Territorial de Ouro Preto.

## **1.2 ÁREA DE ESTUDO**

A área selecionada para o desenvolvimento deste estudo foi o Morro da Forca e suas intermediações. A área situa-se entre as ruas Xavier da Veiga, Pacífico Homem e Rua dos Inconfidentes, e é acessada pela praça Tiradentes, como pode ser visto na Figura 1. O maciço rochoso possui um perímetro de aproximadamente 1km e área de 0,1 km<sup>2</sup>, conforme imagem do Google Earth Pro®.

Segundo a Carta Geotécnica de Ouro Preto (Carvalho, 1982) o Morro da Forca é constituído por rochas da Formação Sabará, caracterizadas como rochas metassedimentares de variado grau metamórfico e alto grau de alteração.

Ao sul do Morro da Forca, na rua dos Inconfidentes é localizada a Praça da Estação, onde existe uma antiga estação ferroviária datada de 1888. Além disso também se encontra o casarão Solar Baeta Neves, adquirido em 1890 pela família Baeta Neves e tombado pelo Patrimônio (Figura 2).



**Figura 1** - Localização da área de estudo.

A Av. Vitorino Dias também foi uma área estudada no presente trabalho. Nessa rua se encontra uma rocha semelhante aos litotipos encontrados no Morro da Forca. A diferença entre essas duas áreas é a ocupação por edificações. Colaborando dessa forma para análise do

comportamento do maciço rochoso ao sofrer intervenções por edificações e obras de infraestrutura.



**Figura 2** – Solar Baeta Neves. Fonte: Tavares (2018).

No Morro da Forca as edificações estão a jusante de um possível movimento gravitacional de massa, não interferindo no topo do maciço. Já na av. Vitorino Dias, as edificações se encontram a montante de um possível movimento gravitacional de massa, induzindo a instabilidade.



**Figura 3** - Av. Vitorino Dias.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Este trabalho possui como objetivo principal, a análise geológico-geotécnica do maciço rochoso do Morro da Força, localizado no Centro Histórico da cidade de Ouro Preto. Nessa área está localizada o Solar Baeta Neves, edificação construída no final do século XIX pertencente ao órgão público tombada pelo Patrimônio. Através da caracterização geológica e caracterização geotécnica, o estudo propõe soluções para estabilização das encostas de acordo com as características do maciço rochoso.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Em acordo com o objetivo geral, os objetivos específicos podem ser listados da seguinte maneira:

- Caracterização geomecânica do maciço das encostas selecionadas;
- Elaboração de uma ficha de campo (FC) capaz de registrar a complexidade do maciço estudado de forma simples e prática, no intuito de facilitar e padronizar a coleta de dados, contribuindo para uma melhor tomada de decisão;
- Mapeamento geológico-geotécnico, visando a identificação de feições que indiquem os possíveis movimentos gravitacionais de massa da encosta;
- Classificação qualitativa do maciço, tendo em vista os principais sistemas de classificação geomecânica da bibliografia;

A análise de resultados tem como objetivo o indicar os parâmetros geotécnicos para a elaboração de um projeto de estabilização dessa área.

## **1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA**

A expansão urbana é um dos principais problemas sociais da cidade de Ouro Preto. Por estar situada entre dois vales, é comum a ocupação de encostas de forma desordenada, o que aumenta as chances de escorregamentos e quedas de blocos.

O presente trabalho justifica-se pela localização das duas encostas estudadas, ambas situadas no Centro Histórico da cidade de Ouro Preto, área tombada pela ONU como Patrimônio Mundial da Humanidade. Além da perda econômica e humana em caso de um movimento gravitacional de massa, na base dessas duas encostas são encontradas edificações construídas no século XIX, que possuem alto valor cultural.

Através do mapeamento geológico-geotécnico pode-se identificar as feições que possibilitam o movimento de massa nas encostas, visando estabelecer subsídios que possam colaborar na elaboração de um projeto de estabilização das encostas estudadas.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

#### 2.1 ROCHA BRANDA OU DE BAIXA RESISTÊNCIA

Pinho (2003) designa rocha de baixa resistência como material rochoso com fraca resistência à compressão uniaxial e cujo comportamento geotécnico os situa entre rochas duras e solos. No processo de formação de um solo, chamado de pedogênese, a rocha parental sofre alterações (desagregação e decomposição) até se tornar solo. Através do intemperismo, o material rochoso sofre variações em determinadas propriedades, tais como porosidade, índice de vazios, peso específico seco e, também, na resistência mecânica, com queda acentuada de coesão (Lopes, 2007).

Devido à alta variabilidade das características geológicas/geotécnicas das rochas brandas, a própria caracterização geotécnica e a previsão do comportamento desse tipo de material são difíceis. As rochas brandas podem ser definidas genericamente como materiais geológicos com características mecânicas deficientes, alta deformabilidade, baixa resistência e que se situam entre solos e rochas duras. Porém, nota-se claramente que a definição abrange uma grande variedade de rochas e solos com diferentes características. Por isso é muito difícil definir rocha branda, mais precisamente quando se trata do limite inferior das rochas brandas (Spink & Norbury, 1993 *apud* Pinho, 2003). Segundo Pinho (2003), o limite rocha-solo pode ser estabelecido usando critérios como a resistência, deformabilidade, porosidade, densidade e compressibilidade do material. Destes, o mais utilizado é a resistência a compressão uniaxial.

Rocha (1977) utilizando-se de vários ensaios e comparando os resultados, conclui que a resistência a compressão uniaxial e a coesão são os critérios mais utilizados para estabelecer o limite rochas e solos. Através da figura 4, pode-se concluir que materiais com coesão acima de 0,3 MPa e resistência à compressão uniaxial maior que 2,0 MPa são caracterizados como rochas.

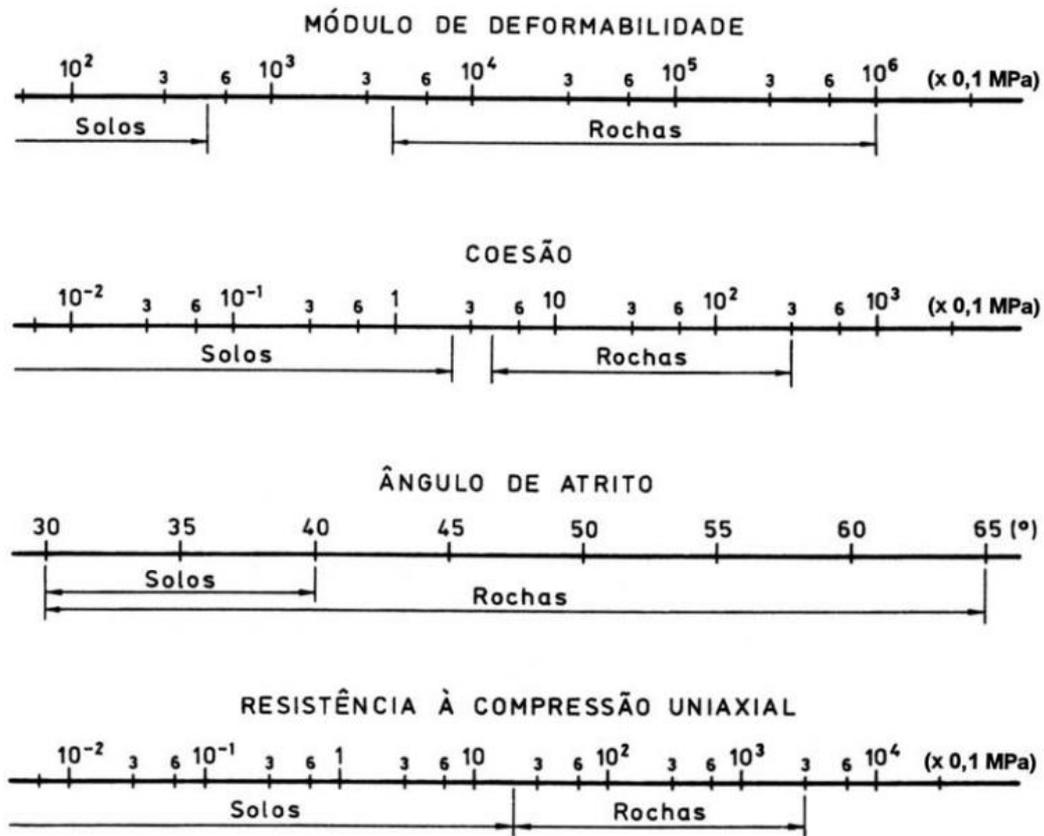


Figura 4 - Critérios para definição do limite rocha e solo. Fonte: Rocha (1977).

Já segundo a *ISRM* (1978), existe uma sobreposição na classificação quando utilizado o critério de resistência a compressão uniaxial, como pode se notar na figura 5.

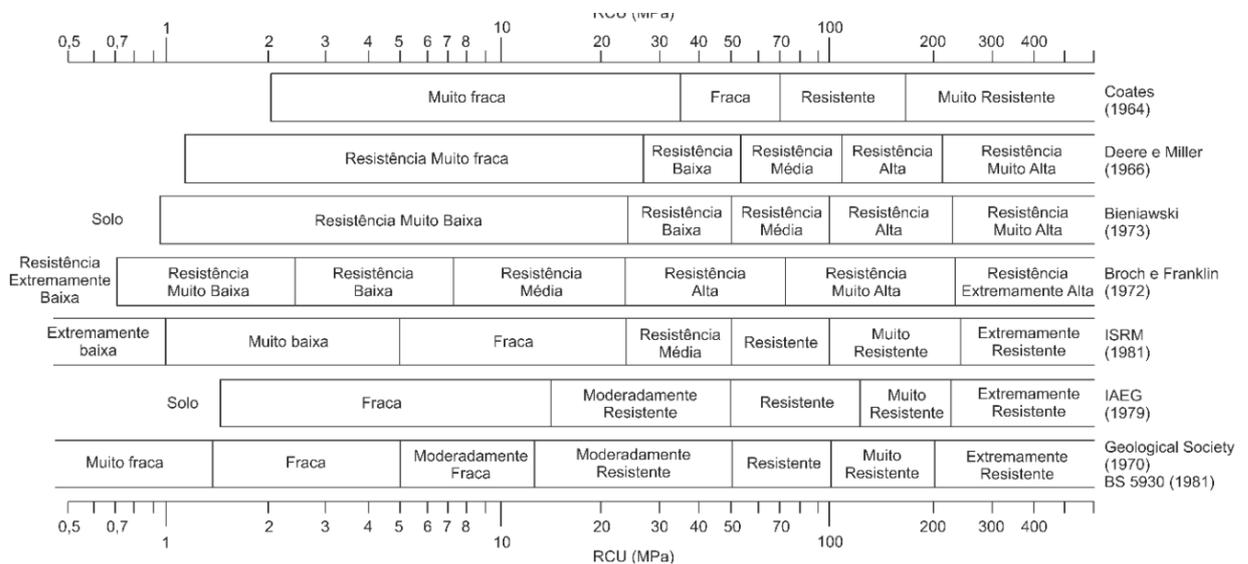


Figura 5 - Definição de rocha branda de acordo com a *ISRM*, 1978. Fonte: Pinho, 2003.

Essa sobreposição ocorre no intervalo de 0,25 a 1,0 MPa, caracterizado por solos rijos (até 0,5 MPa) e rochas extremamente brandas (até 1,0 MPa). Pinho (2003) também compara os valores de resistência a compressão uniaxial para o limite rocha/solo utilizado por alguns órgãos internacionais que tratam do assunto (Figura 6). Para o limite entre solo e rocha a *ISRM* (1981) adota o valor de 2,0 MPa, enquanto a *British Standart 5930* (1981) utiliza o valor de 0,6 MPa e a *IEAG* (1981) o valor de 1,25 MPa. Conclui-se que dependendo da classificação utilizada, uma rocha de resistência muito baixa pode ser caracterizada como rocha muito branda ou solo muito duro.

O território brasileiro é formado principalmente por rochas muito antigas. Essas rochas, por sua vez sofreram diversos eventos tectônicos ao longo do tempo, produzindo dobramentos e fraturas diversas. Aliado a esses eventos geotectônicos, o clima tropical úmido de grande parte do terreno propiciou a formação de rochas de muito baixa resistência em grande parte do país.

A percolação de água, além de aumentar as pressões neutras, também atua no sentido de promover a alteração do material, levando à diminuição da sua resistência e mesmo à mudança no mecanismo de ruptura (Pinheiro, 2014).

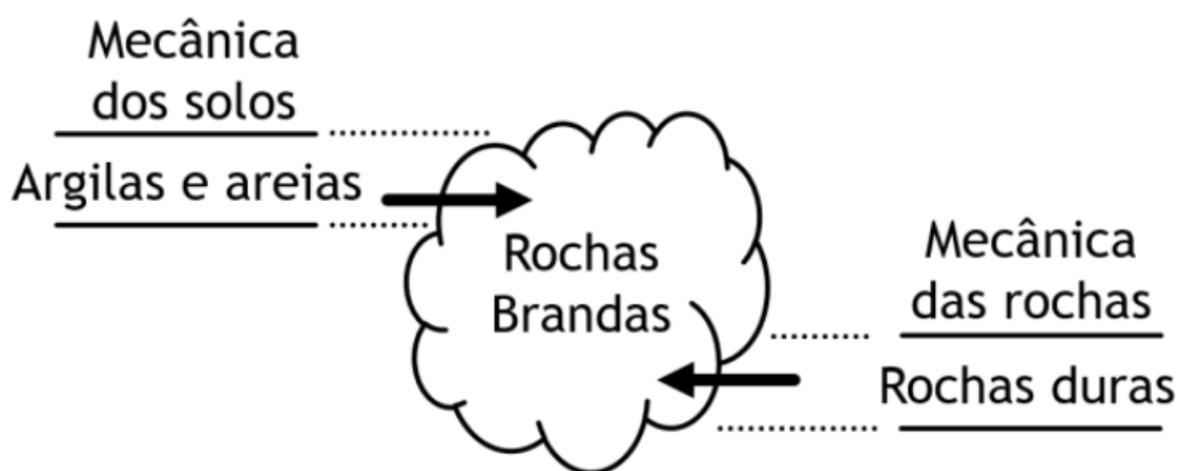


**Figura 6** - Comparação de limites de resistência propostas para rochas brandas e duras.  
Fonte: Hawkins, 1988.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS BRANDAS

As rochas e solos são os materiais que suportam as principais obras de engenharia ou mineiras. Também estão diretamente envolvidos nos acidentes advindos de escorregamentos, erosão, assoreamento, entre outros (Parizotto, 2015). Portanto, o estudo das rochas e solos possuem uma importante participação no orçamento e segurança de uma obra ou empreendimento.

Pinho (2003) pontua que a Geotecnia tem sido separada em três disciplinas distintas nos últimos quarenta anos: a mecânica dos solos, a mecânica das rochas e a geologia de engenharia. Quando a rocha se apresenta alterada a muito alterada, os limites de mecânica do solo e mecânica da rocha são extrapolados e dependendo da especialização do profissional que executa a caracterização, existe uma tendência na aplicação do conhecimento na classificação da rocha branda (Figura 7). Ainda Pinho (2003) exemplifica a problemática existente em situações em que os materiais de transição, tais como as rochas brandas estão envolvidos. Especialistas em mecânica do solo classificam rochas muito alteradas como solos duros, enquanto especialistas em mecânica das rochas classificam esse material em rochas brandas. Esse fato reside em que a rocha branda apresenta um meio mais descontínuo, mais resistente e mais frágil que um solo, embora é menos resistente e mais dúctil que uma rocha.



**Figura 7** - Disposição das rochas brandas em Geotecnia. Fonte: Pinho, 2003.

### 2.2.1 COMPRESSIBILIDADE

Pinho (2003) indica que a principal diferença entre solos e rochas se encontra no fato dos solos serem bem mais compressíveis que as rochas.

Essa propriedade está relacionada com a própria natureza da estrutura do material, que por sua vez está relacionada com o índice de vazios. Na figura 8, pode-se notar que o aumento do índice de vazios é proporcional a compressibilidade do material, quando este é exposto a uma tensão.

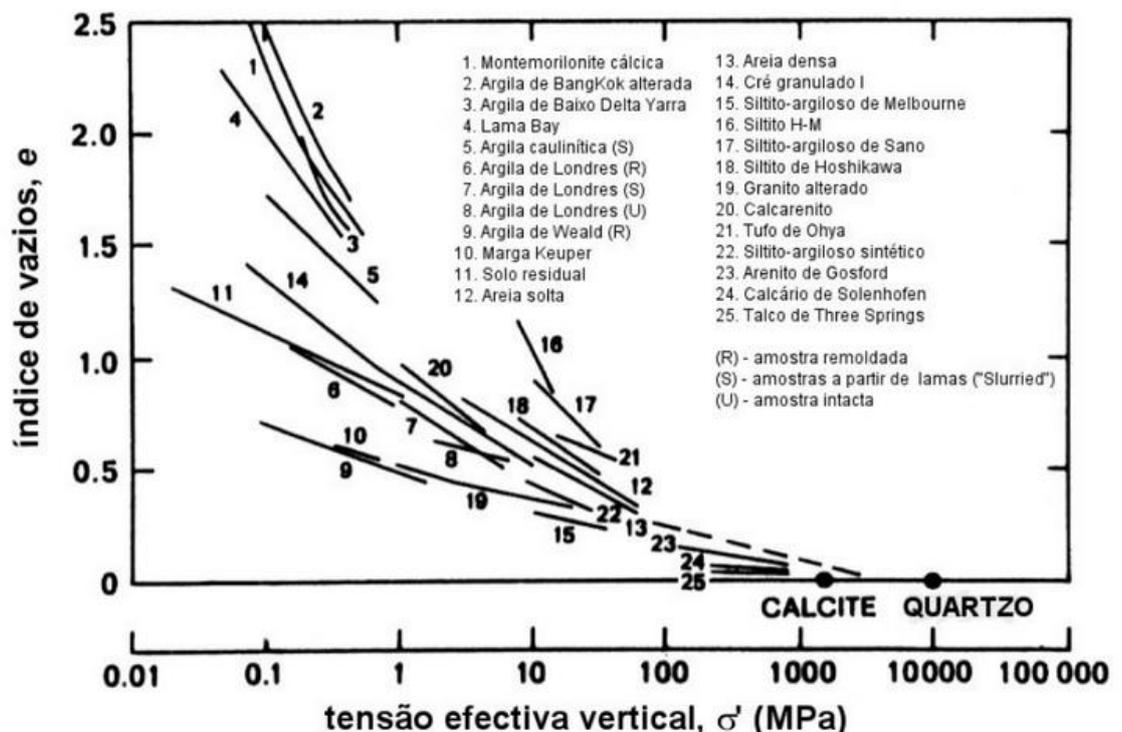


Figura 8 - Compressibilidade para diversos materiais geológicos. Fonte: Pinho, 2003.

### 2.2.2 RESISTÊNCIA

A resistência de um material é a capacidade de absorver a tensão sem sofrer deformação. Pinho (2003) compreende que as características que regem a resistência são muito semelhantes

nos solos e rochas. Como pôde ser visto no item acima, um maior número de índice de vazios resulta em um material de maior compressibilidade.

Um fator que têm efeito sobre a resistência é a poropressão. A poropressão é a resultante da pressão aplicada pela água nos espaços intersticiais da rocha. Pinho (2003) indica que nos solos, a poropressão é mais efetiva que nas rochas. Esse fato é devido ao índice de vazios ser maior em solos que em rochas brandas. Além disso, a compressibilidade na estrutura das rochas é comumente maior, diminuindo os espaços intersticiais. Portanto, normalmente a poropressão em rochas é muito menor que em solos.

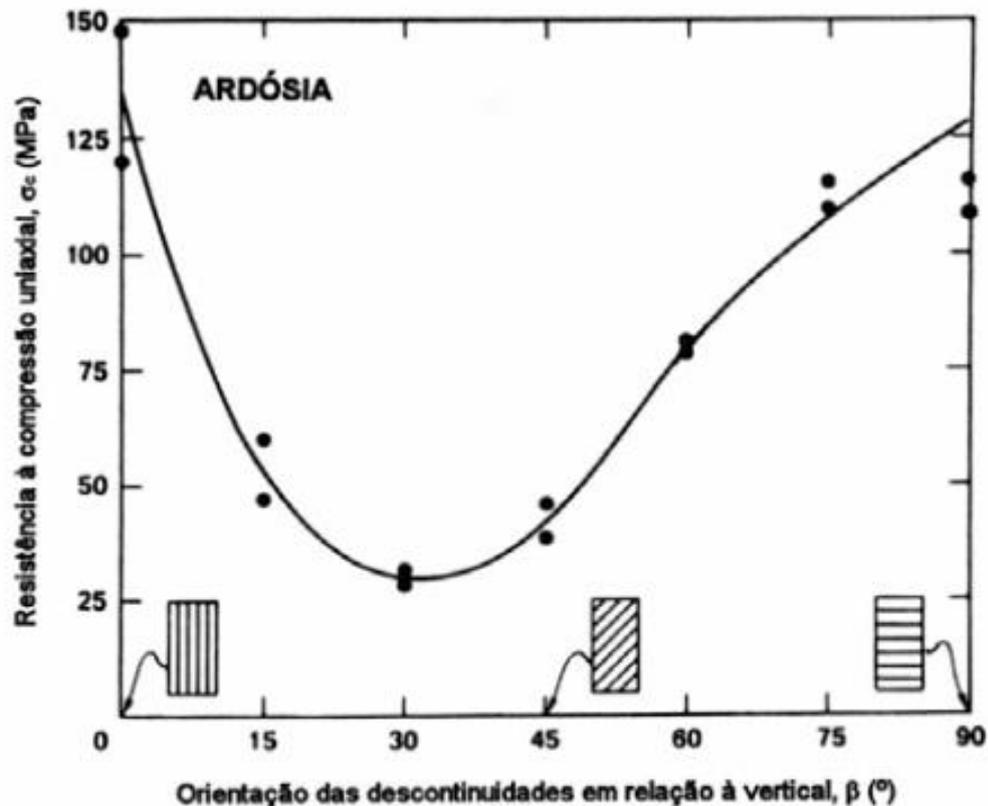
### **2.2.3 INFLUÊNCIA DAS DESCONTINUIDADES**

Pinheiro (2014) conceitua descontinuidades como quaisquer feições geológicas que interrompam a continuidade física de uma rocha intacta, ou seja, qualquer superfície natural em que a resistência é nula ou muito baixa. São exemplos de descontinuidades as fissuras microscópicas, fissuras macroscópicas, foliação, interstícios, falhas, diaclases, superfícies de estratificação, contato litológico, entre outras. Como pode ser observado, as descontinuidades existem em várias escalas, desde microscópicas (fissuras) até regionais (falhas).

Lopes (2003) indica que as descontinuidades podem ser totalmente responsáveis pela estabilidade do maciço rochoso, já que interferem em outras características de forma muito significativa tais como permeabilidade, compressibilidade e resistência. Por isso em classificações geomecânicas de maciços rochosos a descrição e caracterização das descontinuidades tem um papel muito importante.

Pinho (2003) exemplifica a importância de se fazer ensaios de compressão uniaxial em amostras com o maior volume possível. O autor descreve que ensaios com pequenos volumes, normalmente possuem um escasso número ou até mesmo a ausência das descontinuidades, fazendo com que a resistência medida pelo ensaio seja muito maior do que a resistência real daquele maciço rochoso. Já um volume maior, indica uma maior frequência e quanto mais próximas essas descontinuidades estiverem umas das outras, menor será a resistência do material.

Na figura 9 são apresentados os resultados de ensaios de compressão uniaxial numa amostra de ardósia, com diferentes orientações da xistosidade em relação à vertical. Nota-se que quando a orientação do ensaio faz 30° com a xistosidade, a amostra apresenta o seu valor mínimo de resistência à compressão.



**Figura 9** - Influência da orientação das descontinuidades na resistência de uma ardósia. Fonte: Pinho, 2003.

Já a figura 10, apresenta os resultados de ensaios de compressão uniaxial para uma argila estratificada. Nota-se que a orientação da descontinuidade em relação a vertical do ensaio apresenta também valores mínimos em 30°. Porém o valor de resistência a compressão uniaxial para a argila estratificada é menor em comparação a ardósia. Conclui-se que as descontinuidades possuem uma maior significância quando se tratando em resistência a compressão uniaxial em rochas do que em solos.

A maioria dos especialistas em geotecnia divide a caracterização das rochas e solos em três áreas distintas; a caracterização geológica, a caracterização geotécnica e a caracterização geomecânica (Parizotto, 2015; Pinho, 2003; Bieniawski, 1986).



Figura 10 - Influência da orientação das descontinuidades na resistência de uma argila estratificada. Fonte: Pinho, 2003.

### 2.3 CLASSIFICAÇÕES GEOLÓGICAS

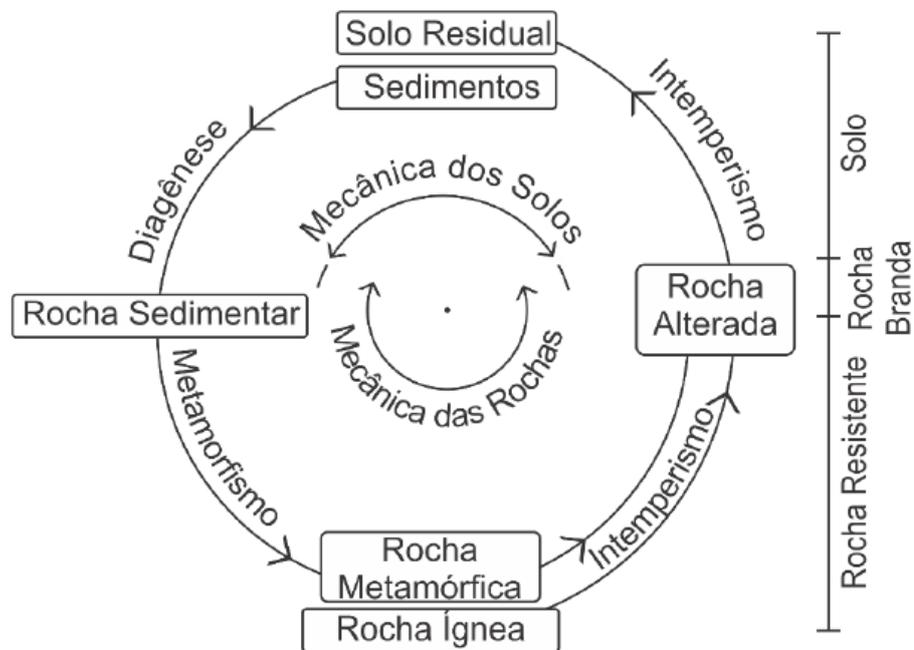
As classificações geológicas são baseadas nas propriedades físicas tátil-visuais das rochas tais, como estrutura, mineralogia, litologia, história e evolução geotectônica. Essas propriedades indicam o modo de formação e constituição mineral daquele material, podendo este ser classificado dentro do grupo de rochas magmáticas, metamórficas ou sedimentares. Como os solos são formados a partir de um material rochoso, muitas das vezes o solo é classificado como sua rocha parental.

As classificações geológicas para materiais de rochas brandas são raras. A mais utilizada é de Dobereiner (1984) que criou um diagrama (Figura 11) com a gênese de rochas brandas. Galván (1999) apud Parizotto (2015) conclui que podem ser divididos em dois grupos principais:

- I) Rochas sedimentares brandas: produto da ação de um ou vários processos de digenéticos (consolidação, compactação e cimentação) sobre detritos que, de forma

física ou química, foram depositadas numa bacia sedimentar. Para o caso das sedimentares detríticas, entende-se que a idade relativamente jovem, a ausência de uma quantidade apreciável de cimento, o tipo de cimento ou ainda o nível de tensões totais, não tenham conseguido levar a rocha a atingir um grau de resistência maior;

- II) Rochas alteradas: podem ser rochas ígneas, metamórficas ou ainda sedimentares resistentes que tenham sido submetidas a processos tectônicos ou ação intempérica. Quanto maior a ação dos processos tectônicos, maior será a facilidade com que os agentes climáticos e intempéricos degradem as rochas alteradas.



**Figura 11** - Gênese das rochas brandas. Fonte: Dobereiner, 1984.

Percebe-se que a classificação para rochas brandas de Dobereiner (1984) se utiliza da evolução geológica para determinação dos dois grupos.

Giambastiani (2014), divide as rochas brandas em rochas brandas primárias e secundárias (Quadro 1).

**Quadro 1** - Divisão das rochas brandas por Giambastini (2014). Fonte: Parizotto (2015).

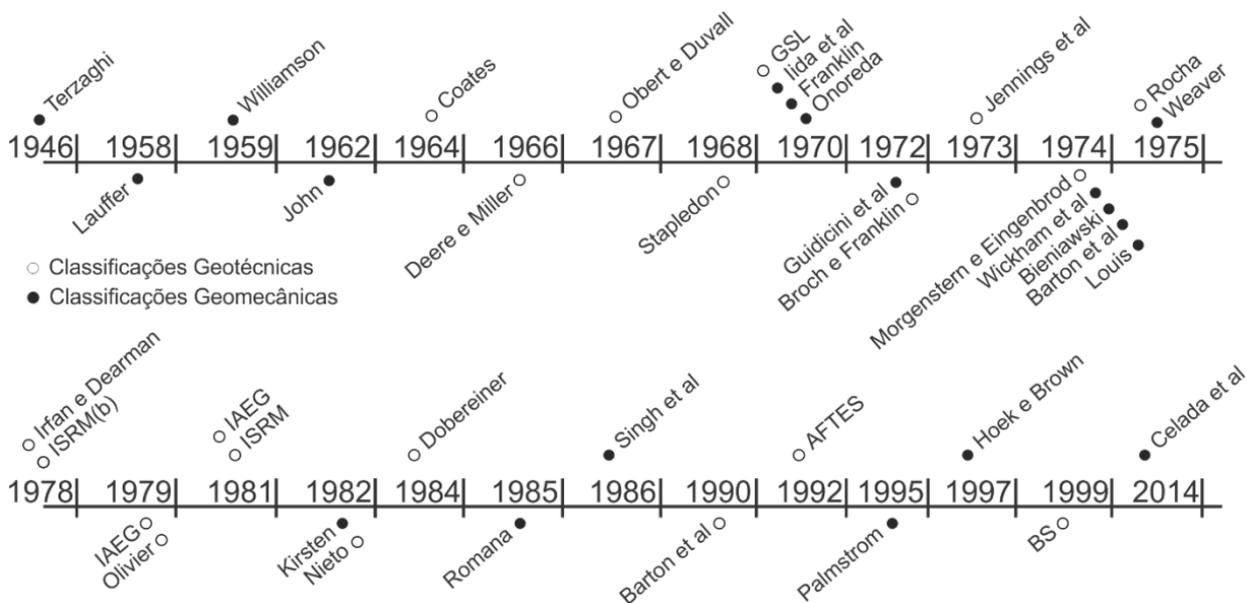
<b>Divisão</b>	<b>Subdivisão</b>
<b>A) Primárias</b>	I) Rochas sedimentares clásticas e piroclásticas de baixa a moderada compactação e litificação (arenitos, siltitos, argilitos, tufos, conglomerados, margas, etc.);
	II) Rochas sedimentares químicas formadas por minerais primários de dureza Mohs <3,5 (gesso, silvinita, halita, carnalita, calcários, etc.);
	III) Rochas metamórficas formadas por minerais de dureza <3,5, como os filitos, xistos, ardósias, compostas por clorita, mica, sericita, grafite, talco, entre outros, relacionados a baixos graus metamórficos
<b>B) Secundárias</b>	I) Incluem-se todas as rochas que passaram por processos de alteração físico-química devido ao intemperismo e/ou hidrotermalismo

Analisando o quadro é fácil notar que a classificação de Giambastiani (2014) se utiliza da origem da rocha como principal característica.

Porém podemos notar que mesmo a classificação de Dobereiner (1984) e de Giambastiani (2014) se utilizam de características que não são diretamente atuantes na resistência das rochas. Portanto, esses dois sistemas de classificação têm pouca importância em vista da classificação geotécnica de maciços rochosos.

## **2.4 CLASSIFICAÇÕES GEOTÉCNICAS E GEOMECÂNICAS**

Desde 1940 várias classificações geotécnicas e geomecânicas foram desenvolvidas (Figura 12) abordando maciços rochosos. A grande maioria das classificações foram elaboradas por autores e instituições localizadas em regiões de clima temperado. Isso fez com que os estudos fossem realizados em rochas sãs, devido ao baixo intemperismo químico existente nas zonas temperadas.



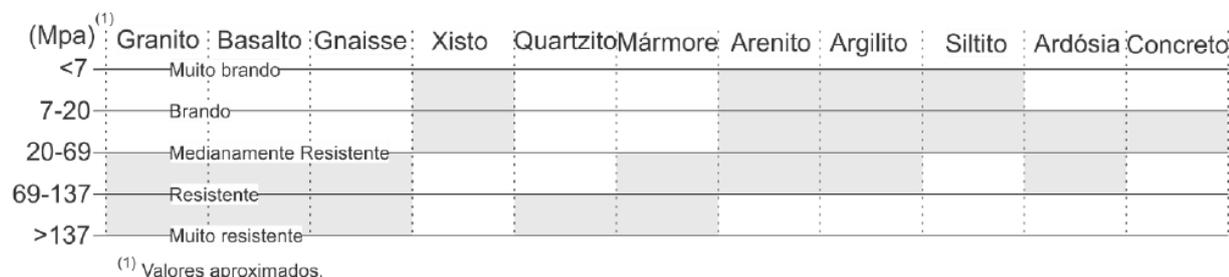
**Figura 12** - Evolução das classificações geotécnicas e geomecânicas. Fonte: Parizotto, 2015.

A classificação de Williamson (1988) foi desenvolvida em 1959 e 1960 nos Estados Unidos da América, onde ficou conhecida como URCS (Sistema Unificado de Classificação). Esta classificação se utiliza de quatro parâmetros: grau de alteração, resistência estimada, elementos lineares e planares e peso específico; além da identificação in situ das rochas em estudo. O interessante desta classificação é o fato de que para o teste de resistência estimada do material é utilizado um golpe de martelo de ponta esférica de acordo com a tabela 1. Podendo ser utilizado para uma avaliação qualitativa da resistência do maciço rochoso ainda no campo.

**Tabela 1** - Critério de resistência estimado por meio do golpe de martelo a partir do URCS, Williamson (1959). Fonte: Parizotto, 2015.

<b>Categoria</b>	<b>RCU (MPa e (psi))</b>	<b>Reação ao Golpe de Martelo</b>	<b>Característica Distintiva</b>
A	103 (15,000)	Rebote	
B	103 - 55 (15,000 - 8,000)	Rebote e perda de material	
C	55-21 (8,000 - 3,000)	Depressão	
D	21-7 (3,000 - 1,000)	Depressão e deslocamento	
E	<7 (<1,000)	Moldável	

A classificação de Stapledon (1970) introduz uma classificação que leva em conta a resistência a compressão uniaxial, de acordo com a Figura 13.



**Figura 13** - Classificação de Stapledon para materiais rochosos baseados nos valores de compressão uniaxial simples. Fonte: Parizotto, 2015.

Em resumo, as rochas brandas possuem de 20,0 a 7,0 MPa de resistência a compressão uniaxial enquanto as rochas muito brandas possuem valores menores de 7,0 MPa. Ocorre uma superposição no valor de resistência a compressão uniaxial em solos muito coesos em materiais com valores menores que 7,0 MPa (Parizotto, 2015).

A classificação de Rocha (1975) evolui em relação as supracitadas pois também leva em consideração o módulo de compressibilidade do maciço e da rocha intacta. O autor atribui o intervalo entre 2,0 e 20,0 MPa para resistência a compressão uniaxial para as rochas brandas. Além disso, Rocha (1975) demonstra também as diferenças de resistência dos maciços rochosos e as rochas intactas.

Debereiner (1984) apud Parizotto (2015) indica que as rochas brandas são melhor apresentadas no intervalo de 0,5 MPa até 20,0 MPa para resistência a compressão uniaxial. O limite inferior, de 0,5 MPa corresponde a valores de resistência de arenitos que quando saturados sob vácuo, não perderam sua estrutura. Já o limite superior de 20,0 MPa é resultado de amostras de arenitos ensaiadas à compressão triaxial que apresentaram ruptura associada a quebra de grãos em amostras das quais a resistência a compressão uniaxial superava os 20,0 MPa.

Bienawski (1986) formula uma classificação baseada na experiência em escavação de túneis, porém também é utilizada em taludes de rocha, mineração e fundações. O sistema de classificação, também conhecido como Sistema RMR (*Rock Mass Rating*), leva em considerações 6 parâmetros para classificação de maciço rochosos:

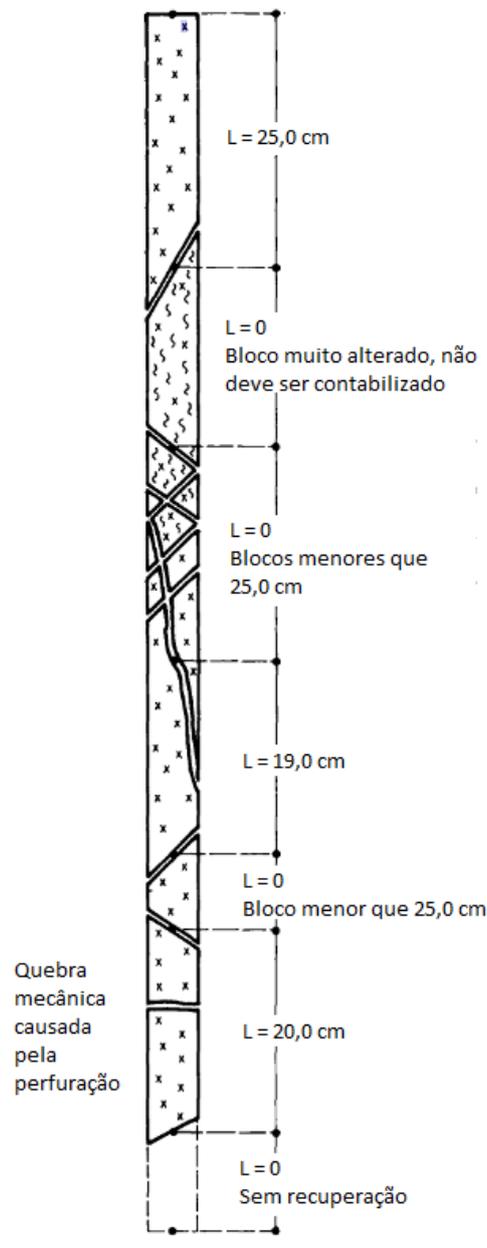
- 1) Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta;
- 2) RQD (*Rock Quality Designation*);
- 3) Espaçamento das descontinuidades;
- 4) Condições das descontinuidades;
- 5) Influência da água;
- 6) Orientação das descontinuidades (fator de correção).

A partir da soma das notas consideradas a esses seis parâmetros, pode-se chegar a uma classificação, de acordo com a tabela 2.

**Tabela 2** - Classificação geomecânica de Bieniawski (1989).

$\Sigma$ da nota dos parâmetros (RMR)	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Classe do maciço	I	II	III	IV	V
Descrição	Muito bom	Bom	Regular	Ruim	Muito Ruim
Coesão (Kpa)	> 400	400 - 300	300-200	200-100	< 100
Ângulo de atrito	> °45	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Entre os parâmetros apresentados para a o Sistema RMR deve-se conceituar o RQD. Deere (1984) indica que o RQD é a qualidade de testemunhos de sondagem. Basicamente, quanto maior a recuperação dos testemunhos durante a sondagem maior a qualidade da rocha em sondagem, como exemplificado na figura 14. Porém deve-se atentar para algumas considerações: blocos de rocha menores que 25,0 cm de comprimento, ou muito alterados não devem ser utilizados no cálculo do RQD; blocos que possuem mais de 25,0 cm de comprimento com quebras em 90° da direção da sondagem devem ser utilizados, pois esse tipo de quebra é devido ao processo de perfuração (*Mechanical break*).



**Figura 14** - Critério de Designação da Qualidade do Maciço Rochosos. Adaptado de Deere, 1984.

O cálculo é simples, soma-se o comprimento dos blocos com pelo menos 25,0cm de comprimento e divide-se esse valor pelo comprimento total da sondagem, de acordo com a equação abaixo.

$$RQD = \frac{\Sigma(\text{comprimento dos blocos} > 25,0 \text{ cm})}{\text{Comprimento Total da Sondagem}} \times 100\% \quad (I)$$

O resultado pode ser interpretado de acordo com a tabela 3.

**Tabela 3** - Resultado do cálculo do RQD.

Designação da Qualidade do Maciço Rochoso	Descrição da Qualidade do Maciço Rochoso
0 - 25 %	Muito Pobre
25 - 50 %	Pobre
50 - 75 %	Razoável
75 - 90 %	Bom
90 - 100 %	Excelente

De acordo com a equação (I) e a tabela 3, podemos classificar o exemplo da Figura 14 como razoável.

$$RQD = \frac{25,0+19+20}{122} \times 100\% = 52,45\%$$

Romana (1985) desenvolveu uma classificação que se baseia em dados de campo, sendo muito utilizada para taludes. Chamado de sistema SMR (*Slope Mass Rating*), este ajusta o resultado calculado pelo sistema RMR, através da soma de duas parcelas (Equação II).

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

É importante destacar que  $F1$ ,  $F2$  e  $F3$ , são parâmetros relativos a influência das descontinuidades, enquanto  $F4$  se relaciona ao método de escavação utilizado.

Segundo Romana (1985) apud Fernandes (2000):

- $F1$ : é dependente do paralelismo entre a atitude do talude e das descontinuidades. Pode variar de 1,00 (quando existe paralelismo) até 0,15 (quando o ângulo formado é maior que  $30^\circ$ , sendo muito baixa a possibilidade de ruptura);
- $F2$ : reflete a possibilidade de ruptura planar. É a uma medida da probabilidade de resistência ao cisalhamento. Pode variar de 1,00 (descontinuidades que

mergulham mais de 45°) até 0,15 (descontinuidades que mergulham menos que 20°);

- *F3*: refere-se a relação entre o mergulho do talude e o mergulho das descontinuidades, onde são mantidos os pesos originais propostos por Bieniawski (1989) de cada classe;
- *F4*: relaciona-se aos métodos de escavação do talude, empiricamente traduzidos o valor foi fixado para cada um dos métodos, como representado abaixo:

Taludes Naturais = 15,00;

Pré-fissuramento = 10,00;

Detonações suaves = 8,00;

Detonações normais = 0,00;

Detonações defeituosas = -8,00;

Escavações mecânicas = 0,00.

Através do estudo de caso de 31 taludes com diferentes graus de instabilidade, Romana (1985) propõe que as classes dos maciços, a condição de estabilidade e os tipos de ruptura mais recorrentes possuem correspondência com a técnica de estabilização de taludes, de acordo com a tabela abaixo.

**Tabela 4 - Classificação geomecânica de Romana (1985).**

Classe	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descrição	Muito Ruim	Ruim	Normal	Boa	Muito Boa
Estabilidade	Totalmente estável	Instável	Parcialmente estável	Estável	Totalmente Estável
Rupturas	Grandes rupturas por planos contínuos ou pela rocha	Planares ou grandes cunhas	Algumas planares ou muitas cunhas	Alguns blocos	Nenhuma
Tratamento	Retaludamento	Correção	Sistemático	Ocasional	Nenhum

A importância dessa classificação se torna a capacidade de quantificar a influência das descontinuidades na instabilidade de taludes.

## **2.5 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA**

Esta parte do trabalho tem por objetivo conceituar e exemplificar os principais Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM), caracterizando-os desde a tipologia até os fatores que permitem suas ocorrências.

O Brasil, por estar situado na região tropical, possui altos índices pluviométricos o que resulta em grande intemperismo químico. Essa grande quantidade de chuvas faz com que as rochas sofram alterações, produzindo solos que por sua vez possuem resistências mais fracas que suas rochas parentais.

Segundo Varnes (1978), o MGM é um fenômeno sob influência da força gravitacional terrestre. A gravidade, com sentido para baixo, desloca o material encosta abaixo produzindo o movimento gravitacional. O material que é deslocado pode ser rocha, solo ou uma combinação desses. Tominaga (2009) indica que a contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos.

Os movimentos de massa consistem em importante processo natural que atua na dinâmica das vertentes, fazendo parte da evolução geomorfológica em regiões serranas. Entretanto, o crescimento da ocupação urbana indiscriminada em áreas desfavoráveis, sem o adequado planejamento do uso do solo e sem a adoção de técnicas adequadas de estabilização, está disseminando a ocorrência de acidentes associados a estes processos, que muitas vezes atingem dimensões de desastres (Tominaga, 2007 apud Tominaga, 2009).

No presente trabalho não se objetiva uma atualização nos sistemas de classificação e caracterização dos movimentos de massa. Contudo, é de muita importância a compreensão e caracterização da tipologia desses movimentos, no intuito de utilizar os dados coletados em campo na previsão e remediação desses acidentes no centro histórico de Ouro Preto. Nola (2015) faz um resumo das principais classificações dos movimentos gravitacionais de massa, considerando as vantagens e desvantagens de cada uma delas (Tabela 5).

**Tabela 5** - Vantagens e desvantagens das classificações dos movimentos de gravitacionais de massa. Fonte: Nola, 2015.

<b>Tipo de classificação</b>	<b>Autores</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Básica	Sharpe	Número de processos; Associação velocidade/geologia	Difícil entendimento
Específica	Terzaghi	Detalhe de causas mecânicas de escorregamentos	Destaca fenômenos geológicos em termos meramente mecânicos
Adaptada	Magalhães Freire	Detalhada; Baseada em Sharpe e Varnes	Difícil entendimento
Específica	Nemcok	Modelos dos tipos	Não relaciona tipos e mecanismos
Básica	Zaruba e Mencl	Detalhada	Considera os tipos de movimentos basicamente em função do tipo de material, tornando-se restrita às condições locais semelhantes
Global	Varnes	Clareza; Subdivisões; Básica; Mais adotado mundialmente; Associação velocidade/ geologia	Não considera movimentos induzidos; Não apresenta correlações
Específica	Hasengawa	Atributos considerados	-
Adaptada	Sassa	Baseada em Varnes; Modelo dos mecanismos	Condições tectônicas e sísmicas diferentes do Brasil
Global	Hutchinson	Considera a origem natural ou induzida e processos correlatos; Mais completa	Classificação complexa
Específica	Yagi	Voltada para identificação e fotografia aérea	Baseada somente em <i>landforms</i>
Básica	Augusto Filho	Fácil entendimento; Fácil classificação em campo	Baseada em eventos ocorridos em uma região específica
Específica	Lansheng	Relações estruturais do maciço	Meio predominantemente rochoso
Específica	Antonie & Giraud	Detalhamento do terreno e litoestrutural	Não considera escorregamento em cunha
Global	Cruden e Varnes	Atualização dos conceitos relacionados a <i>landslides</i>	Não apresenta grande variações dos materiais
Global	Hungr, Leroueil e Picarelli	Subdivisões dos tipos de movimentos; Adição do material e da velocidade na descrição da classificação; Mais completa	Somente considera movimentos naturais

Devido a adoção por grande parte da comunidade científica e por organizações internacionais como a *United States Geological Survey* (USGS) e a *International Association for Engineering Geology and Environment* (IAEG), a classificação de Varnes (1978) e suas atualizações serão utilizadas no presente trabalho.

É interessante citar a classificação de Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) (Tabela 6), que atualizam a classificação de Varnes (1978) nas definições geotécnicas e geológicas dos materiais envolvidos. Outra mudança é a exclusão do tipo de movimento chamado complexo e a definição de 32 tipos de movimentos, todos consequentes dos 5 tipos da classificação de Varnes (1978) – quedas, tombamentos, escorregamentos, espalhamentos e fluxos (Nola, 2015).

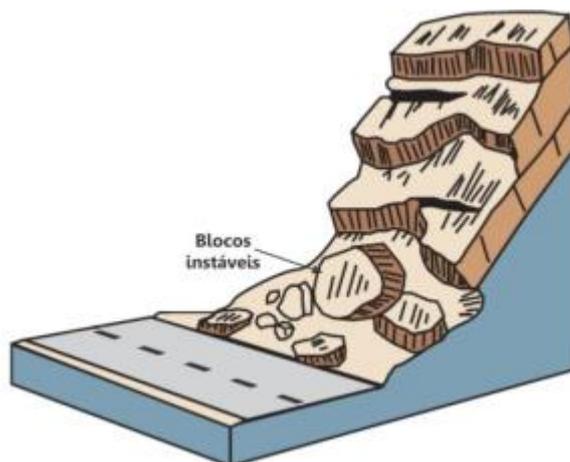
**Tabela 6** - Tipos de movimentos gravitacionais de massa por Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014). Fonte: Nola, 2015.

Tipo de movimento	Tipos de material	
	Rocha	Solo
Queda	Queda de rocha ou gelo	Queda de pedregulhos, detritos ou silte
Tombamento	Tombamento de blocos rochosos	Tombamento de cascalhos, areia ou silte
	Tombamento flexural de rocha	
Escorregamento	Escorregamento rotacional de rocha	Escorregamento rotacional de silte ou argila
	Escorregamento planar de rocha	Escorregamento planar de silte ou argila
	Escorregamento em cunha de rocha	Escorregamento de cascalhos, areia ou detritos
	Escorregamento composto de rocha	Escorregamento composto de silte ou argila
	Escorregamento irregular de rocha	
Espalhamento	Espalhamento de rocha	Espalhamento de areia ou silte por liquefação
		Espalhamento de argila sensível
Fluxo (escoamento)	Avalanche de rocha ou gelo	Fluxo de areia, silte ou detritos secos
		Fluxo de areia, silte ou detritos
		Fluxo de argila sensível
		Fluxo de detritos
		Fluxo de lama
		Inundação de detritos
		Avalanche de detritos
		Fluxo de terra
Fluxo de turfa		
Deformação da encosta	Deformação das encostas montanhosas	Deformação dos solos das encostas
	Deformação das encostas rochosas	Rastejo de solo
		Solifluxão

## 2.6 TIPOLOGIA DOS MOVIMENTOS DE MASSA EM ENCOSTAS

### 2.6.1 QUEDAS

Nola (2015) indica que são movimentos gerados por blocos de qualquer tamanho, que se desprendem da encosta íngreme sem que ocorra cisalhamento ao longo da superfície (Figura 15). Normalmente estão associados com materiais rochosos, porém podem ocorrer em rochas brandas ou até mesmo solo. O gatilho para que aconteça o movimento pode ser o intemperismo da parede, que faz com que o maciço perca a sustentação. Os blocos são deslocados em queda livre em movimentos que vão de lento a extremamente rápidos, por salteamento ou rolamento.



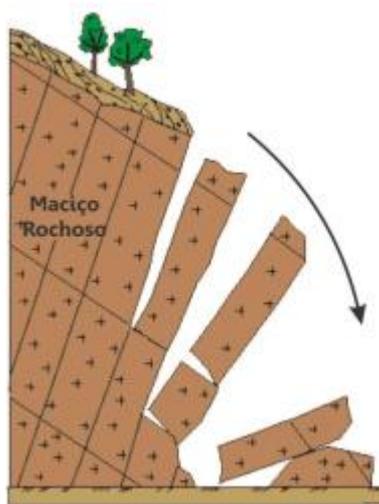
**Figura 15** - Queda de blocos. Fonte: USGS, 2004.

Em materiais com baixa coesão, tais como gelo e solo, a queda pode fazer com que o bloco se fragmente em pequenos blocos, gerando uma avalanche de gelo ou um movimento com maior volume de material.

## 2.6.2 TOMBAMENTO

Segundo Nola (2015), o tombamento caracteriza pelo movimento de rotação do material (solo, rocha ou uma combinação destes) que se desloca para frente do declive a partir de um ponto de apoio, geralmente situado na base do bloco (Figura 16). O gatilho para esse tipo de movimento pode ser a ação da gravidade, as forças exercidas pelos blocos vizinhos ou a presença de água nas descontinuidades.

O mecanismo pela qual acontece a ruptura, e por consequência o movimento em solo e rocha são iguais, porém em solos não existe a necessidade de descontinuidades horizontais, comumente associadas ao  $S_0$  das rochas (Hung, Leroueil e Picarellim 2014).



**Figura 16** - Tombamento. Fonte: Nola, 2015.

## 2.6.3 ESCORREGAMENTOS

Esse tipo de movimento ocorre em solos e rochas e é caracterizado pela deformação cisalhante que pode ocorrer ao longo de vários tipos de superfície. Normalmente os primeiros sinais de escorregamentos são fissuras na superfície dos maciços (Nola, 2015). Conforme Tominaga (2009) o movimento acontece quando a força gravitacional vence o atrito interno das partículas, responsável pela estabilidade, a massa de rocha e/ou solo movimentam-se encosta

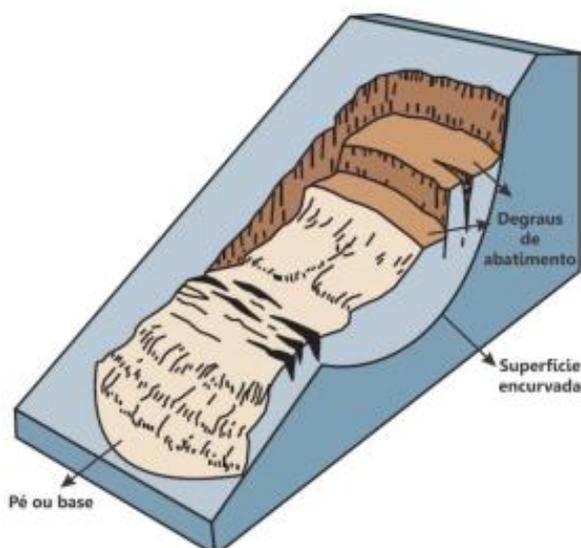
abaixo. A autora salienta que são os movimentos mais recorrentes na região sudeste e principalmente na Serra do Mar.

Levando em consideração a classificação de Hungr, Leroueuill & Picarelli (2014), os escorregamentos são divididos em rotacionais e translacionais. Ainda Hungr, Leroueuill & Picarelli (2014), subdividi os escorregamentos translacionais em planar, em cunha e composto.

Tominaga (2009) ainda divide os escorregamentos em rotacionais, translacionais ou planares, e em cunha, conforme a classificação de Vargas (1984). Para sua caracterização são levados em consideração a geometria e o material envolvidos no movimento.

### 2.6.3.1 ESCORREGAMENTOS ROTACIONAIS

Os escorregamentos rotacionais se dão quando o material se desloca a partir de superfícies de ruptura interna (Figura 17). Os planos formados pelas superfícies de ruptura interna, em conjunto com a ação da gravidade geram degraus de abatimento na superfície do acidente. Esse tipo de movimento é caracterizado por uma superfície de ruptura côncava (Figura 17). A ocorrência destes movimentos se dá principalmente em solos espessos e homogêneos, de composição argilosa, sendo muito comum em aterros e taludes artificiais, como os da atividade mineradora (Tominaga, 2009; Nola, 2015; Tavares, 2018).

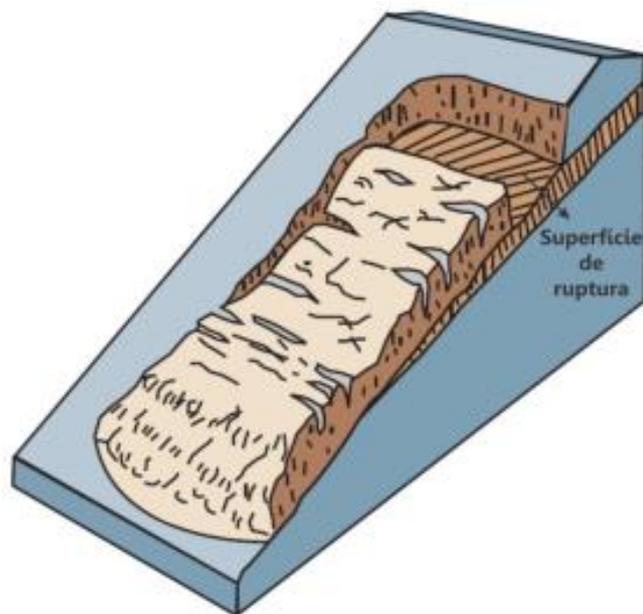


**Figura 17** - Escorregamento rotacional. Fonte: USGS, 2004.

### 2.6.3.2 ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS OU PLANARES

Os escorregamentos translacionais estão associados as discontinuidades presentes nos solos e rochas. São exemplos de discontinuidades: falhas, juntas, planos de acamamento, variações na resistência ao cisalhamento entre os estratos, xistosidades e plano entre zona drenada e zona não drenada do maciço (figura 18). O movimento se dá através dos planos de fraqueza; a massa se deforma enquanto desliza no sentido para fora e para baixo da encosta, com pouca ou nenhuma rotação (Nola, 2015).

Tominaga (2009) conclui que a morfologia dos escorregamentos translacionais se caracteriza por serem rasos (superfície de ruptura a 0,5 – 5m de profundidade) e possuírem maiores extensões no comprimento. O material transportado pode ser solo, rocha ou uma combinação dos dois. Além disso, dependendo da quantidade de água o movimento pode ser tratado como corrida. E geralmente a superfície de ruptura coincide com a interface solo-rocha, uma importante discontinuidade mecânica e hidrogeológica.



**Figura 18** - Escorregamento translacional ou planar. Fonte: USGS, 2004.

### 2.6.3.3 ESCORREGAMENTOS EM CUNHA

Os escorregamentos em cunha estão associados a regiões afetadas por diversos eventos geotectônicos. Nesse tipo de região, as diversas discontinuidades existentes dão as condições para esse tipo de movimento. Segundo Tominaga (2009), a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de interseção destes planos (figura 19). Esse movimento é comum em rochas, não possuindo deformação interna e é extremamente rápido (Nola, 2015).

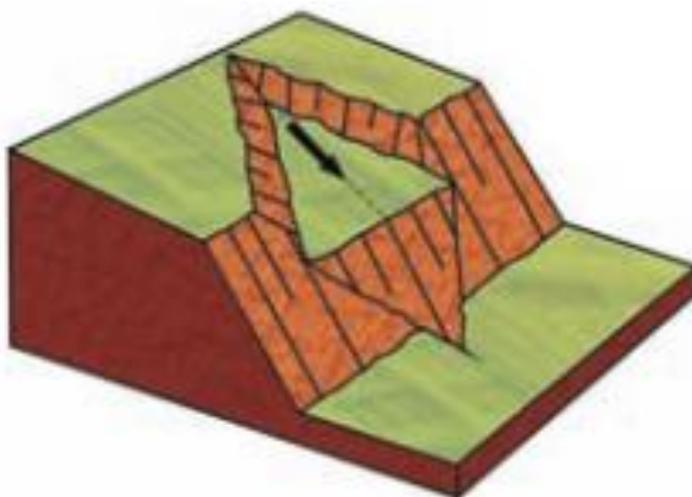
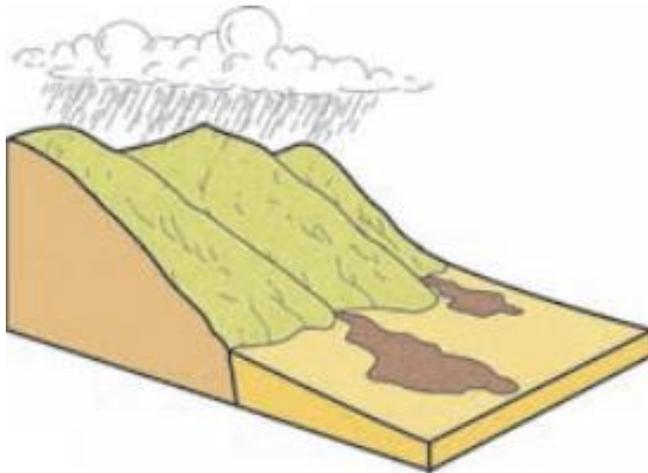


Figura 19 - Escorregamento em cunha. Fonte: Tominaga, 2009.

### 2.6.4 CORRIDAS

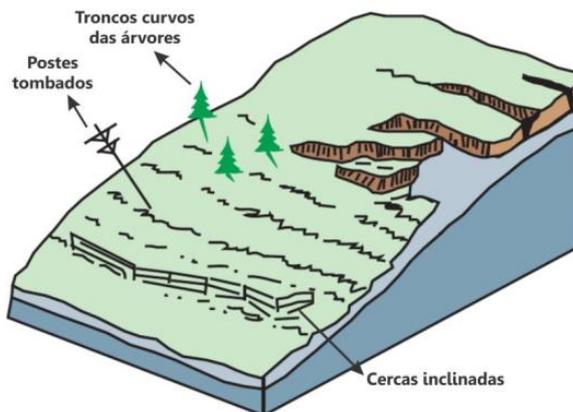
Esse tipo de movimento também pode ser denominado de escoamento ou fluxo (Tominaga, 2009; Nola, 2015). As corridas são caracterizadas pela presença de grandes quantidades de água. O movimento começa quando o material perde o atrito interno entre as partículas, devido ao excesso de água. Esse material é acrescido por solo, rocha e árvores durante o movimento, gerando uma massa com alta viscosidade e densidade que pode atingir altas velocidades, possuindo alto poder destrutivo (figura 20).



**Figura 20** - Corrida de detritos. Fonte: Tominaga, 2009.

### 2.6.5 RASTEJOS

O processo de rastejo e sua ocorrência estão associados a movimentos lentos e contínuos de material de encosta com limites indefinidos (figura 21). Os mecanismos que envolvem esse tipo de MGM são o inchamento e a contração do solo devido às variações de umidade e temperatura; a ação constante da gravidade; as chuvas, que por sua vez aumentam o peso do solo e conseqüentemente as tensões cisalhantes; e a redução da coesão do solo pelo aumento da umidade durante chuvas fortes. O processo de expansão e contração da massa de material, devido à variação térmica, provoca o movimento, vertente abaixo (Tominaga, 2009).



**Figura 21** - Rastejo. Fonte: USGS, 2004.

## **2.7 FATORES QUE INFLUENCIAM OS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA**

São diversos os parâmetros influenciadores dos movimentos gravitacionais de massa. Em sua maioria, estão associados com a geologia, geomorfologia, geotecnia, pedologia, cobertura do solo e ação antrópica. Varnes (1984) apud Nola (2015) divide esses parâmetros em fatores condicionantes e fatores deflagradores do movimento gravitacional de massa. Os fatores que produzem as alterações nos parâmetros são chamados de condicionantes e são divididos em predisponentes e deflagradores.

As causas básicas da instabilidade de vertentes, inclusive dos escorregamentos, são bem conhecidas. O que se procura sempre é alcançar, por meio do entendimento dos processos envolvidos, respostas às questões: por que ocorrem os escorregamentos, quando, onde e quais são os mecanismos responsáveis, permitindo assim uma predição da suscetibilidade (Tominaga, 2009).

Os principais fatores predisponentes são: condições geológicas, complexo morfológico, complexo climato-hidrológico, ação da gravidade, radiação solar, vegetação original. Ou seja, são as condições naturais do maciço, sem a ação antrópica.

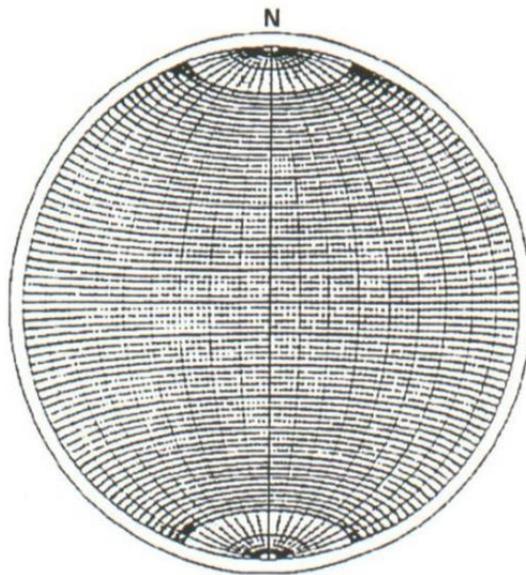
Os fatores efetivos são aqueles elementos que são diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa, podendo ser de origem natural e/ou antrópica. Alguns autores (Tavares, 2018; Oliveira, 2004) dividem os fatores deflagradores em fatores efetivos preparatórios e fatores efetivos imediatos.

São exemplos de fatores efetivos preparatórios: pluviosidade, erosão (água ou vento), congelamento, degelo, variação de temperatura, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível dos lagos e marés do lençol freático, ação humana e de animais, dissolução química (Tavares, 2018). Os fatores efetivos imediatos são os agentes que desencadeiam o movimento: chuvas intensas, fusão de gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento e ação antrópica etc.

## 2.8 ANÁLISE CINEMÁTICA DOS ESCORREGAMENTOS

Os movimentos gravitacionais de massa estão associados a instabilidade dos maciços rochosos. Como foi descrito acima, um dos principais fatores que possibilita os movimentos são as próprias características intrínsecas do material (ou materiais) que constituem o maciço: planos das descontinuidades, litologia, estado de intemperismo e condições hidrogeológicas. De acordo com essas características as rupturas podem ocorrer por deslizamentos ao longo de planos, por tombamentos e ainda por escorregamentos circulares em zonas com rochas muito alteradas (Gonçalves, 2014)

A análise cinemática dos movimentos de massa gravitacionais é o estudo que tem como objetivo identificar os possíveis mecanismos de ruptura de um maciço. De acordo com Gonçalves (2014), a análise cinemática é feita da seguinte maneira: são projetadas todas as atitudes das descontinuidades (direção, mergulho e caimento) do maciço, bem como as direções dos taludes do maciço em estudo numa rede de Schmidt (figura 22). Ressaltasse que para uma boa análise cinemática é necessário um a identificação visual em campo dessas descontinuidades.



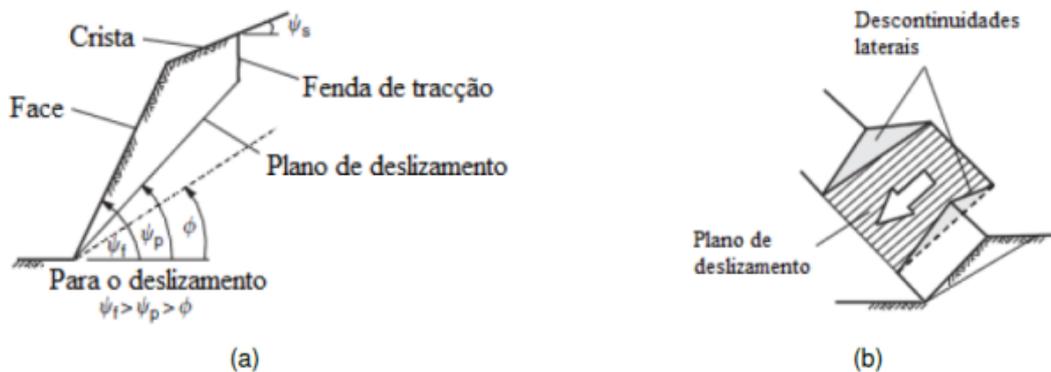
**Figura 22** - Rede de Schmidt. Fonte: Hoek & Bray, 1981.

### 2.8.1 ESCORREGAMENTOS PLANARES

Os escorregamentos planares ocorrem quando o maciço apresenta uma família de descontinuidades com alta penetrabilidade que mergulham na mesma direção que o talude (Figura 23).

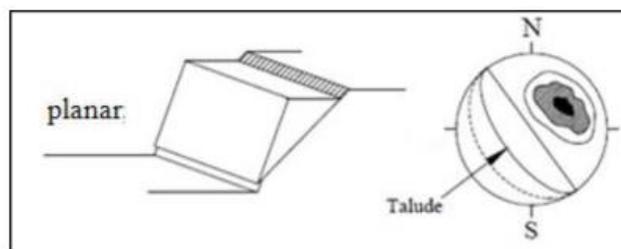
Hoek & Brown 1981 apud Gonçalves (2014) indicam que para a ocorrência do escorregamento planar, as seguintes condições devem ser levadas em conta:

1. A direção do plano de escorregamento (descontinuidade) deve estar paralela, com até  $\pm 20^\circ$  da direção do plano do talude;
2. O plano de escorregamento deverá interceptar o plano do talude, fazendo com que a inclinação desse plano seja inferior à inclinação do plano ( $\psi_p$ ) definido pela face do talude ( $\psi_f$ );
3. A inclinação do plano de escorregamento ( $\psi_p$ ) deve ser superior ao ângulo de atrito ( $\Phi$ ) do material que compõe o maciço.



**Figura 23** - Esquematização do escorregamento planar. Fonte: Gonçalves (2014).

Após levantamento de campo as atitudes do talude, das descontinuidades e o ângulo de atrito são projetadas na rede de Schmidt (Figura 24).



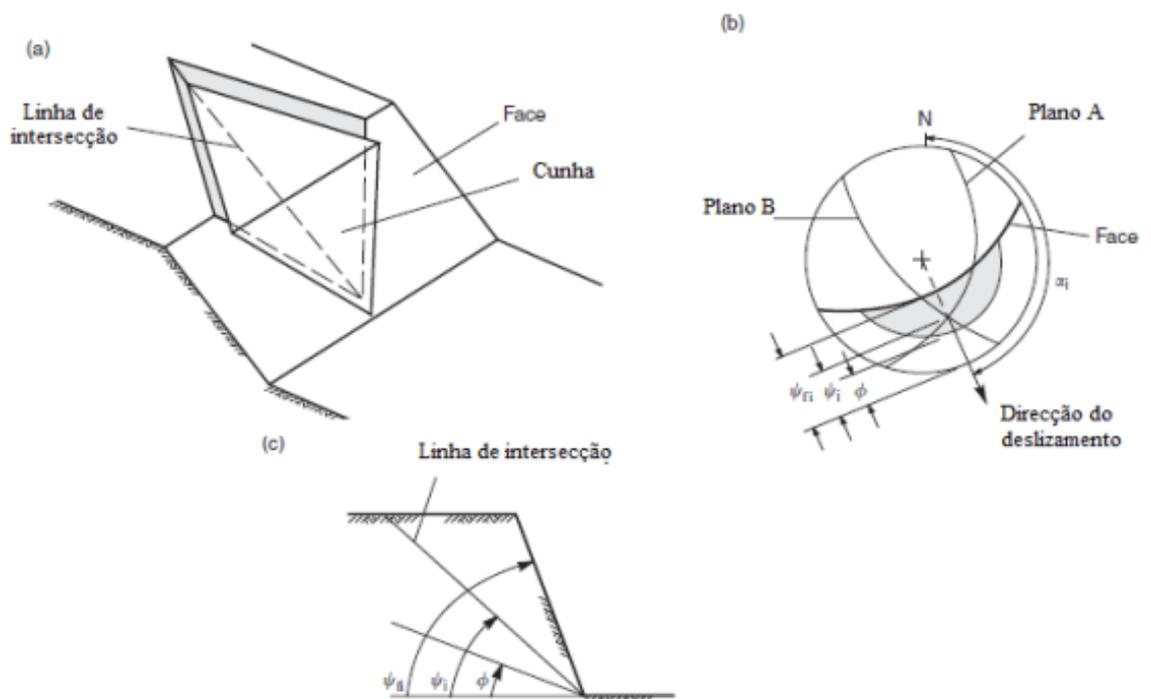
**Figura 24** - Escorregamento planar na rede de Schmidt. Fonte: Hoek e Bray (1981).

## 2.8.2 ESCORREGAMENTOS EM CUNHA

Os escorregamentos em cunha são caracterizados como o deslizamento de um bloco definido por duas famílias de descontinuidades, que se interceptam formando uma cunha. Normalmente o escorregamento em cunha está associado a maciços que possuem várias famílias de descontinuidades, das quais a orientação, espaçamento e continuidade determinam as dimensões da cunha (Gonçalves, 2014).

Hoek & Bray (1981) apud Gonçalves (2014) indicam que para que ocorra o escorregamento em cunha, são necessárias três condições:

1. A linha de interseção formada pelas descontinuidades deve interceptar o plano da face do talude e possuir inclinação inferior ao plano da face do talude;
2. A inclinação da linha de interseção entre as descontinuidades deve ter um valor inferior ao ângulo de atrito do plano de escorregamento;
3. As superfícies de deslizamento deverão interceptar-se ou aflorar no talude.



**Figura 25** - Esquemática do escorregamento em cunha. Fonte: Gonçalves (2014).

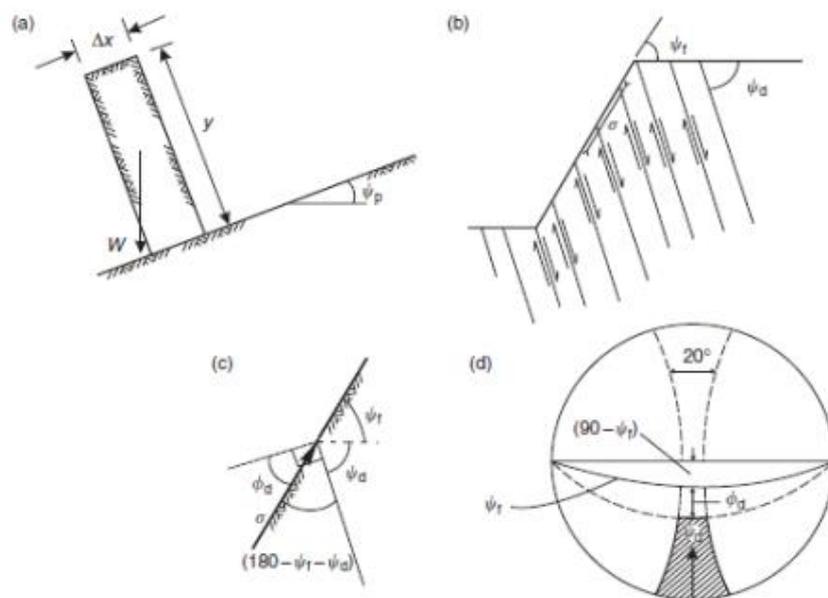
Como pode ser visto na figura 25, os parâmetros que devem ser considerados para a avaliação do escorregamento em cunha são, atitude do talude, da cunha e o ângulo de atrito.

### 2.8.3 ESCORREGAMENTO POR TOMBAMENTO

Os escorregamentos por tombamento ocorrem devido a descontinuidades subverticais com inclinação de sentido contrário ao da face do talude. Como pode ser visto na figura X, os blocos são seccionados por um sistema de descontinuidades ortogonais. Hoek & Bray (1981) apud Gonçalves (2014) indicam três condições para que ocorra o escorregamento por tombamento:

1. Maciço rochoso competente;
2. Uma família de descontinuidades com inclinação próxima a subvertical para dentro da face do talude, criando colunas extensas;
3. Uma segunda família de descontinuidades, ortogonal à anterior e à face do talude.

Os parâmetros que devem ser levados em conta na verificação desse tipo de movimento são as atitudes do talude e das descontinuidades (Figura 26).



**Figura 26** - Esquematização do escorregamento por tombamento. Fonte: Gonçalves (2014).

## **2.9 ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES**

Neste capítulo serão revisadas algumas técnicas de estabilização de taludes. Essas técnicas têm por finalidade a manutenção, reabilitação e/ou redução do grau de risco de uma potencial movimentação do maciço (Gonçalves, 2014).

Segundo Oliveira (2010), as medidas estabilizadoras têm como objetivo combater o aumento das forças desestabilizadoras através do aumento das forças estabilizadoras.

Quando um talude se encontra instável, ou ainda, suas características apontam para uma ruptura iminente, deve-se adotar uma metodologia que permita caracterizar a possível causa/efeito da instabilidade, para que com essas informações seja possível a utilização de alguma técnica para estabilização. Com a ajuda de uma ficha de registro de campo, os principais elementos do talude e da possível causa/efeito da instabilidade podem ser registrados. É muito importante a elaboração de uma ficha de campo que seja condizente com as características geológicas-geotécnicas do maciço e do local a ser estudado. Um bom exemplo de ficha de registro de campo pode ser visto na figura 27 (Gonçalves, 2014).

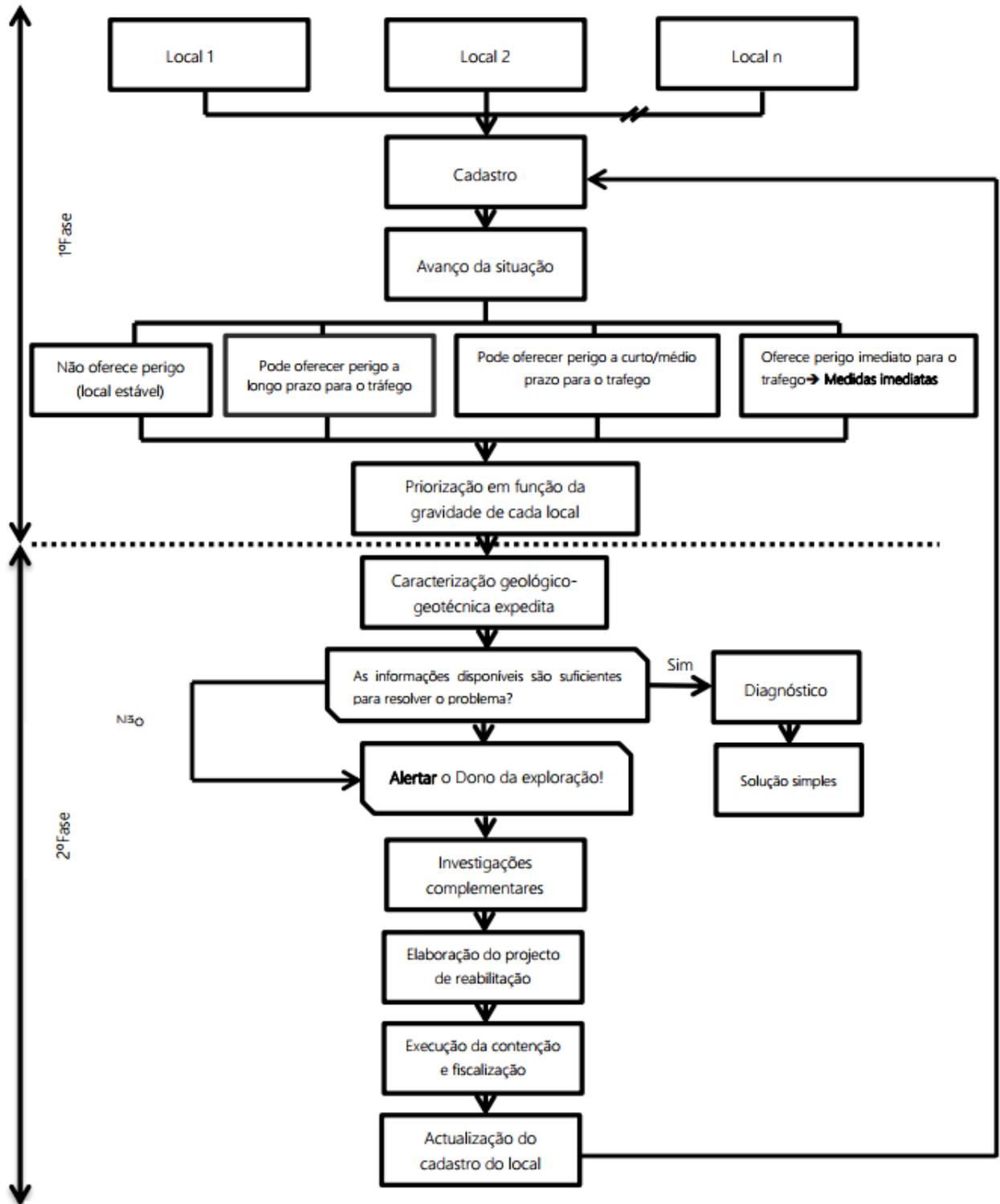
Oliveira (2010) afirma que para uma avaliação do potencial de ruptura de um maciço, deve-se obter o comportamento geológico e geomecânico dos materiais que formam o talude; os possíveis mecanismos de ruptura; e os fatores que influenciam, condicionam e desencadeiam os movimentos gravitacionais de massa; no intuito de atribuir a melhor medida estabilizadora para o talude em estudo.

Gonçalves (2014) também cita que a metodologia a ser implementada deve conter também o trabalho desenvolvido no escritório, do qual possam ser identificadas as soluções para estabilização do talude do ponto de vista técnico e econômico. Nesse sentido, um exemplo da metodologia é apresentado no fluxograma da figura 28 para taludes rodoviários. A aplicação desta metodologia permite obter mais informações sobre o talude em estudo e identificar a melhor técnica de estabilização a ser utilizada.

Gonçalves (2014) divide as técnicas de estabilização de taludes em três categorias: medidas de proteção, correção, reforço e drenagem. Neste trabalho serão adotadas a mesma divisão.

 <b>FICHA DE CAMPO PARA TALUDES URBANOS - FCTU (ROCHAS)</b>	
Setor: _____ Data: _____ Ponto: _____ Clima: _____ Coordenadas: X: _____ Y: _____ Azimute: _____ Altitude: _____ Talude: _____ Foto: _____ Responsável: _____	
Descrição Geral da Ocupação da área: ( ) Baixa ( ) Média ( ) Elevada / ( ) Controlada ( ) Inexistente	
Cobertura Vegetal do Talude ou Encosta:	Sem cobertura vegetal (solo exposto).
	Rasteiras composta por gramíneas, musgos, líquens e pequenos arbustos distantes uns dos outros.
	Arbustiva composta de plantas de caule macio ou maleável.
	Mata composta por cobertura de plantas silvestres de portes diversos.
Altura do talude ou Encosta Natural:	H ≥ 15 m
	10 ≤ H < 15 m
	5 ≤ H < 10 m
	H < 5 m
Inclinação do talude ou encosta:	i > 60 °
	45 ° ≤ i < 60° (Não permitido ocupação)
	30 ° ≤ i < 45° (Permitido com laudo Geotécnico)
	i < 30 ° (Permitido ocupação)
Altura do Talude (Corte / Aterro):	< 10 m
	10 m à 20 m
	20 m à 30 m
	> 30 m
Extensão do talude ou Encosta:	C ≥ 135 m
	90 ≤ C < 135 m
	45 ≤ C < 90 m
	C < 45 m
Distância de Residências até a Crista/ Pé do Talude ou Encosta:	D < 1 m
	1 ≤ D < 5 m
	5 ≤ D < 10 m
	D > 10 m
Distância entre Trincas e Crista do Talude ou Encosta:	L > 200 cm
	150 ≤ L < 200 cm
	100 ≤ L < 150 cm
	L < 100 cm ou inexistente
Erosão:	Voçorocas ou Ravinas.
	Sulcos ou Ravinas.
	Laminar.
	Inexistente.
Linha de Drenagem Natural:	Dentro área analisada - Talvegue.
	Dentro área analisada - Caminhos preferenciais
	Na margem da área analisada
	Fora da área analisada.
Estruturas afetadas em caso de ocorrência de evento:	Residências
	Estrada de acesso.
	Canaleta de drenagem
	Rodovia.
Infraestrutura urbana	Inexistente
	Baixa - apenas saneamento básico (SB)
	Média - SB, Drenagem Pluvial (DP) e Luz
	Alta - Infraestrutura urbana completa
Tipo de Rocha :	Filito
	Quartzito
	Canga
	Itabirito
Estruturas de Estabilização:	Necessária e inexistente.
	Insuficiente para mitigar o perigo.
	Suficiente para mitigar o perigo, mas requer reparo.
	Suficiente para mitigar o perigo ou desnecessária.
Movimento Esperado:	Escorregamento planar
	Escorregamento em cunha
	Rolamento de blocos
	Tombamento
Classificação do Solo:	Quedas
	Arenoso
	Areno siltiloso
	Argilo siltiloso
Indícios de Movimento:	Argiloso
	Desalinhamento de árvores, cercas, postes, canaletas...
	Embarçamento do talude (Corte e Aterro)
	Ondulações na superfície
Cicatrizes:	Inexistência de sinais e processos de ruptura.
	Trincas: extensão > 100 cm; abertura > 5 cm ou degraus.
	Trincas: extensão < 100 cm; abertura 1 à 5 cm
	Trincas: Extensão < 100 cm; abertura < 1 cm
Ocorrência d'água:	Existência de feições antigas.
	Lançamento Residencial
	Surgência Localizada - 1 ponto: ( ) crista ( ) pé ( ) meio
	Surgência Difusa - ____ pontos: ( ) crista ( ) pé ( ) meio
Dispositivos de Drenagem:	Não observado.
	Necessário e inexistente
	Insuficiente
	Suficiente, mas requer reparo.
Quantitativo de residências no setor que tem a probabilidade de ser afetada	Suficiente ou desnecessário.
	Avenaria
	Madeira
	Pau a pique
Localização das residências nos cenários das possíveis rupturas	Mista
	Topo do Talude
	Meio do Talude
	Pé do Talude
	Não identificado

Figura 27 - Ficha de campo para taludes urbanos de rocha. Fonte: Tavares, 2018.



**Figura 28** - Fluxograma da metodologia aplicada a estabilização de taludes rodoviários. Fonte: Gonçalves, 2014.

## 2.9.1 Medidas de Proteção

### 2.9.1.1 Valas de Retenção

Essa técnica consiste na construção de uma vala no sopé do talude com o objetivo de reter os blocos em queda (figura 29). O dimensionamento da vala é de acordo com a altura e a inclinação do talude. Os blocos em taludes com inclinações verticais a subverticais, possuem trajetórias em queda livre, repousando no pé dos taludes. Já em taludes com inclinações menores ( $70^\circ$  a  $50^\circ$ ) a trajetória é por rolamento ou salteamento, sendo necessária a construção da vala de retenção em local mais distante do pé do talude. A altura também interfere de forma proporcional na distância que os blocos irão se amontoar; quanto maior a altura do talude, maior a distância de rolamento/salteamento.

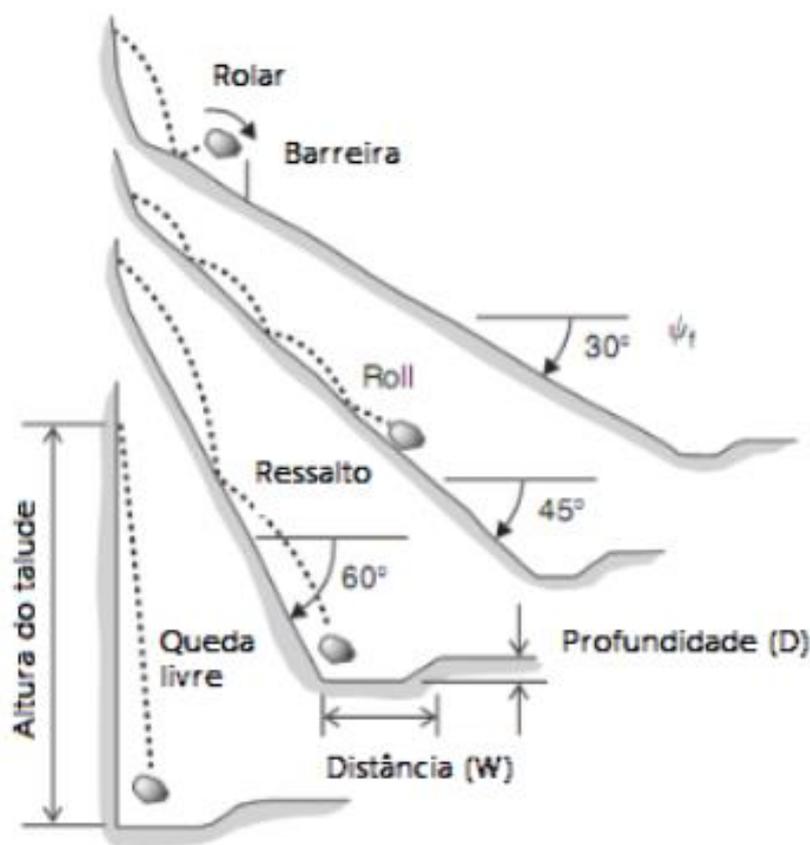
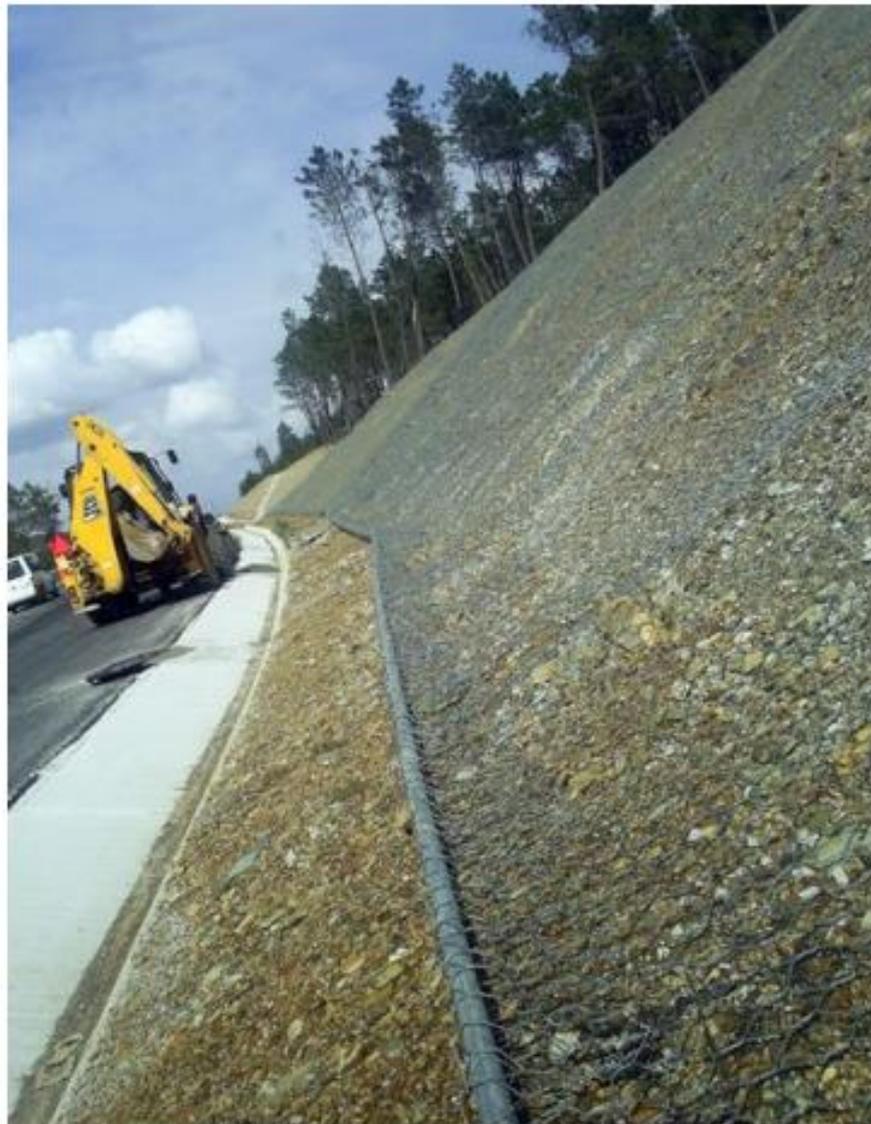


Figura 29 - Esquema de uma vala de retenção. Fonte: Gonçalves, 2014.

### 2.9.1.2 Malhas de arame e redes

O objetivo dessa técnica é evitar a queda dos blocos rochosos menores, que podem atingir maiores distancias do sopé do talude. O método consiste numa malha de aço de grande resistência e flexibilidade, o que permite a instalação em diversas condições (Silva, 2012).

Segundo Gonçalves (2014) as malhas de arame e redes tem grande utilidade nas obras geotécnicas devido a rápida execução e custos relativamente baixos, quando comparados a outras técnicas de estabilização (figura 30).



**Figura 30** - Rede metálica de proteção. Fonte: Gonçalves, 2014.

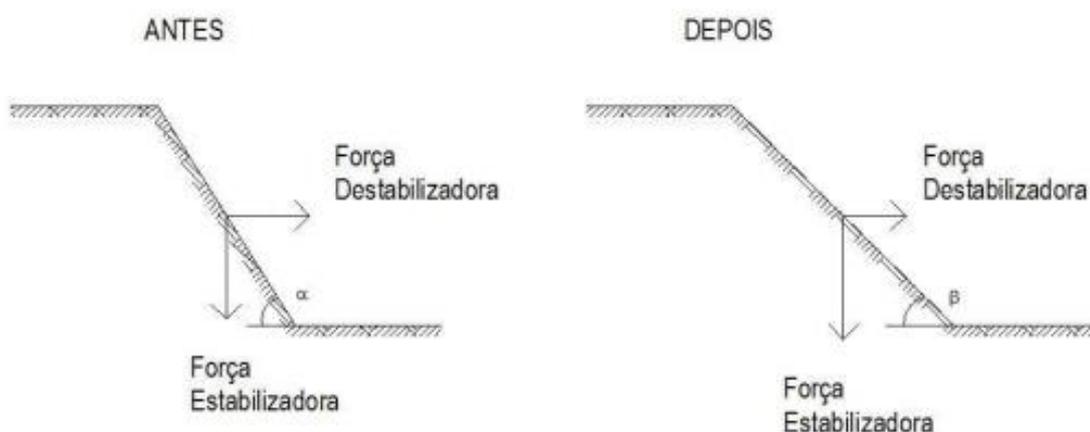
## 2.9.2 Medidas de correção

### 2.9.2.1 Alterar a geometria do talude

O objetivo da alteração na geometria de um talude é redistribuir as forças desestabilizadoras, aumentando assim a estabilidade com uma nova configuração. O mais comum é suavizar a face do talude, diminuindo a inclinação, tal como a figura 31. Na figura 31 nota-se que ocorre um aumento das forças estabilizadoras quando a inclinação do talude passa de  $\alpha$  para  $\beta$ .

Fazem parte das técnicas de correção para taludes a retirada de blocos instáveis e de vegetação de médio a grande porte, e o corte de taludes. Geralmente consistem no uso de meios mecânicos para remoção do material instável e/ou parcialmente instável de um talude, como é demonstrado na figura 31. As técnicas de correção têm como objetivo:

- i. Definir um ângulo de face do talude estável (segurança);
- ii. Remover blocos instáveis e limpeza de material desagregado;
- iii. Corte no talude, adotando assim uma geometria com maior estabilidade, adequada as características geomecânicas do maciço.



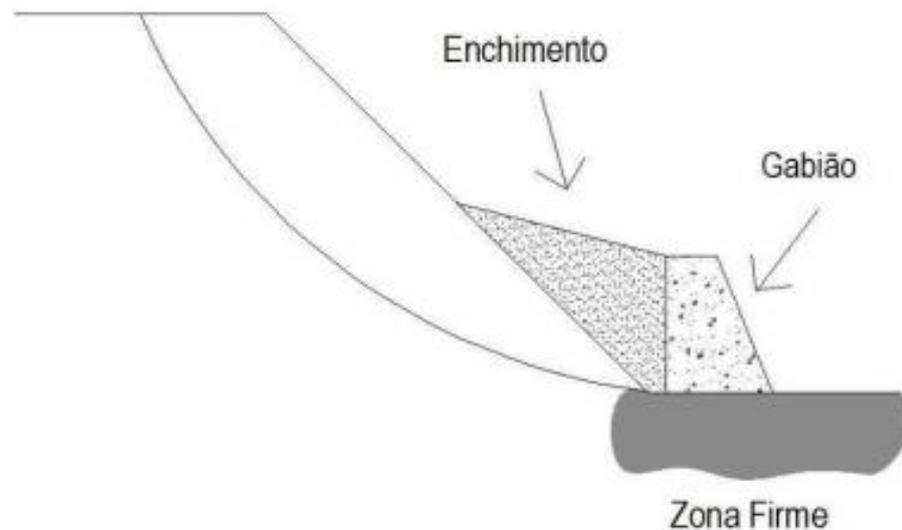
**Figura 31** - Diminuição da inclinação do talude. Fonte: Oliveira (2010).

Outra forma de alteração na forma do talude é a retirada da parte superior do talude, tal como mostra a figura 32, e realocação desse material no pé do talude. Com a redução do peso no talude, as forças desestabilizadoras diminuem, aumentando a estabilidade (Oliveira, 2010).



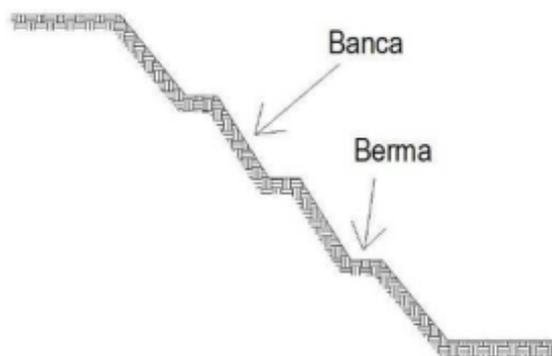
**Figura 32** - Retirada da parte superior do talude para o pé do talude. Fonte: Oliveira, 2010.

Muitas das vezes não é possível escavar a parte superior do talude, sendo assim pode-se incrementar um peso no pé do talude, de acordo com a figura 33.



**Figura 33** - Incremento no pé do talude. Fonte: Oliveira, 2010.

Em taludes de mineração, é comum a construção de bancos e bermas, escalonando o talude, como é demonstrado na figura 34.



**Figura 34** - Bancos e bermas em taludes de mineração. Fonte: Oliveira, 2010.

Essa técnica permite uma melhor manipulação do talude, distribuindo melhor as forças. Nota-se que as bermas podem reter uma possível queda de blocos, além de diminuir a inclinação do ângulo geral do talude. As bermas também condicionam melhor a drenagem e acesso aos bancos.

Todas as técnicas de alteração da geometria do talude baseiam-se, principalmente, no aumento do peso no pé do talude e diminuição da inclinação do ângulo do talude.

As vantagens na utilização dessa técnica são a rapidez de mobilização e de atuação, em conjunto aos custos baixos de implantação. Em consideração, por utilizar-se de equipamentos, a técnica exige espaço físico disponível para as manobras desses equipamentos em segurança. Outra limitação da técnica é a não garantia a estabilidade a médio/longo prazo, já que os fatores externos (clima, drenagem, presença de vegetação, ocupação humana, entre outros) podem causar novas instabilidades no maciço.

### **2.9.3 Medidas de Reforço**

As medidas de reforço têm como objetivo o aumento da resistência a movimentação do talude ou até mesmo a sua ruptura, por meio de obras de contenção. Silva (2012) classifica as

obras de contenção como muros de gravidade, obras especiais de estabilização e soluções alternativas em aterros.

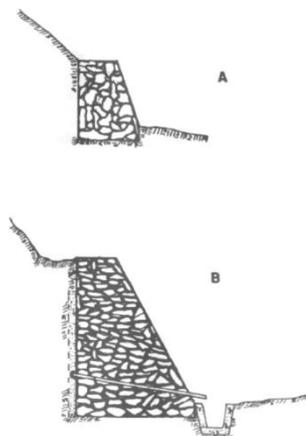
### 2.9.3.1 Muros de gravidade

Os muros de gravidade são estruturas construídas por pedra, concreto ou gabiões; utilizadas na contenção de pequenos desníveis geralmente inferiores a 5m (Silva, 2012). Possuem função de contrariar os impulsos horizontais através do seu próprio peso.

- **Muros de alvenaria de pedra**

Os muros de alvenaria de pedra são as estruturas mais antigas utilizadas na contenção de obras geotécnicas (Silva, 2012). São construídos com pedras colocadas manualmente, onde a resistência depende do interligamento dessas pedras (figura 35). Uma das vantagens desse tipo de mura é a simplicidade na construção e o fato de não ser necessária um sistema drenante. Os blocos de pedra devem possuir dimensões regulares, o que causa uma redução no atrito das pedras, diminuindo a estabilidade interna do muro.

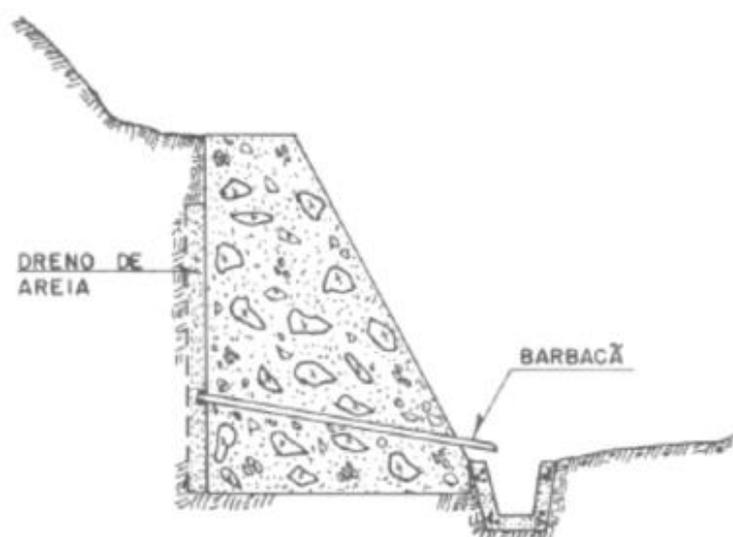
Os casos onde os muros de alvenaria de pedra são indicados são na contenção de taludes com alturas inferiores a 2m e com base de largura mínima de 0,5 a 1,0m. Para taludes mais altos deve-se empregar concreto afim de preencher os vazios nos interstícios dos blocos de pedra (Figura 36).



**Figura 35** – (A) Muro de alvenaria de pedra. (B) Muro de alvenaria de pedra com concreto. Fonte: Silva (2012).

- **Muro de concreto ciclópico**

Os muros de concreto ciclópico são construídos com agregados de grandes dimensões e concreto. A construção desse muro é feita através do preenchimento de uma fôrma de concreto e blocos de rocha de diferentes dimensões (figura 36). Uma característica importante do muro de concreto ciclópico é a sua impermeabilidade. Sendo assim, é imprescindível o uso de drenagem através de barbacãs e drenos de areia (Silva, 2012).



**Figura 36** - Muro de concreto ciclópico. Fonte: Silva ,2012.

- **Muros de gabião**

Os muros de gabião são muros flexíveis, constituídos por gaiolas em redes de malha hexagonal constituídas por arames de aço galvanizado (Coelho, 1996 apud Gonçalves, 2014). Essas gaiolas são preenchidas por pedras manualmente. Silva (2012) indica que os muros de gabião normalmente possuem 2m de comprimento e 1m de aresta de seção transversal quadrada. As vantagens do muro de gabião são a flexibilidade e dispensabilidade de um sistema drenante.



**Figura 37** - Muro de Gabião. Fonte: <http://awacomercial.com.br/blog/o-que-e-gabiao/>, Acesso em agosto de 2019.

#### **2.9.4 Ancoragens**

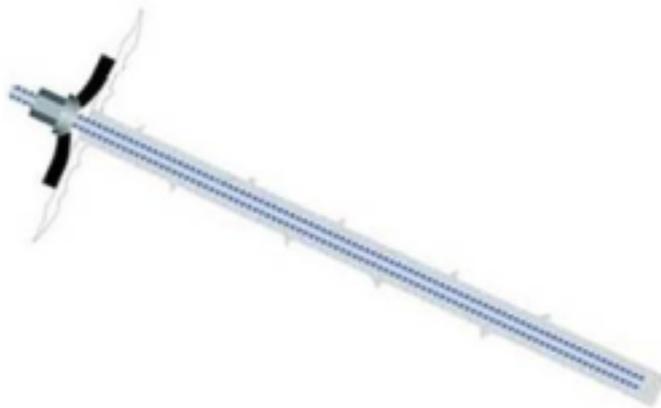
Segundo Gonçalves (2014) a técnica de ancoragem é utilizada com o objetivo de

- i. Apoiar uma estrutura de suporte;
- ii. Assegurar a estabilidade de taludes, de escavações ou de túneis;
- iii. Resistir a forças de levantamento global em estruturas.

Basicamente, a técnica consiste em instalar tirantes de aço na face do talude através de um furo previamente aberto e posteriormente preenchido por caldas de cimento, argamassas de cimento e areia ou ainda resina inerte. Os tirantes têm a função de atravessar a superfície de ruptura, indo até uma zona estável do maciço, aumentando as forças resistentes do maciço (Oliveira, 2010). As ancoragens são divididas em ancoragens passivas e ativas.

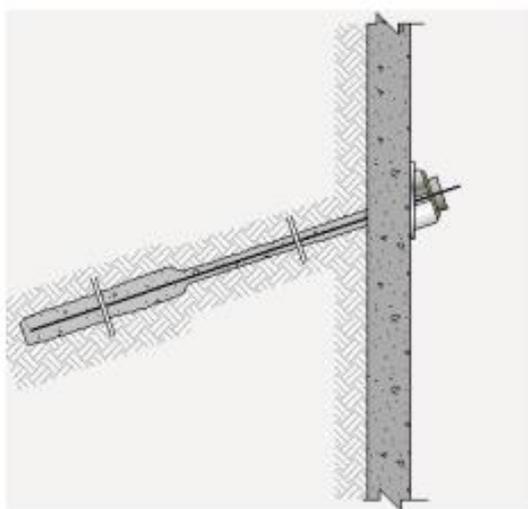
As ancoragens passivas, também conhecidas como pregagens (figura 38), tem a função de estabilização em encostas, sustentação de obras de contenção, entre outros. São chamadas de passivas por não possuírem tirantes tracionados. São constituídas por uma cabeça de ancoragem, um comprimento livre da armadura e um dispositivo de ligação ao terreno, seja com um determinado comprimento da ancoragem ligado ao terreno por meio de calda, um

corpo passivo, uma ancora helicoidal ou uma pregagem em rocha (Gonçalves, 2014). A ancoragem passiva é utilizada em conjunto a uma rede de alta resistência, e é a solução mais comum para impedir quedas de blocos e deslize de terra da face dos taludes. Sua instalação é semelhante a ancoragem passiva, porém possui resultados com capacidade reduzida.



**Figura 38** - Perfil de tirante em ancoragem passiva. Fonte: Oliveira, 2010.

As ancoragens ativas, é um reforço ativo, onde os tirantes se encontram tracionados (figura 39). O resultado dessa técnica é que a força de tração aplicada nos tirantes modifica as tensões normais e de cisalhamento no maciço rochoso, reforçando-o (Gonçalves, 2014).



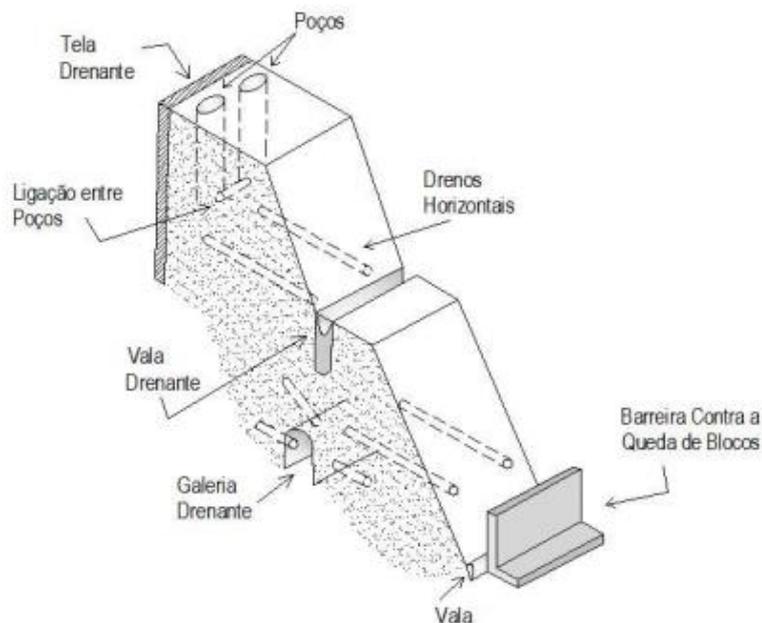
**Figura 39** – Perfil de um tirante ancorado. Fonte: Oliveira, 2010.

### 2.9.5 Aplicar sistemas de drenagem

Os diversos sistemas de drenagem (figura 40) possuem um objetivo: garantir que as poropressões no maciço não sejam acumuladas. A poropressão como já vista anteriormente, atua nas descontinuidades, desestabilizando os maciços. Os sistemas de drenagens podem ser superficiais: canaletas, valas de drenagens, ou até mesmo as próprias bermas; ou profundos: poços, drenos horizontais profundos (DHP's), galerias de drenagem ou telas drenantes.

A principal função do sistema de drenagem superficial é redirecionar as águas (principalmente meteóricas) para longe da face do talude, evitando a erosão. A drenagem também evita a acumulação dessas águas, evitando a infiltração nas descontinuidades do maciço.

Os sistemas de drenagem profunda têm como objetivo baixar o nível d'água do maciço. Para isso, são utilizadas bombas nos poços e drenos para escoar a água do interior do maciço, aumentando sua estabilidade. Ao se projetar um sistema de drenagem profunda deve-se ater ao comportamento hidrogeológico do maciço em estudo. Informações como permeabilidade, vazão a ser drenada, entre outras são de muita importância.



**Figura 40** - Sistemas de drenagem. Fonte: Oliveira, 2010.

## 2.10 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo, situa-se na região sudeste do Quadrilátero Ferrífero (Dorr, 1969), mais especificamente no extremo sudeste do Cráton São Francisco. A geologia da região é caracterizada por terrenos granitos-gnáissicos (TTG's) arqueanos e transamazônicos, *greenstones belts* arqueanos e sequências supracrustais do Proterozóico Inferior, Médio e Superior (Chemale, 1991). De acordo com Marshak et. al 1997, os terrenos granitos-gnáissicos foram formados por uma geotectônica de domos e quilhas presente apenas no Arqueano e Paleoproterozóico. São estruturas dômicas constituídas por rochas meta-ígneas polideformadas, tais como metatonalitos a metagranitos, migmatitos, anfíbolitos, metaultramafitos, assim como pegmatitos formados preferencialmente no Arqueano e Transamazônico (Chemale, 1991).

As rochas dos *greenstone belts* podem ser caracterizadas pelo Supergrupo Rio das Velhas, dividido nos grupos Nova Lima e Maquiné. O grupo Nova Lima é composto por rochas vulcânicas ultramáficas, rochas vulcano-sedimentares e rochas químicas-clásticas. O grupo Maquiné, que não se encontra presente na área de estudo, é formado por quartzitos, conglomerados, sericita-quartzo-xistos e filitos.

Acima dos *greenstones belts*, estão depositadas as rochas do Supergrupo Minas, dividido em Grupo Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará (Franco & Endo, 2004). O Grupo Caraça é constituído por quartzitos da Formação Moeda e pelos filitos da Formação Batatal. O Grupo Itabira é caracterizado pelos itabiritos da Formação Cauê. O Grupo Piracicaba é constituído por rochas meta-sedimentares, principalmente por filitos e quartzitos, mas também contém dolomitos.

Acima das rochas do Supergrupo Minas encontra-se o Grupo Itacolomi, formado por meta-arenitos e metaconglomerados polimíticos contendo clastos de formações ferríferas.

Todas essas unidades são limitadas por discordâncias e cortadas por intrusões magmáticas, principalmente básicas (Chemale, 1991).

A tabela abaixo apresenta a coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.

**Tabela 7** - Estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Tavares (2018).

IDADE	SUPERGRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
PALEOPROTEROZOÍCO	MINAS	Itacolomi	Indiviso	quartzitos, ortoquartzitos, filitos quartzosos, filitos e conglomerados com seixos de itabiritos
		Sabará	Indiviso	clorita-xisto, grauvaca, metatufos, conglomerados e quartzitos
		Piracicaba	Barreiro	filitos e filitos grafitosos
			Taboões	Ortoquartzitos
			Fecho do Funil	filitos, filitos dolomíticos e dolomito silicoso
			Cercadinho	quartzitos ferruginosos, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos
		Itabira	Gandarela	dolomitos, filitos dolomíticos e calcários
			Cauê	itabiritos, itabiritos dolomíticos e hematíticos
		Caraça	Batatal	filitos e filitos grafitosos
			Moeda	quartzitos sericiticos, conglomerados e filitos
		ARQUEANO	RIO DAS VELHAS	Maquiné
Nova Lima	Indiviso			filitos cloríticos, filitos grafitosos, metagrauvas e formações ferríferas, quartzitos e <i>metacherts</i> , dolomitos e rochas máficas e ultramáficas
Quebra Ossos	Indiviso			komatiitos, formações ferríferas e <i>metacherts</i>

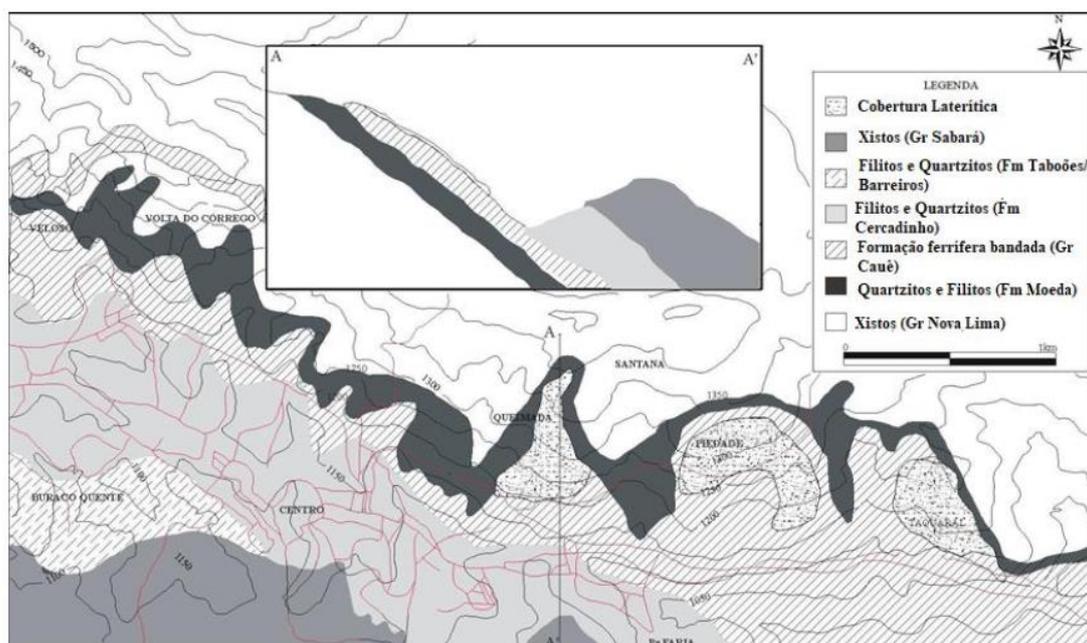
## 2.11 GEOLOGIA LOCAL

A cidade de Ouro Preto é conhecida desde o século XVIII devido a sua exploração mineral. Várias foram as reservas minerais exploradas na cidade, entre as principais estão ouro, ferro, bauxita e manganês. Por ter sido pioneira na exploração mineral, a cidade tornou-se base de vários estudos geológicos.

Geologicamente a cidade se encontra inserida entre o anticlinal de Mariana e o sinclinal Dom Bosco. Na região, esses dois domínios são caracterizados por quartzitos, xistos, filitos e itabiritos do Paleoproterozóico. As rochas se encontram muito alteradas devido aos vários eventos geotectônicos registrados (Endo, 1997). Geralmente as rochas se apresentam com mergulho SW e S.

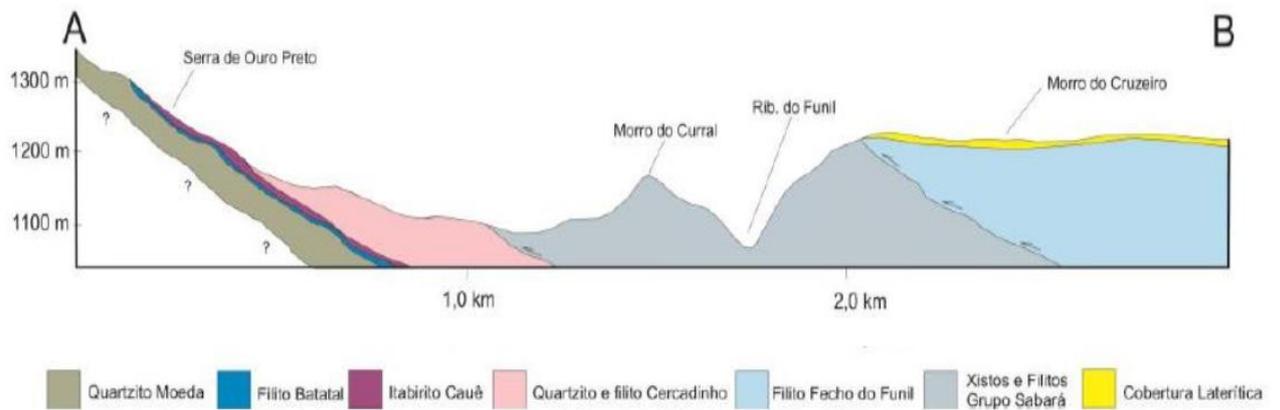
CPRM (2016), indica que o Distrito Sede de Ouro Preto se encontra na parte externa da estrutura e é constituída pelas rochas do Supergrupo Minas, com mergulhos para SW e SE, com muitos falhamentos e dobramentos.

O mapa geológico da sede da cidade de Ouro Preto pode ser visto na figura 41. É perceptivo a grande distribuição de litotipos como filitos e itabirito.



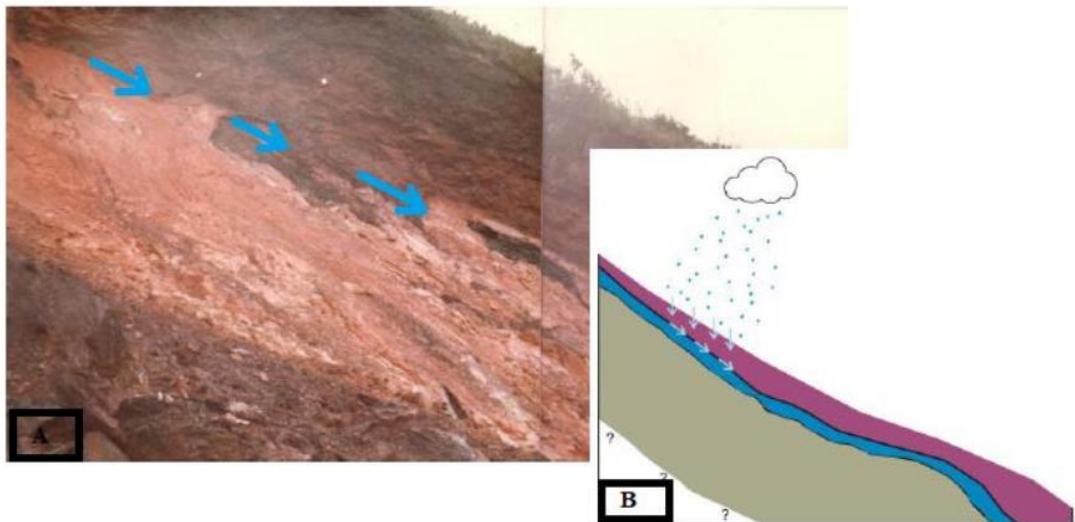
**Figura 41** - Esboço geológico da região de Ouro Preto. Fonte: Sobreira e Fonseca (2001).

Tavares (2018) indica que os processos instabilizadores nas encostas da cidade estão associados a alta distribuição desses tipos de rocha na região. Em períodos chuvosos prolongados os itabiritos facilitam a infiltração e percolação de água, devido ao seu alto grau permeabilidade. Porém os filitos que estão dispostos abaixo dos itabiritos (figura 42), possuem pouca permeabilidade, fazendo com que a água se acumule no contato entre essas rochas (Tavares, 2018).



**Figura 42** - Seção Geológica das principais unidades litológicas da cidade de Ouro Preto. Fonte CPRM (2016).

Essa condição favorece o aumento da poropressão, que por consequência aumenta a instabilidade no maciço, um exemplo desse mecanismo é exposto na figura 43.



**Figura 43** - Talude da Rua Padre Rolim, exemplificando a sobreposição de itabiritos em filitos, favorecendo o escorregamento. Fonte: Tavares, 2018.

O Morro da Forca é constituído por um filito com foliação bem evidente, caracterizada pelo rearranjo de minerais placóides (mica, clorita e hematita), muito alterado e fraturado. A granulação da rocha é média a grossa, apresentando muito pouca argila (silto arenosa). Esse litotipo é comum da sequência metapelítica da Fm. Sabará.

Timo, V. P. 2019, Caracterização geológica-geotécnica e proposta de estabilização do maciço rochoso do Morro da Forca....

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGIA**

---

Este capítulo apresenta a metodologia desenvolvida durante o trabalho. Sua elaboração foi realizada em 5 etapas, de acordo com o exposto abaixo:

- Etapa I: revisão bibliográfica do conceito de rocha branda; classificações geomecânicas e geotécnicas de solos e rochas; movimentos gravitacionais de massa; geologia regional e local da área de estudo e técnicas de estabilização de taludes;
- Etapa II: elaboração de uma ficha de campo para coleta de dados;
- Etapa III: análise temporal do maciço, identificando possíveis cicatrizes dos movimentos gravitacionais de massa do passado;
- Etapa IV: trabalhos de campo; análise dos dados coletados; identificação dos principais problemas geotécnicos das áreas, caracterização e classificação do maciço;
- Etapa V: análise cinemática dos taludes considerando a atitude das descontinuidades identificadas em campo; avaliação do modo de ruptura dos taludes; determinação dos parâmetros de resistência dos maciços;
- Etapa VI: proposta para estabilização dos possíveis movimentos gravitacionais de massa nos maciços.

#### **ETAPA I: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Durante a revisão bibliográfica foram estudados os conceitos de rocha branda; as principais classificações geotécnicas e geomecânicas e suas diferenças; os movimentos gravitacionais de massa; os mecanismos de ruptura; a geologia regional e local e as principais técnicas de estabilização de taludes.

## **ETAPA II: ELABORAÇÃO DA FICHA DE CAMPO**

A metodologia na elaboração da Ficha de Campo (FC) tem como base o trabalho de Donassolo (2017), onde o autor desenvolve uma ficha para coleta de dados em campo específica para taludes de rodovia. Além disso foram avaliadas fichas já existentes Corteletti & Filgueiras (2015); Corteletti *et al* (2017), Tavares (2018) e Chades (2018).

O maciço rochoso estudado se encontra dentro de área urbana, caracterizada principalmente pela ocupação desordenada, falta de drenagem competente e histórico de escorregamentos. Essa é uma das características mais importantes na elaboração da FC.

Como se tratam de taludes urbanos, algumas considerações devem ser feitas para que a FC possa representar efetivamente a complexidade, e até mesmo o risco associado aos movimentos gravitacionais de massa da região em estudo.

Donassolo (2017) e Chades (2018) indicam a necessidade de diferenciar parâmetros e atributos pertinentes a taludes rochosos e de solos, uma vez que as características geomecânicas são diferentes. Porém em o trabalho de campo demonstrou que o maciço estudado é composto principalmente por rocha branda e apenas uma ficha de campo foi elaborada (Figura 44).

Por estar introduzida numa região geotectonicamente complexa, é comum as rochas possuírem diversas descontinuidades. Devido à sua importância na caracterização dos movimentos gravitacionais de massa, a FC se utiliza de alguns conceitos do sistema SMR (Romana, 1985) para descrição das mesmas. Os parâmetros utilizados para caracterização das descontinuidades foram: orientação, espaçamento, persistência, rugosidade das paredes, abertura, preenchimento, fluxo de água e número de famílias.

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos	
Rochas e Solos	
Dados Gerais	
Projeto:	Data: __/__/__
Ponto:	Responsável: _____
Coordenadas:	X: _____ Y: _____ Z: _____
Talude:	Encosta: ( ) Corte ( )
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA	
Altura da Encosta	< 2m
	2 a 6m
	6 a 10m
	> 10m
Inclinação da Encosta	< 17°
	17° a 35°
	35° a 45°
	> 45°
Extensão do Encosta	até 120m
	120 a 200m
	200 a 300m
	> 300m
Altura do Talude de Corte	< 10m
	10 a 20m
	20 a 30m
	> 30m
Inclinação do Talude de Corte	30 a 45°
	45 a 60°
	60 a 75°
	75 a 90°
Extensão do Talude de Corte	até 120m
	120 a 200m
	200 a 300m
	> 300m
Orientação do plano de corte do talude ou encosta natural:	
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	
Descrição geológica:	
Avaliação da Resistência do Material	
R0 (0,25-1,0 MPa)	Rocha marcada com a unha.
R1 (1,0 - 5,0 MPa)	Rocha esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo.
R2 (5,0 - 25 MPa)	Rocha pode ser raspada com dificuldade com canivete.
R3 (25 - 50 MPa)	Rocha não pode ser raspada com canivete, porém é facilmente fraturada com o martelo.
R4 (50 - 100 MPa)	Rocha necessita de mais de um golpe de martelo para se fraturar.
R5 (100 - 200 MPa)	Rocha necessita de muitos golpes de martelo para se fraturar.
R6 (> 250 MPa)	Rocha só pode ser lascada por golpes de martelo.
Avaliação do Grau de Alteração do Material	
A1 (Rocha Sã)	Sem vestígios de alterações físicas e químicas dos minerais principais.
A2 (Pouco Alteração)	Sinais de alteração incipientes dos minerais primários, pouco descolorida.
A3 (Alteração Mediana)	Minerais medianamente alterados, muito descolorida.
A4 (Muito Alteração)	Minerais muito alterados, as vezes pulverulento.
A5 (Extrema Alteração/Saprolito)	Minerais principais totalmente decompostos, porém preservam suas estruturas originais.
Avaliação do Grau de Coerência do Material	
C1 (Muito Coerente)	Som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Dificilmente riscada por aço.
C2 (Coerente)	Som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Pode ser riscada por aço.
C3 (Medianamente Coerente)	Som oco, quebra com facilidade ao golpe do martelo. Pode ser fragmentada pelos dedos.
C4 (Pouco Quebradiça)	Quebra-se com facilidade ao golpe do martelo e/ou manualmente.
C5 (Sem coerente)	Esfala-se ao golpe do martelo, desagregando-se manualmente. Pode ser riscada com unha.

Figura 44 - Ficha de Campo.

<b>Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos</b>			
<b>Caracterização das Descontinuidades</b>			
Número de família de fraturas	1	Intervalo entre fraturas	< 1 Fratura/ m (Pouco fraturada F1)
	2		1 - 5 Fraturas / m (Fraturada F2)
	3		5 -10 Fraturas / m (Muito fraturada F3)
	4		10 -20 Fraturas / m (Extremamente Fraturada F4)
Largura das fraturas	<2mm	Rugosidade das fraturas	Descontínua
	2 a 3mm		Ondulada
	3 mm		Dentada
	4		Contínua planar
Preenchimento das fraturas	s/	Presença de água nas fraturas	Seca
	Quartzo		Pequena vazão de fluxo
	Calcita		Média vazão
	Silte		Alta vazão
Orientação das descontinuidades:			
<b>CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA</b>			
Cobertura Vegetal da Encosta	Sem cobertura vegetal.		
	Rasteiras composta por gramíneas, musgos, líquens, e arbustos.		
	Arbustiva composta por plantas de caule não lenhoso.		
	Mata composta por cobertura de plantas silvestres de médio a grande porte.		
Sistema de Drenagem	Suficiente para mitigar perigo		
	Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.		
	Insuficiente para mitigar perigo.		
	Ausente.		
Ocorrência de água	Surgência em vários pontos do talude		
	Surgência em um ponto do talude pé ( ), crista ( ), meio ( )		
	Área Saturada		
	Não observado		
Edificações a montante do possível movimento	Moradias		
	Prédios com funcionamento em horário comercial		
	Depósitos		
	Inexistentes		
Distancia das edificações a montate do possível movimento	< 2m		
	2 a 6m		
	6 a 10m		
	> 10m		
Edificações a jusante do possível movimento	Moradias		
	Prédios com funcionamento em horário comercial		
	Depósitos		
	Inexistentes		
Distancia das edificações a montate do possível movimento	< 2m		
	2 a 6m		
	6 a 10m		
	> 10m		
Indícios de movimentos	Blocos no pé do talude		
	Trincas		
	Embarrigamento no pé do talude		
	Cicatrizes de movimentos antigos (Detalhar no item abaixo)		
Cicatrizes de escorregamentos antigos	Escorregamento planar		
	Escorregamento circular		
	Escorregamento em cunha		
	Tombamento		
	Queda de blocos		
Estruturas de Estabilização	Suficiente para mitigar perigo		
	Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.		
	Insuficiente para mitigar perigo.		
	Não observado		

**Figura 45 - Ficha de Campo**

### **ETAPA III: ANÁLISE TEMPORAL DOS MACIÇOS**

O objetivo dessa parte do trabalho é identificar as possíveis cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa que ocorreram nas áreas de estudo.

Foram analisadas as imagens dos anos de 2011 até 2018 disponibilizadas pelo software Google Earth® na tentativa de encontrar feições que indicassem os movimentos gravitacionais de massa ocorridos no passado auxiliando o trabalho de campo.

### **ETAPA IV: TRABALHOS DE CAMPO**

#### **Levantamento geológico-estrutural**

Com o objetivo de caracterizar o modelo estrutural das encostas, foram feitos levantamentos em campo, atentando para as principais estruturas geológicas presentes no maciço. Para medição e registro das características geológicas utilizou-se de bússola do tipo Bruton com inclinômetro, martelo de geólogo, lapiseira, canivete, caderneta de campo e trena.

#### **Caracterização e classificação do maciço**

A caracterização dos maciços estudados foi feita através da interpretação da Ficha de Campo, levando em consideração as classificações estudadas durante a revisão bibliográfica.

### **ETAPA V: ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO**

Após o campo os dados coletados foram analisados e digitalizados em escritório.

#### **Análise Cinemática e Caracterização dos mecanismos de ruptura**

Na análise cinemática foram tomadas medidas com a bussola Brunton em todas as discontinuidades e cortes do talude, na tentativa de demonstrar os mecanismos de ruptura que podem ser desenvolvidos no maciço.

## **ETAPA VI: PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO DOS MACIÇOS**

Nesta etapa foram analisadas as possíveis formas de intervenção para estabilização dos maciços. Foram revisadas as principais formas de estabilização de taludes no item 2.10.

Através da análise dos mecanismos de ruptura, da caracterização e classificação dos maciços estudados combinaram-se diversos tipos de técnicas de estabilização afim de se restaurar a estabilidade dos mesmos. As soluções indicadas neste trabalho levam em consideração os fatores econômicos, buscando uma relação de custo/benefício otimizada.

Ainda, como a área de estudo encontra-se inserida no centro histórico de Ouro Preto, deve-se levar em consideração a poluição visual que a implantação desse sistema pode ocasionar.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISE DE RESULTADOS

---

Para uma melhor compreensão e didática, a análise de resultados foi separada em:

- I. Análise temporal das fotos, utilizando o *software* Google Earth Pro®;
- II. Trabalho de campo;
- III. Classificação dos maciços estudados
- IV. Análise cinemática dos maciços estudados;
- V. Identificação dos riscos associados aos possíveis movimentos.

#### 4.1 ANÁLISE TEMPORAL

Foi realizada a análise temporal dos dois maciços estudados no intuito de observar as cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa, um melhor enquadramento da área de estudo e, principalmente, direcionar a visita de campo da maneira mais produtiva possível.

O uso da ferramenta “Imagens Históricas” do *software* Google Earth Pro® possibilita a visualização de imagens da mesma área em diferentes datas, facilitando a observação das cicatrizes deixadas pelos movimentos de gravitacionais de massa.

##### 4.1.1 MACIÇO DO MORRO DA FORÇA

Para o maciço do Morro do Forca foram utilizadas imagens do período de setembro de 2011 até setembro de 2018. As imagens a seguir estão em ordem cronológica para facilitar a visualização da evolução geomorfológica da encosta.



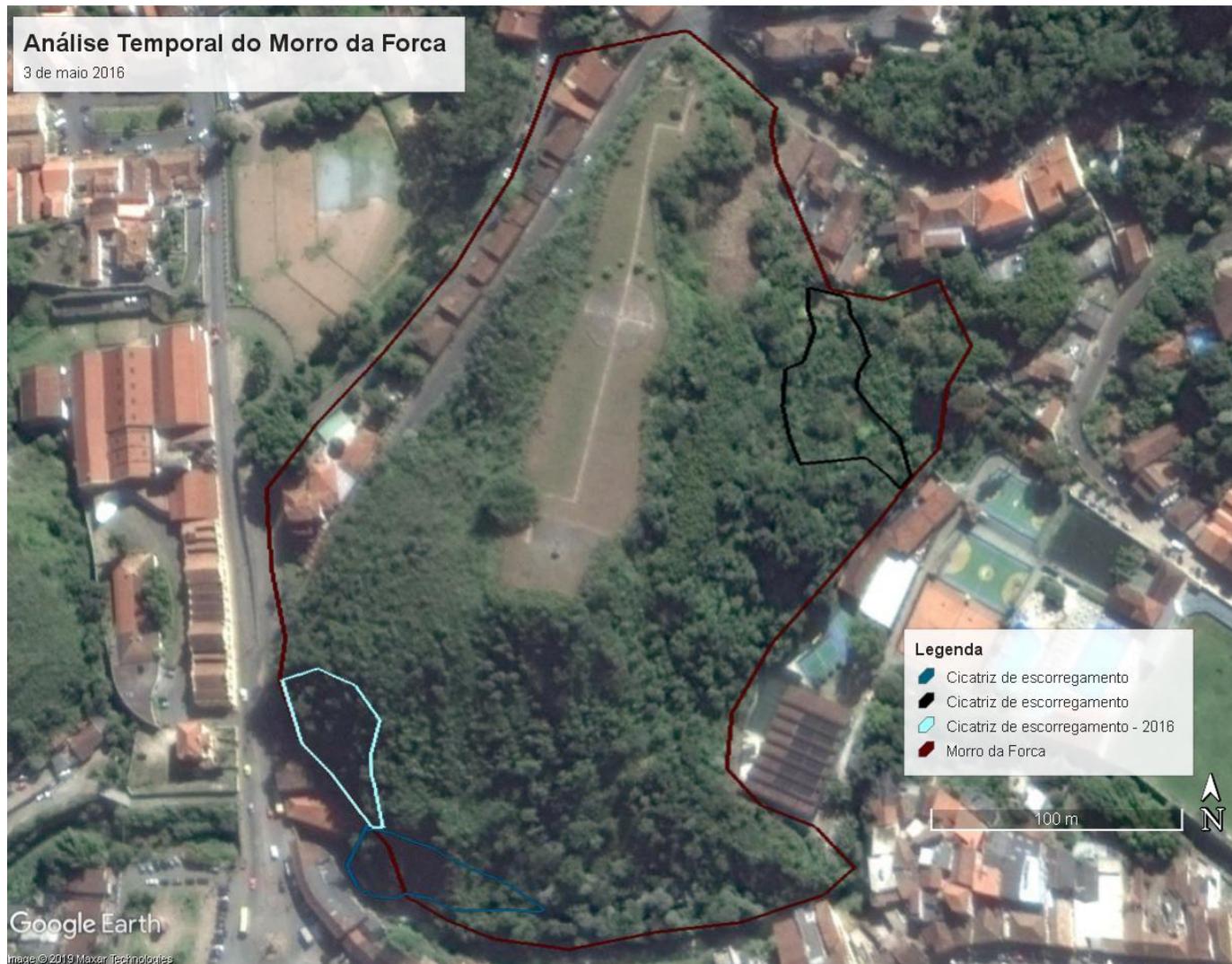
**Figura 46 - Morro da Forca 4 de setembro de 2011.**



**Figura 47** - Morro da Força 31 de agosto de 2012.



**Figura 48** - Morro da Forca 5 de maio de 2013.



**Figura 49** - Morro da Forca 3 de maio de 2016.



**Figura 50** - Morro da Forca 16 de abril de 2017.



**Figura 51** - Morro da Forca 9 de setembro de 2018.

Em análise das imagens, percebe-se que existe uma cicatriz de escorregamento na porção NE da área de estudo. Essa cicatriz parece aumentar durante o intervalo de 2011 a 2012, como indicado na figura 44.

Além disso, é notável que no setor sul da encosta existem várias cicatrizes, porém sem identificação de novos movimentos nas imagens. Uma cicatriz no setor SW também se faz presente durante toda a evolução da encosta no período selecionado. Essa cicatriz aumenta no intervalo de 2011 a 2013, porém parece diminuir nos anos seguintes. Em campo, a quebra da vegetação nessa região da encosta é bem evidente.

Na figura 49, pode-se notar que a vegetação se torna menos arbórea na parte sul, porém não há conclusão se é uma cicatriz de escorregamento.

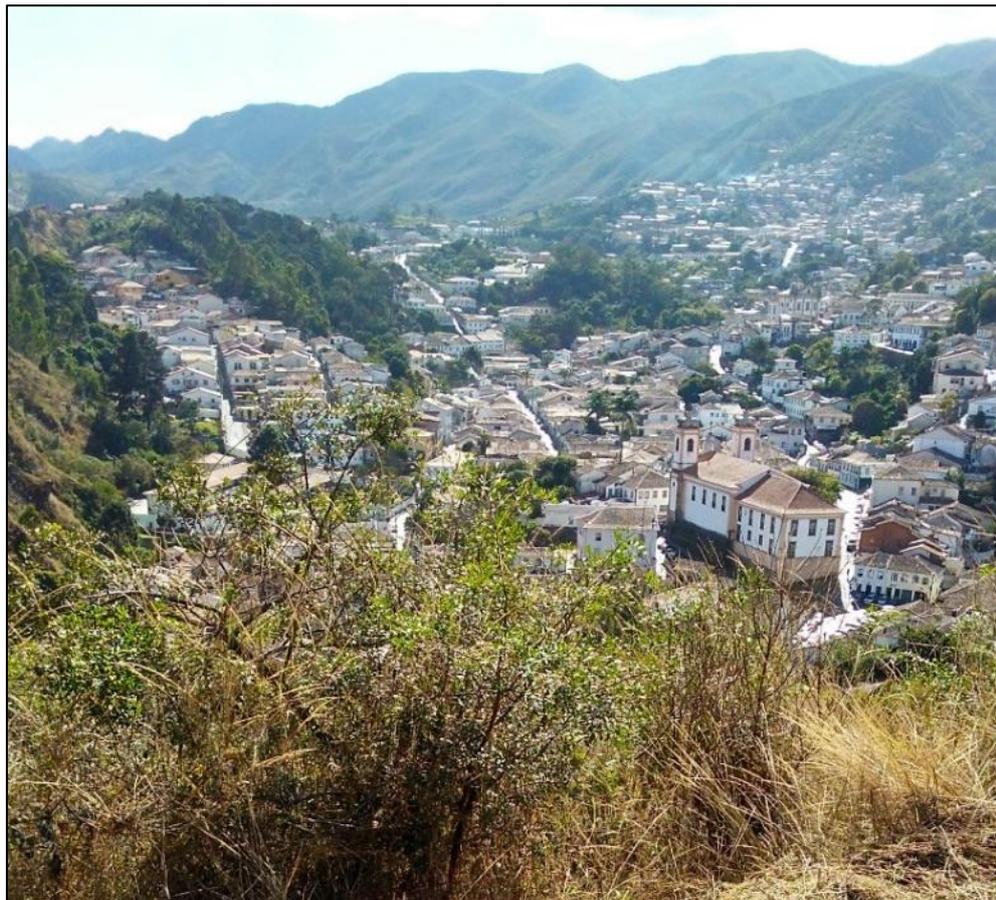
A vegetação de médio porte e caule lenhoso em todo maciço dificultou a análise das cicatrizes de escorregamentos levantadas na análise temporal.

Trabalhos anteriores (Tecnosolo, 1979; IGEO, 2014; Tavares, 2018) registram três eventos de movimentos gravitacionais de massa na região do Morro da Forca, datados de 1979, 2011 e 2012. Todos esses eventos estão associados a índices pluviométricos elevados, o que pode indicar uma alta suscetibilidade de movimentos de massa nesse maciço.

Através da revisão dos trabalhos citados acima, percebeu-se que os escorregamentos de 2011 e 2012 foram no setor NE do maciço.

## 4.2 TRABALHO DE CAMPO

O Morro da Forca encontra-se no Centro Histórico de Ouro Preto (figura 50), mais precisamente entre as ruas Pacífico Homem e dos Inconfidentes. A sul é delimitado pelo córrego do Funil, enquanto a oeste, é delimitado pelo corte feito para construção da via.



**Figura 52** - Vista do Centro Histórico do topo do Morro da Forca.

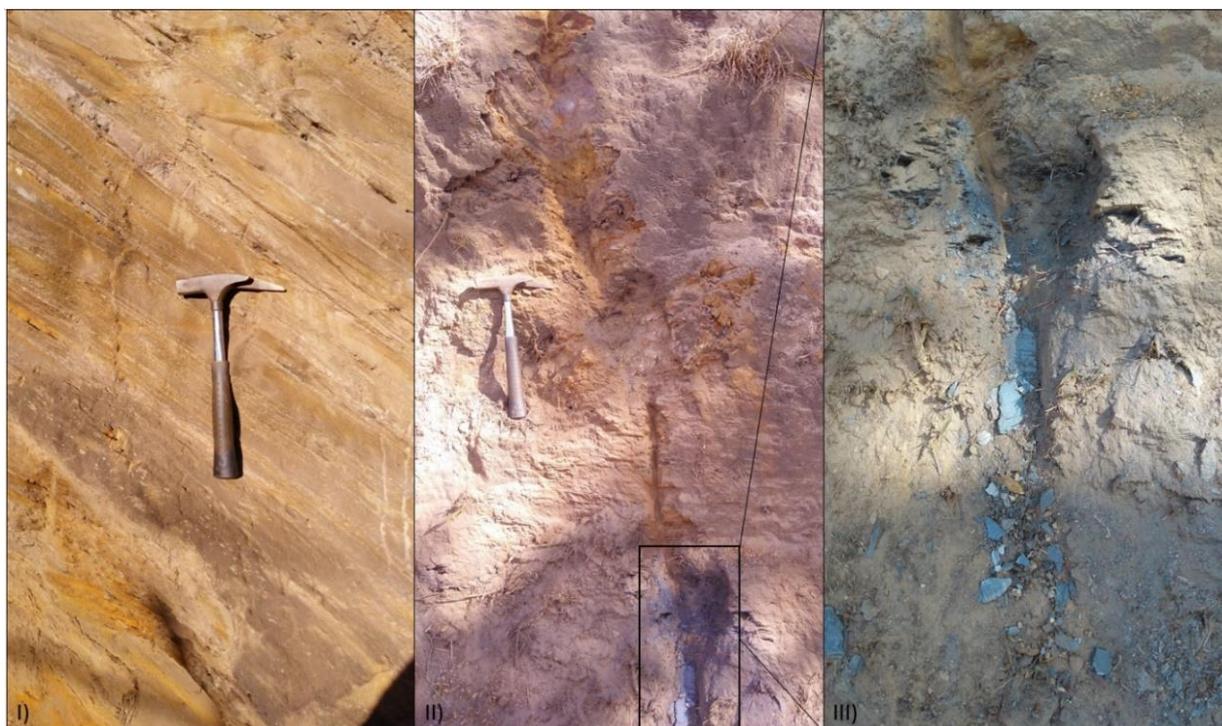
Morfologicamente o maciço pode ser dividido em quatro partes:

- um platô no topo, quase sem inclinação;
- a encosta oeste, onde pode ser visualizado todas as litofácies do maciço, bem como algumas estruturas (foliação, fraturas, etc) devido ao corte para construção da via;

- a encosta sul, apresentando inclinação variável, com máxima de 70° e 30m de altura, sendo a região mais problemática;
- e a encosta leste, que por sua vez não possui acesso.

#### 4.3 ANÁLISE DO MACIÇO ROCHOSO DO MORRO DA FORCA

O maciço do Morro da Forca encontra-se inserido no Grupo Sabará, caracterizada como uma sequência metapelítica dominada por xistos, filitos, metaritmitos e metavulcânicas, com raras lentes de quartzito. Em análise in loco, verificou-se que o maciço é composto principalmente por filitos castanho avermelhados e secundariamente filitos prateados crenulados, algumas lentes de quartzito e itabiritos (figura 51).



**Figura 53** - I) Filito avermelhado com foliação. II) filito castanho avermelhado alterado. III) filito prateado crenulado.

A rocha encontra-se muito alterada em toda a extensão do maciço. Em alguns pontos a rocha tornou-se saprólito. Originada pela lineação mineral, a estrutura mais evidente é a

foliação com atitude N45W/40°SW, esta pode ser caracterizada por mica, clorita e um mineral laminar escuro, provavelmente hematita. Além da foliação, notou-se uma família de fraturas com direção subparalela a foliação, porém com mergulho para NE. Essa família de fraturas possui alta penetrabilidade no maciço, atingindo espaçamentos centimétricos (figura 52). Tavares (2018) indica outra família de fraturas com direção NE/SW com mergulho alto para NW, porém esta não foi verificada em campo.

A vegetação é de grande porte em quase todo maciço. Normalmente, as raízes das árvores estão associadas as fraturas. Além disso, as fraturas são responsáveis pela drenagem principal do maciço, não havendo sistema de drenagem.



**Figura 54** - Fratura dentada sem preenchimento (Setor 2).

Após observadas as características geológicas do maciço, partiu-se para a avaliação geotécnica do mesmo. Durante esse levantamento, buscou-se analisar os gatilhos dos mecanismos de movimentos gravitacionais de massa; cicatrizes de escorregamentos do passado; indícios de movimentação e o sistema de drenagem implantado na área. Para uma melhor interpretação e caracterização do comportamento geotécnico, a encosta oeste foi dividida em setores a cada 50m, e foi feita uma ficha para cada um desses 5 setores.

Os processos verificados in loco foram:

- No topo da encosta foram verificadas cicatrizes de escorregamentos em toda a crista leste, devido a inexistência de um sistema de drenagem competente no platô do maciço (figura 53 - I e II);
- Ainda na crista leste, foram encontrados locais com taludes negativos, indicando movimentações atuais (figura 53 - III);



**Figura 55** - I) Escorregamento ocasionado pelo peso da água sobre o solo. II) Falta de sistema de drenagem. III) Talude negativo na crista da encosta.

- A infraestrutura presente no topo do maciço necessita de manutenção (figura 54);



**Figura 56-** Detalhe na necessidade de manutenção da infraestrutura no topo da encosta.

- Cicatrizes de escorregamentos em cunha, associados a foliação e as duas famílias de fraturas que condicionam o deslocamento de um prisma ao longo da direção formada pela intercessão desses dois planos (figura 55);
- Escorregamentos planares, associados pela a foliação e a fratura subparela com mergulho a SW;



**Figura 57** - Cicatriz de ruptura em cunha no setor 3 e atrás do Solar Baeta Neves.

- Queda de blocos, associado a foliação e uma família de fraturas com mergulho para NE (figura 56);



**Figura 58** - Queda de blocos (Setor 1).

- Blocos instáveis, associados a instalação de uma galeria de mineração do século XVII, formando uma trica e instabilizando o bloco de rocha (figura 57);



**Figura 59** - Bloco instável no setor sul do maciço (Setor 5).

- As edificações a jusante da encosta apresentam trincas e muros de arrimo ‘embarregados’ (figura 58).



**Figura 60** - I) Muro de arrimo com trinca indicando movimentação da encosta a montante.  
II) Embarrigamento no pé do muro (Fundo do Solar Baeta Neves).

Devido a sua extensão e a facilidade por consequência do corte para construção da rua Pacífico Homem, o maciço do Morro da Forca foi dividido em 5 setores (figura 59), separados por uma distância de 55m para uma melhor classificação do maciço. Nesses cinco setores foram

avaliados a resistência, o grau de alteração e o grau de coerência. Além de um levantamento das atitudes das descontinuidades (foliação, fraturas e interface saprolito-rocha sã) presentes no em toda a extensão do maciço.



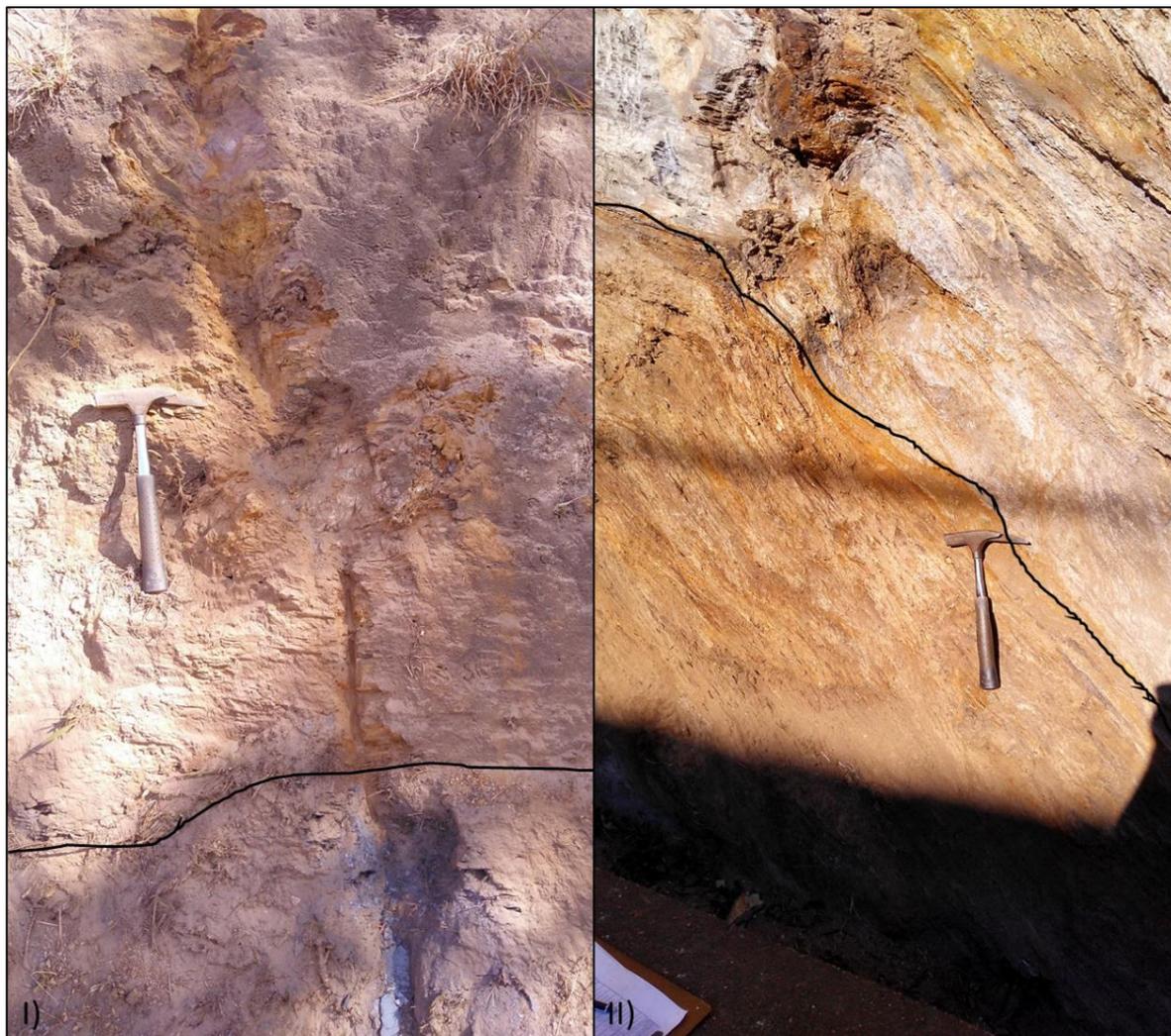
**Figura 61** - Setorização do Morro da Forca.

Após o preenchimento da ficha de campo, percebeu-se que o setor 1 e 2 (figura 60), possuem menores valores de resistência e condições de alteração máxima, com minerais totalmente decompostos, em consequência de o manto de intemperismo possuir maior efetividade nesses setores. Essa parte do maciço foi classificada como uma rocha extremamente branda de baixa resistência (R0) com extrema alteração (A5) e pouco quebradiço (C4).



**Figura 62** - Filito castanho avermelhado do setor 1 e 2.

O setor 3 foi interpretado como uma zona de transição (figura 61), onde o filito castanho avermelhado dá lugar a um filito prateado com lineação de crenulação evidente. Esse filito prateado foi classificado como uma rocha muito branda (R1) com muita alteração (A4) e quebradiço (C4). Nessa zona de transição puderam ser encontrados diversos veios de quartzo, muito deles boudinados concordantes com a foliação.



**Figura 63** - Zona de transição do filito prateado para o filito castanho avermelhado. I) Corte em planta. II) Corte paralelo a orientação da foliação.

Os setores 4 e 5 são formados por um filito roxo com presença de óxidos e hidróxidos de ferro. Na avaliação da resistência desses setores, pode ser observada uma certa dificuldade para raspar a rocha com aço. Nesses setores o filito foi classificado como uma rocha branda (R2) pouco alterada (A2) medianamente coerente (C2). O aumento da resistência nessa parte do maciço foi interpretado como consequência da presença de minerais de ferro, além de estar fora da zona de alteração.

Geologicamente, o maciço rochoso do Morro da Forca é constituído por um filito de cor roxa, intercalado por veios de quartzo boudinados concordantes com a foliação. Em cotas mais elevadas o filito se apresenta cinza ou até mesmo castanho avermelhado, resultado do alto grau de alteração na rocha. A textura apresentada é areno-siltosa (1-5mm), possuindo uma

porosidade elevada, onde o grau de alteração é maior. A foliação em todo o maciço é bem evidente e possui direção NNW/SSE com mergulho para SW. Todo maciço se encontra muito fraturado, das quais as principais famílias de fraturas possuem direção NW/SE com mergulho para NE (45/80) e NE/SW com mergulho para NW (315/80). As fraturas se apresentam com larguras centimétricas, sem preenchimento e totalmente secas. Uma descontinuidade importante é a interface saprolito-rocha formada pelo manto de intemperismo,

Em campo não foram observados surgências, sistemas de drenagem eficientes, e estruturas de estabilização em toda a encosta. As cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa encontradas em campo foram escorregamentos em cunha no talude de corte da rua Pacífico Homem, enquanto na encosta sul puderam ser notados escorregamentos planares. Os escorregamentos em cunha são ocasionados pela interseção da foliação mineral com a família de fraturas com direção NW/SE e mergulho para NE (45/80) em conjunto com a direção do corte para construção da via Pacífico Homem. Os escorregamentos planares podem ser gerados pelo fato de a foliação possuir ângulo de mergulho menor que o ângulo de mergulho da encosta no setor sul e mesma direção.

Em conclusão, o Morro da Força pode ser dividido em duas zonas (figura 62), separadas devido ao grau de alteração das rochas constituintes. Os setores de cota mais alta (setores 1 e 2), são representados por uma rocha extremamente branda de muito baixa resistência e alto grau de alteração, já os setores de cota mais baixa (3, 4 e 5) são representados por uma rocha branda de baixa resistência e grau médio de alteração. Essa diferença de resistência e grau de alteração entre os setores foi interpretada como a profundidade do manto de intemperismo no maciço, começando na cota 1100 (topo da encosta) atingindo a cota 1080 (20m de profundidade). In loco, é visível a quebra da vegetação entre essas duas zonas, por consequência do maior grau de alteração na Zona 1, a vegetação é de médio porte, possuindo material de caule lenhoso, enquanto a Zona 2 apresenta vegetação gramínea. Por estar instalada nas fraturas do maciço, as raízes da vegetação de médio porte podem ocasionar instabilidade através da abertura de trincas.



**Figura 64** - Zoneamento do Morro da Fora em relação ao grau de alteração das rochas constituintes.

#### 4.4 ANÁLISE DO MACIÇO ROCHOSO DA RUA VITORINO DIAS

A rua Vitorino Dias, também se encontra no domínio da Fm. Sabará, sendo semelhante em todas as características geológicas ao Morro da Força, tendo como descontinuidade mais

evidente a foliação com atitude N45W/40°SW. A grande diferença entre essas duas áreas é a ocupação urbana (figura 63).



**Figura 65** - Rua Vitorino Dias, detalhe da foliação predominante com atitude N45W/40°SW.

No caso do Morro da Forca, as edificações foram instaladas a jusante dos movimentos gravitacionais de massa, enquanto na rua Vitorino Dias as instalações se encontram a montante dos MGM. Dessa forma, foi possível analisar o comportamento do maciço quando sofre intervenção por ocupação urbana.

Em um sistema com geologia complexa, tal qual o Quadrilátero Ferrífero (QF), a ordenação de litotipos e até mesmo litofácies tem de levar em conta as características geológicas e geotécnicas de forma mais integrada possível. As discontinuidades presentes no maciço rochoso da área estudada podem atuar como fatores condicionantes de escorregamentos. Fernandes e Amaral (1996) afirmam que quando as foliações das rochas metamórficas mergulham para fora da encosta a situação é favorável aos movimentos de massa. Do contrário,

quando a foliação é confinada para o interior da encosta a situação é considerável mais favorável.



**Figura 64** - Edificações instaladas ao longo do maciço de filito na rua Vitorino Dias.

O talude de corte da rua Vitorino Dias, não apresenta a foliação favorável à movimentação do talude, no entanto suas intrusões de veios de quartzo e planos de fraturas podem desencadear deslocamentos em diversos pontos do talude. No caso de cortes a configuração em que o proprietário faz tal intervenção pode ser decisiva quanto a estabilidade do talude.

Os principais problemas geotécnicos levantados na rua Vitorino Dias são devidas as edificações serem implantadas rentes a crista do maciço, em um local com alta declividade, com fundações muitas vezes inadequadas. Somado às essas características a falta de um sistema de drenagem eficiente nos lotes; falta de manutenção das estruturas de estabilização. Nota-se que existem moradias que já foram interditadas pela Defesa Civil de Ouro Preto. Muitas das casas possuem o problema de lançamento das água cinza (água de cozinha e banheiro) sobre a

face dos taludes desencadeando processos erosivos (figura 64). Ainda foi verificado que a rua em sua totalidade, apresenta um sistema deficiente de drenagem pluvial.



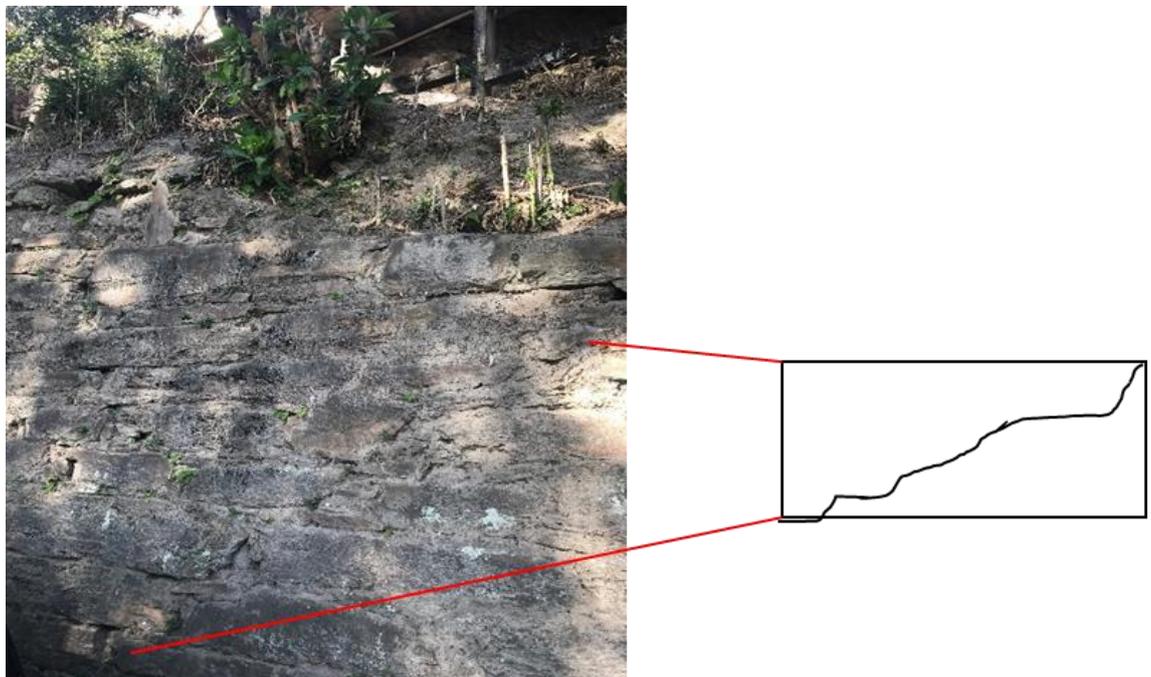
**Figura 66** - Água cinza lançada sobre a face do talude.

Ao longo da análise foi verificado que a principal estrutura de estabilização na via são os muros de gravidade de pedra (figura 65), tanto implantado pelo proprietário das edificações como pelo poder público.



**Figura 67** - Muros de gravidade de pedra.

No entanto, em alguns muros tanto de pedra indicativos de movimentação do terreno refletida nessas estruturas. Nos muros de pedra foram observados desalinhamento dos arranjos dos blocos, da base ao topo do muro, em ângulo de 45°. Da mesma forma os muros de cimento (não foram verificados que são estruturas de arrimo) também apresentam trincas nesse ângulo indicando movimentação do terreno (figura 67).



**Figura 68** - Feição de trinca no muro de pedra indicando movimentação do talude.

Foi observado ainda que alguns muros possuem pontos de drenos do tipo barbacã, porém possuem trincas de movimentação indicando a medida esta deficiente. Com trincas foram como de cimento possuem trincas em  $45^\circ$  indicando movimentação do maciço (figura 67).



**Figura 69** - Sinal de movimentação do talude com trincas no muro de cimento e nos drenos.

No pé da encosta, o mesmo filito roxo do setor 5 (R2, A2, C2) foi encontrado, porém a rocha apresentava-se úmida e foram notados dois possíveis instrumentos para medição do nível de água (figura 68).



**Figura 70** - Detalhe para os instrumentos no talude úmido.

Seguindo ao longo da rua observou-se a existência de um contraforte, logo após um muro de gravidade de pedras, implantado provavelmente pelo poder público, com necessidade de manutenção (figura 69)



**Figura 71** - Contraforte com necessidade de manutenção.

As rochas onde estão instaladas as fundações das moradias se encontram muito alteradas, e por vezes, notou-se que a erosão retirou uma parte do maciço, expondo a ferragem dos pilares as intempéries e deixando parte da casa em terreno negativo (figura 70 e 71). Outro fator crítico trata-se das edificações serem implantadas rente a crista do maciço bastante alterado com presença de erosões em alguns pontos, produzindo um bulbo de tensões induzidas no maciço pela sobrecarga gerada pela casa no corte de talude podendo causar a sua ruptura, ademais, devido ao fato do sistema de drenagem das casas, seja de coleta de água de chuva, seja de águas cinzas serem precários, podem agravar ainda mais a situação, elevado o perigo dessas casas serem afetadas pelo MGM .



**Figura 72** - Edificação na crista do talude alterado por processos erosivos.



**Figura 73** - Ferragens expostas as intempéries.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

---

#### 5.1 COMPORTAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DO MACIÇO ROCHOSO

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento geológico-geotécnico do maciço rochoso do Morro da Forca, no intuito de demonstrar de forma clara e simples os mecanismos de instabilização do mesmo. Através da caracterização dos parâmetros de geológicos e geotécnicos foi indicada uma forma de intervenção para estabilização da encosta. Para tanto, o estudo se desenvolveu com levantamentos de campo, elaboração de uma Ficha de Campo para coleta de dados e aplicação dos sistemas de classificação geomecânica das litofácies encontradas em campo.

O maciço do Morro da Forca está inserido na Formação Sabará, e na área de estudo é caracterizado por um filito de cor castanho avermelhado quando muito alterado até um filito roxo, quando menos alterado. O manto de intemperismo possui profundidade de até 25m, sendo possível notar a quebra de revelo e vegetação. Na zona mais alterada do maciço, a rocha possui um valor de resistência entre 0,25-1,0 MPa (R0) extrema alteração (A5) e sem coerência (C5), enquanto na zona menos alterada possui valores entre 5,0-25,0 MPa (R2) pouca alteração (A2) e medianamente coerente.

A avaliação geotécnica demonstrou que o maciço rochoso é fraturado por duas famílias principais de fraturas, com atitudes NW/SE com mergulho para NE (45/80) e NE/SW com mergulho para NW (315/80). Essas discontinuidades aliadas a interface saprolito-rocha formam os principais mecanismos de instabilização do maciço.

As rupturas planares são encontradas no setor sul do maciço, e estão associadas a foliação possuir um menor ângulo de mergulho que o ângulo de mergulho da encosta e a mesma direção. Já os escorregamentos em cunha estão associados a família de fraturas NW/SE com mergulho para NE e a foliação mineral.

O desenvolvimento da ficha de campo elaborada especificamente para caracterização geológica geotécnica de maciços rochosos cria bases para uma análise qualitativa do maciço e seu comportamento diante de intervenções. Com o intuito de auxiliar a fiscalização da Defesa civil, gerando uma padronização dos dados coletados para compor o Banco de Dados do COMPDEC, essa ferramenta contribui para análise pontual dos taludes permitindo a indicação de ações mitigadoras e de minimização dos riscos em que estão sujeitas as residências, portanto aos seus moradores.

## **5.2 INDICAÇÕES DE OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO**

O maciço rochoso do Morro da Força pode ser dividido em duas zonas devido o manto de intemperismo. Na zona de cota mais alta o intemperismo foi responsável pelo aumento da porosidade do material, produzindo uma rocha de maior permeabilidade. Neste contexto um sistema de drenagem eficiente deve ser construído no topo do maciço, no intuito de direcionar as águas das chuvas para longe da face dos taludes da encosta. Além disso a alta permeabilidade das litofácies de cota mais alta faz com que as águas meteóricas infiltrem com facilidade no maciço, aumentando a sua instabilidade. Um sistema de drenagem eficiente também evitaria que a água infiltrasse até a interface saprolito-rocha, onde ficaria retida pela diferença de permeabilidade devido ao grau de alteração, também aumentando a instabilidade.

Entre os mecanismos de ruptura presentes no maciço do Morro da Força, a foliação penetrativa está associada tanto nos escorregamentos em cunha quanto nos planares. Sendo assim, uma forma de evitar esse tipo de mecanismo consiste em aumentar a resistência a tração dessa descontinuidade. Como a foliação se orienta segundo NNW/SSE mergulhando para SW, telas atirantadas com direção perpendicular ao plano de foliação da rocha aumentariam a resistência dessa descontinuidade, resultando em uma maior estabilidade do maciço. Além disso, recomenda-se a instalação de manto vegetal em toda a encosta para evitar o carreamento de partículas do solo ocasionando ravinas. Durante a revegetação é indicado a retirada de raízes de árvores que estejam encaixadas em fraturas, evitando assim queda de blocos.

Na rua Vitorino Dias também é precário o sistema de drenagem existente. Muitas das vezes as águas cinzas são lançadas diretamente sobre a face dos taludes, aumentando a

velocidade do processo de erosão. Essa alteração do meio causada pela ocupação tem de ser melhor estudada, pois a metodologia aplicada neste estudo não contempla uma análise quantitativa de estabilidade dessa região. Seriam necessários ensaios laboratoriais, tais como ensaios de compressão triaxial e uniaxial, cisalhamento direto em amostras indeformadas de todo o talude, no intuito de quantificar o valor de resistência a tração e coesão, podendo assim se utilizar de uma análise de estabilidade mais real possível.

Timo, V. P. 2019, Caracterização geológica-geotécnica e proposta de estabilização do maciço rochoso do Morro da Forca...

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Bienawski, Z.T. 1986. *Engineering Classification of jointed rock masses*. In transactions of the South African Institution of Civil Engineers, 15(12), p.355-344.
- Carvalho, E.T. 1982. Carta Geotécnica de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 92p.
- Chades, S.B. 2018. Desenvolvimento e aplicação de planilha de campo e identificação de áreas de risco geológico-geotécnico para a defesa civil de Ouro Preto - MG. Monografia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 76p.
- Chemale, F. Jr.; Rosiére, C.A. & Endo, I. 1991. Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais - um modelo. Pesquisas, 18(2): 104-127.
- Corteletti, R. C. 2017. Metodologia para análise de riscos geológico-geotécnicos em ferrovias: Estrada de Ferro Carajás (EFC) I ed. Ouro Preto, MG: Editora UFOP. 222p.
- Corteletti, R.C.; Filgueiras, R.A.C. Projeto de contenção da encosta do morro do Itararé - Associação do Funcionários da Baixada Santista. São Vicente, SP. Vale Fertilizantes. 180p.
- CPRM, 2015. Relatório de ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes - Ouro Preto. Dezembro, 2016.
- Deere, D.U. 1989. *General report: Engineering geological problems related to foundations and excavations in weak rocks*. Proc. 5th Int. Congress, Int. Assoc. Engineering Geology, Buenos Aires, vol.4, pp. 241-242.
- Dobereiner, L. 1984. *Engineering geology of weak sandstones*. Tese de Pós-Doutorado. Imperial College of Science and Technology. Universidade de Londres. 471p.
- Donassolo, A. 2017. Classificação de perigo de movimentos de massa em rodovias utilizando o método analytic hierarchy process (AHP). Estudo de caso: Rodovia RS-115, Taquara - Gramado, RS. p.200.
- Dorr, J.V.N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. Washington Geol. Survey Prof. Paper. 110p. (641-A).
- Endo, I. 1997. Regimes Tectônicos do Arqueano e Proterozóico no Interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes, Minas Gerais. Doctor Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 383p.
- Fernandes, N. F. Amaral, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B (org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194. 1996
- Franco, A.S. & Endo, I. 2004. Sinclinal Ouro Fino Revisado, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Uma Hipótese sobre a sua Origem e Evolução. Revista Brasileira de Geociências, 32: 149-167.
- Giambastini, M. 2004. Comportamento Dependente do Tempo de Rochas Sulfáticas de Anidrita e Gipso. Doctor Thesis, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 465p.
- Gonçalves. D.M. 2014. Reabilitação de taludes de escavação em rochas de baixa resistência na ER 266. MS Dissertation, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 199p.
- Hawkins, A.B. 1988. *Aspects of rock strenght. Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. IAEG, vol. 57, n°1, p.17-30.

- Timo, V. P. 2019, Caracterização geológica-geotécnica e proposta de estabilização do maciço rochoso do Morro da Forca....
- Hoek, E. & Bray, J.W. 1981. *Rock slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy*, 3ed. London, 385p.
- Hungr, O.; Leroueil, S.; Picarelli, L. *The Varnes classification of landslide types, na update. Landslides*, v.11, n.2, p.167-194, 2014.
- IAEG. 1990. *Comission on Landslides. Suggested nomenclature for landslides*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 41, p13-16.
- ISRM, 1978. *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. Jointed Rock Mechanics Min. Sci. Geomech. Abstr., vol.16, n°2, p.135-140.
- ISRM, 1981. *Basic geotechnical description of rock masses*. International Society of Rock Mechanics. Commission on the Classification of Rock and Rock Masses. International Jointed Rock Mechanics. Min. Sci. Geomech. Abstr., 18, pp.85-110.
- Lopes, A.S. 2003. Interpretação de Análise de Solo: Conceitos e Aplicações. Boletim Técnico n.º2. Associação Nacional para Difusão de Adubos, p50.
- Lopes, M. C. 2007. Comportamento Geotécnico e Mecanismos de Ruptura em Rochas Brandas Mina do Córrego do Sítio. MS Dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 125p.
- Nola, I.T.S. 2015. Avaliação de dados geológicos-geotécnicos prévios para elaboração de carta de eventos perigosos de movimentos de massa gravitacionais por meio de redes neurais artificiais e probabilidade. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, p351.
- Oliveira, N.C.D 2010. Soluções para a Estabilização de Taludes em linhas férreas. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia.126p.
- Parizotto, J.C.V. 2015. Degradação Hidromecânica de rochas brandas silto-argilosas. MS Dissertation, Universidade de São Paulo, São Carlos, 235p.
- Pinheiro, A. L. 2014. Influência das discontinuidades no comportamento geomecânico e nos modos de ruptura em taludes escavados em rochas brandas. Doctors Thesis, NUGEO, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 191p.
- Pinho, A. B. 2003. Caracterização geotécnica de maciços rochosos de baixa resistência. Tese de Doutorado. Universidade de Évora. 281p.
- Rocha, M. 1975. Estruturas subterrâneas, LNEC, Lisboa.
- Rocha, M. 1977. Alguns problemas relativos a mecânicas das rochas dos materiais de baixa resistência. Congresso Panamericano de Mecanica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, 5., Buenos Aires. p.489-514.
- Romana, M. 1985. New adjustment ratings for application of Bienawski classification to slopes. International Symposium on the role of Rock Mechanics. p.49-53.
- Silva, R.A.F. 2012. Aplicação da Engenharia Natural na Estabilização de Taludes. Tese de Mestrado. Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 127p.
- Stapledon, D.H. 1970. *Discussion of D.F. Coates paper classification of rock substance*. International Journal on Rock Mechanics Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, v.5, p371-373.
- Tavares, V.L.S. 2018. Proposta de Metodologia para índice de risco (iR) no distrito sede do município de Ouro Preto/MG: uma contribuição para a hierarquização das áreas de risco e as tomadas de decisões. MS Dissertation, NUGEO - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 186p.

Tecnosolo. (1979). Mapeamento geotécnico localizado. Rio de Janeiro (Relatório Técnico - 0826/79).

Tominaga, L.K. 2009. Desastres Naturais: conhecer para prevenir. Instituto geológico. São Paulo, 120p.

USGS 2004 United States Geological Survey. Landslides types and processes. Reston: U.S. Department of the Interior, 2004. Ficha informativa.

Vargas, E.A. 1992. Noções de Mecânica das Rochas. PUC/RJ. 160p.

Varnes, D.J. 1978. *Slope movement types and process. Landslides - analysis and control*. Transportation Research Board. Special Report 176, p11-13, 1978.

Williamsom, D.A.; Kuhn, C.R. The Unified Classification system. Rock engineering system for enineering purpouses. Philadelphia: American Society for Teste Materials, 1988. p7-16. (ASTM STP 984).

## Apêndice(s)

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos	
Rochas e Solos	
Dados Gerais	
Projeto: <i>Morro da Forca</i>	Data: <i>30/07/19</i>
Ponto: <i>Fim da Encosta</i>	Responsável: <i>Victor Y. Lima</i>
Coordenadas: X: _____ Y: _____ Z: _____	
Talude: _____	Encosta: <i>(\)</i> Corte <i>(/)</i>
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA	
Altura da Encosta	<input type="checkbox"/> < 2m
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m
	<input checked="" type="checkbox"/> 6 a 10m
	<input type="checkbox"/> > 10m
Inclinação da Encosta	<input type="checkbox"/> < 17°
	<input type="checkbox"/> 17° a 35°
	<input checked="" type="checkbox"/> 35° a 45°
	<input type="checkbox"/> > 45°
Extensão da Encosta	<input type="checkbox"/> até 120m
	<input type="checkbox"/> 120 a 200m
	<input type="checkbox"/> 200 a 300m
	<input type="checkbox"/> > 300m
Altura do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> < 10m
	<input type="checkbox"/> 10 a 20m
	<input type="checkbox"/> 20 a 30m
	<input type="checkbox"/> > 30m
Inclinação do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> 30 a 45°
	<input type="checkbox"/> 45 a 60°
	<input type="checkbox"/> 60 a 75°
	<input type="checkbox"/> 75 a 90°
Extensão do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> até 120m
	<input type="checkbox"/> 120 a 200m
	<input type="checkbox"/> 200 a 300m
	<input type="checkbox"/> > 300m
Orientação do plano de corte do talude ou encosta natural: <i>N70E</i>	
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	
Descrição geológica: <i>Filito castanho avermelhado com lineação de ondulação muito fraturado. Foliação penetrativa mergulhando p/ SW → condina no corte orientado 330/10°</i>	
Avaliação da Resistência do Material	
R0 (0,25 - 1,0 MPa)	<input checked="" type="checkbox"/> Rocha marcada com a unha.
R1 (1,0 - 5,0 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo.
R2 (5,0 - 25 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha pode ser raspada com dificuldade com canivete.
R3 (25 - 50 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha não pode ser raspada com canivete, porém é facilmente fraturada com o martelo.
R4 (50 - 100 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de mais de um golpe de martelo para se fraturar.
R5 (100 - 200 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de muitos golpes de martelo para se fraturar.
R6 (> 250 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha só pode ser lascada por golpes de martelo.
Avaliação do Grau de Alteração do Material	
A1 (Rocha Sã)	<input type="checkbox"/> Sem vestígios de alterações físicas e químicas dos minerais principais.
A2 (Pouco Alteração)	<input type="checkbox"/> Sinais de alteração incipientes dos minerais primários, pouco descolorida.
A3 (Alteração Mediana)	<input type="checkbox"/> Minerais medianamente alterados, muito descolorida.
A4 (Muito Alteração)	<input type="checkbox"/> Minerais muito alterados, as vezes pulverulento.
A5 (Extrema Alteração/Saprolito)	<input checked="" type="checkbox"/> Minerais principais totalmente decompostos, porém preservam suas estruturas originais.
Avaliação do Grau de Coerência do Material	
C1 (Muito Coerente)	<input type="checkbox"/> Som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Dificilmente riscada por aço.
C2 (Coerente)	<input type="checkbox"/> Som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Pode ser riscada por aço.
C3 (Medianamente Coerente)	<input type="checkbox"/> Som oco, quebra com facilidade ao golpe do martelo. Pode ser fragmentada pelos dedos.
C4 (Pouco Quebradiça)	<input type="checkbox"/> Quebra-se com facilidade ao golpe do martelo e/ou manualmente.
C5 (Sem coerente)	<input checked="" type="checkbox"/> Esfaraia-se ao golpe do martelo, desagregando-se manualmente. Pode ser riscada com unha.

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos				
<b>Caracterização das Descontinuidades</b>				
Número de família de fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> 1	Intervalo entre fraturas	<input type="checkbox"/> < 1 Fratura / m (Pouco fraturada F1)	
	<input checked="" type="checkbox"/> 2		<input checked="" type="checkbox"/> 1 - 5 Fraturas / m (Fraturada F2)	
	<input type="checkbox"/> 3		<input type="checkbox"/> 5 - 10 Fraturas / m (Muito fraturada F3)	
	<input type="checkbox"/> 4		<input type="checkbox"/> 10 - 20 Fraturas / m (Extremamente Fraturada F4)	
Largura das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> < 2mm	Rugosidade das fraturas	<input type="checkbox"/> Descontínua	
	<input type="checkbox"/> 2 a 3mm		<input type="checkbox"/> Ondulada	
	<input type="checkbox"/> 3		<input checked="" type="checkbox"/> Dentada	
	<input type="checkbox"/> 4		<input checked="" type="checkbox"/> Contínua planar	
Preenchimento das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> s/	Presença de água nas fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> Seca	
	<input type="checkbox"/> Quartzo		<input type="checkbox"/> Pequena vazão de fluxo	
	<input type="checkbox"/> Calcite		<input type="checkbox"/> Média vazão	
	<input type="checkbox"/> Silte		<input type="checkbox"/> Alta vazão	
Orientação das descontinuidades: F <sub>1</sub> 150/80 F <sub>2</sub> S <sub>1</sub> 220/70; 210/35; 200/52				
<b>CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA</b>				
Cobertura Vegetal da Encosta	<input type="checkbox"/> Sem cobertura vegetal.			
	<input checked="" type="checkbox"/> Rasteiras composta por gramíneas, musgos, líquens, e arbustos.			
	<input type="checkbox"/> Arbustiva composta por plantas de caule não lenhoso.			
	<input type="checkbox"/> Mata composta por cobertura de plantas silvestres de médio a grande porte.			
Sistema de Drenagem	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo			
	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.			
	<input checked="" type="checkbox"/> Insuficiente para mitigar perigo.			
	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente.			
Ocorrência de água	<input type="checkbox"/> Surgência em vários pontos do talude			
	<input type="checkbox"/> Surgência em um ponto do talude pé ( ), crista ( ), meio ( )			
	<input type="checkbox"/> Área Saturada			
	<input checked="" type="checkbox"/> Não observado			
Edificações a montante do possível movimento	<input type="checkbox"/> Moradias			
	<input type="checkbox"/> Prédios com funcionamento em horário comercial			
	<input type="checkbox"/> Depósitos			
	<input checked="" type="checkbox"/> Inexistentes <i>Outro Adiponto</i>			
Distância das edificações a montante do possível movimento	<input type="checkbox"/> < 2m			
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m 			
	<input type="checkbox"/> 6 a 10m			
	<input checked="" type="checkbox"/> > 10m			
Edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> Moradias			
	<input checked="" type="checkbox"/> Prédios com funcionamento em horário comercial			
	<input type="checkbox"/> Depósitos			
	<input type="checkbox"/> Inexistentes			
Distância das edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> < 2m			
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m 			
	<input type="checkbox"/> 6 a 10m			
	<input type="checkbox"/> > 10m			
Indícios de movimentos	<input type="checkbox"/> Blocos no pé do talude			
	<input type="checkbox"/> Trincas			
	<input type="checkbox"/> Embarrigamento no pé do talude			
	<input checked="" type="checkbox"/> Cicatrizes de movimentos antigos (Detalhar no item abaixo)			
Cicatrizes de escorregamentos antigos	<input checked="" type="checkbox"/> Escorregamento planar <i>O topo / drenagem ocasiona esses movimentos</i>			
	<input checked="" type="checkbox"/> Escorregamento circular			
	<input checked="" type="checkbox"/> Escorregamento em cunha			
	<input type="checkbox"/> Tombamento			
Estruturas de Estabilização	<input checked="" type="checkbox"/> Queda de blocos			
	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo			
	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.			
	<input checked="" type="checkbox"/> Insuficiente para mitigar perigo.			
<input checked="" type="checkbox"/> Não observado				

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos			
Rochas e Solos			
Dados Gerais			
Projeto: <i>Morro da Forca</i>			Data: <i>30/07/19</i>
Ponto: <i>Rua Pacifico Bonfim - Setor 4</i>	<i>15 m</i>	Responsável: <i>Vicente P. Timó</i>	
Coordenadas:	X: _____	Y: _____	Z: _____
Talude:	Encosta: ( )	Corte: (X)	
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA			
Altura da Encosta	<input type="checkbox"/>	< 2m	
	<input checked="" type="checkbox"/>	2 a 6m	
	<input type="checkbox"/>	6 a 10m	
	<input type="checkbox"/>	> 10m	
Inclinação da Encosta	<input type="checkbox"/>	< 17°	
	<input type="checkbox"/>	17° a 35°	
	<input type="checkbox"/>	35° a 45°	
	<input checked="" type="checkbox"/>	> 45°	
Extensão da Encosta	<input type="checkbox"/>	até 120m	
	<input type="checkbox"/>	120 a 200m	
	<input type="checkbox"/>	200 a 300m	
	<input type="checkbox"/>	> 300m	
Altura do Talude de Corte	<input checked="" type="checkbox"/>	< 10m	
	<input type="checkbox"/>	10 a 20m	
	<input type="checkbox"/>	20 a 30m	
	<input type="checkbox"/>	> 30m	
Inclinação do Talude de Corte	<input type="checkbox"/>	30 a 45°	
	<input checked="" type="checkbox"/>	45 a 60°	
	<input type="checkbox"/>	60 a 75°	
	<input type="checkbox"/>	75 a 90°	
Extensão do Talude de Corte	<input type="checkbox"/>	até 120m	
	<input type="checkbox"/>	120 a 200m	
	<input type="checkbox"/>	200 a 300m	
	<input type="checkbox"/>	> 300m	
Orientação do plano de corte do talude ou encosta natural: <i>corte p/ construção da via</i>			
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA			
Descrição geológica: <i>Filito arenoso muito alterado, com lineação de orientações foliação conspicua.</i>			
Avaliação da Resistência do Material			
R0 (0,25 - 1,0 MPa)	<input checked="" type="checkbox"/>	Rocha marcada com a unha.	
R1 (1,0 - 5,0 MPa)	<input type="checkbox"/>	Rocha esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo.	
R2 (5,0 - 25 MPa)	<input type="checkbox"/>	Rocha pode ser raspada com dificuldade com canivete.	
R3 (25 - 50 MPa)	<input type="checkbox"/>	Rocha não pode ser raspada com canivete, porém é facilmente fraturada com o martelo.	
R4 (50 - 100 MPa)	<input type="checkbox"/>	Rocha necessita de mais de um golpe de martelo para se fraturar.	
R5 (100 - 200 MPa)	<input type="checkbox"/>	Rocha necessita de muitos golpes de martelo para se fraturar.	
R6 (> 250 MPa)	<input type="checkbox"/>	Rocha só pode ser lascada por golpes de martelo.	
Avaliação do Grau de Alteração do Material			
A1 (Rocha Sã)	<input type="checkbox"/>	Sem vestígios de alterações físicas e químicas dos minerais principais.	
A2 (Pouca Alteração)	<input type="checkbox"/>	Sinais de alteração incipientes dos minerais primários, pouco descolorida.	
A3 (Alteração Mediana)	<input type="checkbox"/>	Minerais medianamente alterados, muito descolorida.	
A4 (Muito Alteração)	<input type="checkbox"/>	Minerais muito alterados, as vezes pulverulento.	
A5 (Extrema Alteração/Saprolito)	<input checked="" type="checkbox"/>	Minerais principais totalmente decompostos, porém preservam suas estruturas originais.	
Avaliação do Grau de Coerência do Material			
C1 (Muito Coerente)	<input type="checkbox"/>	Som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Dificilmente riscada por aço.	
C2 (Coerente)	<input type="checkbox"/>	Som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Pode ser riscada por aço.	
C3 (Medianamente Coerente)	<input type="checkbox"/>	Som oco, quebra com facilidade ao golpe do martelo. Pode ser fragmentada pelos dedos.	
C4 (Pouco Quebradiça)	<input checked="" type="checkbox"/>	Quebra-se com facilidade ao golpe do martelo e/ou manualmente.	
C5 (Sem coerente)	<input type="checkbox"/>	Esfara-se ao golpe do martelo, desagregando-se manualmente. Pode ser riscada com unha.	

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos			
<b>Caracterização das Descontinuidades</b>			
Número de família de fraturas	<input type="checkbox"/> 1	Intervalo entre fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> < 1 Fratura / m (Pouco fraturada F1)
	<input checked="" type="checkbox"/> 2		<input checked="" type="checkbox"/> 1 - 5 Fraturas / m (Fraturada F2)
	<input type="checkbox"/> 3		<input type="checkbox"/> 5 - 10 Fraturas / m (Muito fraturada F3)
	<input type="checkbox"/> 4		<input type="checkbox"/> 10 - 20 Fraturas / m (Extremamente Fraturada F4)
Largura das fraturas	<input type="checkbox"/> < 2mm	Rugosidade das fraturas	<input type="checkbox"/> Descontínua
	<input checked="" type="checkbox"/> 2 a 3mm		<input type="checkbox"/> Ondulada
	<input type="checkbox"/> 3		<input checked="" type="checkbox"/> Dentada
	<input type="checkbox"/> 4		<input type="checkbox"/> Contínua planar
Preenchimento das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> s/	Presença de água nas fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> Seca
	<input type="checkbox"/> Quartzo		<input type="checkbox"/> Pequena vazão de fluxo
	<input type="checkbox"/> Calcita		<input type="checkbox"/> Média vazão
	<input type="checkbox"/> Silte		<input type="checkbox"/> Alta vazão
Orientação das descontinuidades: <del>S<sub>0</sub> / 65 F, 250 / 65</del> S <sub>1</sub> : N45W / 40° SW			
<b>CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA</b>			
Cobertura Vegetal da Encosta	<input type="checkbox"/> Sem cobertura vegetal.		
	<input checked="" type="checkbox"/> Mata composta por cobertura de plantas silvestres de médio a grande porte.		
Sistema de Drenagem	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo		
	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.		
	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente.		
Ocorrência de água	<input type="checkbox"/> Surgência em vários pontos do talude		
	<input type="checkbox"/> Surgência em um ponto do talude pé ( ), crista ( ), meio ( )		
	<input checked="" type="checkbox"/> Não observado		
Edificações a montante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> Moradias		
	<input type="checkbox"/> Prédios com funcionamento em horário comercial		
Distância das edificações a montante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> < 2m		
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m		
Edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> Moradias		
	<input type="checkbox"/> Prédios com funcionamento em horário comercial		
Distância das edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> < 2m		
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m		
Indícios de movimentos	<input checked="" type="checkbox"/> Blocos no pé do talude		
	<input checked="" type="checkbox"/> Trinças		
	<input checked="" type="checkbox"/> Embarrigamento no pé do talude		
	<input checked="" type="checkbox"/> Cicatrizes de movimentos antigos (Detalhar no item abaixo)		
Cicatrizes de escorregamentos antigos	<input type="checkbox"/> Escorregamento planar		
	<input type="checkbox"/> Escorregamento circular		
	<input type="checkbox"/> Escorregamento em cunha		
	<input checked="" type="checkbox"/> Queda de blocos		
Estruturas de Estabilização	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo		
	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.		
	<input type="checkbox"/> Insuficiente para mitigar perigo.		
	<input type="checkbox"/> Não observado		

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos	
Rochas e Solos	
Dados Gerais	
Projeto: <i>Morro da Forca</i>	Data: <i>30/07/19</i>
Ponto: <i>Rua Benedito Homem (Setor 2)</i>	Responsável: <i>Victor P. Timo</i>
Coordenadas: X: _____ Y: _____ Z: _____	
Talude: _____	Encosta: ( ) Corte (X)
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA	
Altura da Encosta	<input type="checkbox"/> < 2m <input type="checkbox"/> 2 a 6m <input type="checkbox"/> 6 a 10m <input type="checkbox"/> > 10m
Inclinação da Encosta	<input type="checkbox"/> < 17° <input type="checkbox"/> 17° a 35° <input type="checkbox"/> 35° a 45° <input type="checkbox"/> > 45°
Extensão da Encosta	<input type="checkbox"/> até 120m <input type="checkbox"/> 120 a 200m <input type="checkbox"/> 200 a 300m <input type="checkbox"/> > 300m
Altura do Talude de Corte	<input checked="" type="checkbox"/> < 10m <input type="checkbox"/> 10 a 20m <input type="checkbox"/> 20 a 30m <input type="checkbox"/> > 30m
Inclinação do Talude de Corte	<input checked="" type="checkbox"/> 30 a 45° <input type="checkbox"/> 45 a 60° <input type="checkbox"/> 60 a 75° <input type="checkbox"/> 75 a 90°
Extensão do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> até 120m <input type="checkbox"/> 120 a 200m <input type="checkbox"/> 200 a 300m <input type="checkbox"/> > 300m
Orientação do plano de corte do talude ou encosta natural: <i>É corte p/ construção da via</i>	
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	
Descrição geológica: <i>Filito castanho avermelhado intercalado c/ filito proteado. Anéis arredondados, foliação bem evidente. A crenulação parece estar direcionada ao mergulho da foliação</i>	
Avaliação da Resistência do Material	
R0 (0,25-1,0 MPa)	<input checked="" type="checkbox"/> Rocha marcada com a unha.
R1 (1,0 - 5,0 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo.
R2 (5,0 - 25 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha pode ser raspada com dificuldade com canivete.
R3 (25 - 50 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha não pode ser raspada com canivete, porém é facilmente fraturada com o martelo.
R4 (50 - 100 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de mais de um golpe de martelo para se fraturar.
R5 (100 - 200 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de muitos golpes de martelo para se fraturar.
R6 (> 250 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha só pode ser lascada por golpes de martelo.
Avaliação do Grau de Alteração do Material	
A1 (Rocha Sã)	<input type="checkbox"/> Sem vestígios de alterações físicas e químicas dos minerais principais.
A2 (Pouco Alteração)	<input type="checkbox"/> Sinais de alteração incipientes dos minerais primários, pouco descolorida.
A3 (Alteração Mediana)	<input type="checkbox"/> Minerais medianamente alterados, muito descolorida.
A4 (Muito Alteração)	<input type="checkbox"/> Minerais muito alterados, as vezes pulverulento.
A5 (Extrema Alteração/Saprolito)	<input checked="" type="checkbox"/> Minerais principais totalmente decompostos, porém preservam suas estruturas originais.
Avaliação do Grau de Coerência do Material	
C1 (Muito Coerente)	<input type="checkbox"/> Som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Dificilmente riscada por aço.
C2 (Coerente)	<input type="checkbox"/> Som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Pode ser riscada por aço.
C3 (Medianamente Coerente)	<input checked="" type="checkbox"/> Som oco, quebra com facilidade ao golpe do martelo. Pode ser fragmentada pelos dedos.
C4 (Pouco Quebradiça)	<input checked="" type="checkbox"/> Quebra-se com facilidade ao golpe do martelo e/ou manualmente.
C5 (Sem coerente)	<input type="checkbox"/> Esfala-se ao golpe do martelo, desagregando-se manualmente. Pode ser riscada com unha.

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos			
<b>Caracterização das Descontinuidades</b>			
Número de família de fraturas	<input type="checkbox"/> 1	Intervalo entre fraturas	<input type="checkbox"/> < 1 Fratura / m (Pouco fraturada F1)
	<input checked="" type="checkbox"/> 2		<input checked="" type="checkbox"/> 1 - 5 Fraturas / m (Fraturada F2)
	<input type="checkbox"/> 3		<input type="checkbox"/> 5 - 10 Fraturas / m (Muito fraturada F3)
	<input type="checkbox"/> 4		<input type="checkbox"/> 10 - 20 Fraturas / m (Extremamente Fraturada F4)
Largura das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> < 2mm	Rugosidade das fraturas	<input type="checkbox"/> Descontínua
	<input type="checkbox"/> 2 a 3mm		<input type="checkbox"/> Ondulada
	<input type="checkbox"/> 3		<input type="checkbox"/> Dentada
	<input type="checkbox"/> 4		<input checked="" type="checkbox"/> Contínua planar
Preenchimento das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> s/	Presença de água nas fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> Seca
	<input type="checkbox"/> Quartzo		<input type="checkbox"/> Pequena vazão de fluxo
	<input type="checkbox"/> Calcita		<input type="checkbox"/> Média vazão
	<input type="checkbox"/> Silte		<input type="checkbox"/> Alta vazão
Orientação das descontinuidades: S <sub>2</sub> : mergulho pl SW			
<b>CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA</b>			
Cobertura Vegetal da Encosta	<input type="checkbox"/> Sem cobertura vegetal.		
	<input type="checkbox"/> Rasteiras composta por gramíneas, musgos, líquens, e arbustos.		
	<input type="checkbox"/> Arbustiva composta por plantas de caule não lenhoso.		
	<input checked="" type="checkbox"/> Mata composta por cobertura de plantas silvestres de médio a grande porte.		
Sistema de Drenagem	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo.		
	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.		
	<input type="checkbox"/> Insuficiente para mitigar perigo.		
	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente.		
Ocorrência de Água	<input type="checkbox"/> Surgência em vários pontos do talude		
	<input type="checkbox"/> Surgência em um ponto do talude pé ( ), crista ( ), meio ( )		
	<input type="checkbox"/> Área Saturada		
	<input checked="" type="checkbox"/> Não observado		
Edificações a montante do possível movimento	<input type="checkbox"/> Moradias		
	<input type="checkbox"/> Prédios com funcionamento em horário comercial		
	<input type="checkbox"/> Depósitos		
	<input checked="" type="checkbox"/> Inexistentes		
Distância das edificações a montante do possível movimento	<input type="checkbox"/> < 2m		
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m 		
	<input type="checkbox"/> 6 a 10m		
	<input type="checkbox"/> > 10m		
Edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> Moradias		
	<input type="checkbox"/> Prédios com funcionamento em horário comercial		
	<input type="checkbox"/> Depósitos		
	<input type="checkbox"/> Inexistentes		
Distância das edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> < 2m 		
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m		
	<input type="checkbox"/> 6 a 10m		
	<input type="checkbox"/> > 10m		
Indícios de movimentos	<input checked="" type="checkbox"/> Blocos no pé do talude		
	<input type="checkbox"/> Trincas		
	<input type="checkbox"/> Embarrigamento no pé do talude		
	<input checked="" type="checkbox"/> Cicatrizes de movimentos antigos (Detalhar no item abaixo)		
Cicatrizes de escorregamentos antigos	<input type="checkbox"/> Escorregamento planar		
	<input type="checkbox"/> Escorregamento circular		
	<input type="checkbox"/> Escorregamento em cunha		
	<input type="checkbox"/> Tombamento		
	<input checked="" type="checkbox"/> Queda de blocos		
Estruturas de Estabilização	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo		
	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.		
	<input type="checkbox"/> Insuficiente para mitigar perigo.		
	<input checked="" type="checkbox"/> Não observado		

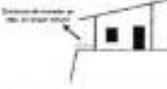
Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos	
Rochas e Solos	
Dados Gerais	
Projeto: <i>Morro da Forca</i>	Data: <i>30/07/19</i>
Ponto: <i>Sua Profª Norma (Sítio 3)</i>	Responsável: <i>Victor P. Timo</i>
Coordenadas: X: Y: Z:	
Talude: Encosta: ( ) Corte: (X)	
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA	
Altura da Encosta	<input type="checkbox"/> < 2m <input type="checkbox"/> 2 a 6m <input type="checkbox"/> 6 a 10m <input type="checkbox"/> > 10m
Inclinação da Encosta	<input type="checkbox"/> < 17° <input type="checkbox"/> 17° a 35° <input type="checkbox"/> 35° a 45° <input type="checkbox"/> > 45°
Extensão da Encosta	<input type="checkbox"/> até 120m <input type="checkbox"/> 120 a 200m <input type="checkbox"/> 200 a 300m <input type="checkbox"/> > 300m
Altura do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> < 10m <input type="checkbox"/> 10 a 20m <input checked="" type="checkbox"/> 20 a 30m <input type="checkbox"/> > 30m
Inclinação do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> 30 a 45° <input type="checkbox"/> 45 a 60° <input type="checkbox"/> 60 a 75° <input checked="" type="checkbox"/> 75 a 90°
Extensão do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> até 120m <input type="checkbox"/> 120 a 200m <input type="checkbox"/> 200 a 300m <input type="checkbox"/> > 300m
Orientação do plano de corte do talude ou encosta natural: <i>Corte feito p/ construção da via</i>	
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	
Descrição geológica: <i>Esisto castanho avermelhado c/ veios de quartzo boudin Foliação bem evidente.</i>	
Avaliação da Resistência do Material	
R0 (0,25 - 1,0 MPa) R1 (1,0 - 5,0 MPa) R2 (5,0 - 25 MPa) R3 (25 - 50 MPa) R4 (50 - 100 MPa) R5 (100 - 200 MPa) R6 (> 250 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha marcada com a unha. <input checked="" type="checkbox"/> Rocha esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo. <input type="checkbox"/> Rocha pode ser raspada com dificuldade com canivete. <input type="checkbox"/> Rocha não pode ser raspada com canivete, porém é facilmente fraturada com o martelo. <input type="checkbox"/> Rocha necessita de mais de um golpe de martelo para se fraturar. <input type="checkbox"/> Rocha necessita de muitos golpes de martelo para se fraturar. <input type="checkbox"/> Rocha só pode ser lascada por golpes de martelo.
Avaliação do Grau de Alteração do Material	
A1 (Rocha Sã) A2 (Pouco Alteração) A3 (Alteração Mediana) A4 (Muito Alteração) A5 (Extrema Alteração/Saprolito)	<input type="checkbox"/> Sem vestígios de alterações físicas e químicas dos minerais principais. <input type="checkbox"/> Sinais de alteração incipientes dos minerais primários, pouco descolorida. <input type="checkbox"/> Minerais medianamente alterados, muito descolorida. <input type="checkbox"/> Minerais muito alterados, as vezes pulverulento. <input checked="" type="checkbox"/> Minerais principais totalmente decompostos, porém preservam suas estruturas originais.
Avaliação do Grau de Coerência do Material	
C1 (Muito Coerente) C2 (Coerente) C3 (Medianamente Coerente) C4 (Pouco Quebradiça) C5 (Sem coerente)	<input type="checkbox"/> Som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Difícilmente riscada por aço. <input checked="" type="checkbox"/> Som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Pode ser riscada por aço. <input type="checkbox"/> Som oco, quebra com facilidade ao golpe do martelo. Pode ser fragmentada pelos dedos. <input type="checkbox"/> Quebra-se com facilidade ao golpe do martelo e/ou manualmente. <input type="checkbox"/> Esfala-se ao golpe do martelo, desagregando-se manualmente. Pode ser riscada com unha.

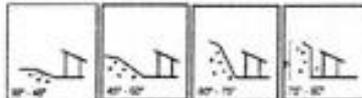
Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos						
<b>Caracterização das Descontinuidades</b>						
Número de família de fraturas	<input checked="" type="checkbox"/>	1	Intervalo entre fraturas	< 1 Fratura / m (Pouco fraturada F1)		
		2		<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 5 Fraturas / m (Fraturada F2)	
		3			5 - 10 Fraturas / m (Muito fraturada F3)	
		4			10 - 20 Fraturas / m (Extremamente Fraturada F4)	
Largura das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/>	< 2mm	Rugosidade das fraturas	Descontínua		
		2 a 3mm			Ondulada	
		3			Dentada	
		4		<input checked="" type="checkbox"/>	Contínua planar	
Preenchimento das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/>	s/	Presença de água nas fraturas	<input checked="" type="checkbox"/>	Seca	
		Quartzo				Pequena vazão de fluxo
		Calcita				Média vazão
		Silte				Alta vazão
Orientação das descontinuidades: <i>S<sub>1</sub> - 200/38</i> <i>Apenas foliação</i>						
<b>CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA</b>						
Cobertura Vegetal da Encosta		Sem cobertura vegetal.				
		Rasteiras composta por gramíneas, musgos, líquens, e arbustos.				
		Arbustiva composta por plantas de caule não lenhoso.				
	<input checked="" type="checkbox"/>	Mata composta por cobertura de plantas silvestres de médio a grande porte.				
Sistema de Drenagem		Suficiente para mitigar perigo				
		Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.				
		Insuficiente para mitigar perigo.				
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ausente.				
Ocorrência de água		Surgência em vários pontos do talude				
		Surgência em um ponto do talude pé ( ), crista ( ), meio ( )				
		Área Saturada				
	<input checked="" type="checkbox"/>	Não observado				
Edificações a montante do possível movimento		Moradias				
		Prédios com funcionamento em horário comercial				
		Depósitos				
	<input checked="" type="checkbox"/>	Inexistentes				
Distância das edificações a montante do possível movimento		< 2m				
		2 a 6m				
		6 a 10m				
		> 10m				
Edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/>	Moradias				
		Prédios com funcionamento em horário comercial				
		Depósitos				
		Inexistentes				
Distância das edificações a jusante do possível movimento		< 2m				
	<input checked="" type="checkbox"/>	2 a 6m				
		6 a 10m				
		> 10m				
Indícios de movimentos		Blocos no pé do talude				
		Trincas				
		Embarçamento no pé do talude				
		Cicatrices de movimentos antigos (Detalhar no item abaixo)				
Cicatrices de escorregamentos antigos		Escorregamento planar				
		Escorregamento circular				
		Escorregamento em cunha				
		Tombamento				
		Queda de blocos				
Estruturas de Estabilização		Suficiente para mitigar perigo				
		Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.				
		Insuficiente para mitigar perigo.				
	<input checked="" type="checkbox"/>	Não observado				

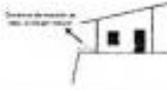
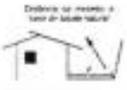
*Aparentemente o modo de intemperismo em uma descontinuidade*

*entre foliação orientada e o possível*

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos	
Rochas e Solos	
Dados Gerais	
Projeto: <i>Morro da Forca</i>	Data: <i>10/07/19</i>
Ponto: <i>Rua Paschoa Pereira (Sabor 4)</i>	Responsável: <i>Victor P. Timo</i>
Coordenadas: X: _____ Y: _____ Z: _____	
Talude: _____	Encosta: ( ) Corte (X)
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA	
Altura da Encosta	<input type="checkbox"/> < 2m
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m
	<input type="checkbox"/> 6 a 10m
	<input type="checkbox"/> > 10m
Inclinação da Encosta	<input type="checkbox"/> < 17°
	<input type="checkbox"/> 17° a 35° 
	<input type="checkbox"/> 35° a 45° 
	<input type="checkbox"/> > 45° 
Extensão da Encosta	<input type="checkbox"/> até 120m
	<input type="checkbox"/> 120 a 200m
	<input type="checkbox"/> 200 a 300m
	<input type="checkbox"/> > 300m
Altura do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> < 10m
	<input type="checkbox"/> 10 a 20m
	<input checked="" type="checkbox"/> 20 a 30m
	<input type="checkbox"/> > 30m
Inclinação do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> 30 a 45° 
	<input type="checkbox"/> 45 a 60° 
	<input type="checkbox"/> 60 a 75° 
	<input checked="" type="checkbox"/> 75 a 90° 
Extensão do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> até 120m
	<input type="checkbox"/> 120 a 200m
	<input type="checkbox"/> 200 a 300m
	<input type="checkbox"/> > 300m
Orientação do plano de corte do talude ou encosta natural: <i>Corte feito na construção da via.</i>	
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	
Descrição geológica: <i>filito proteído comulado e foliação muito evidente</i>	
Avaliação da Resistência do Material	
R0 (0,25-1,0 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha marcada com a unha.
R1 (1,0 - 5,0 MPa)	<input checked="" type="checkbox"/> Rocha esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo.
R2 (5,0 - 25 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha pode ser raspada com dificuldade com canivete.
R3 (25 - 50 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha não pode ser raspada com canivete, porém é facilmente fraturada com o martelo.
R4 (50 - 100 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de mais de um golpe de martelo para se fraturar.
R5 (100 - 200 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de muitos golpes de martelo para se fraturar.
R6 (> 250 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha só pode ser lascada por golpes de martelo.
Avaliação do Grau de Alteração do Material	
A1 (Rocha Sã)	<input type="checkbox"/> Sem vestígios de alterações físicas e químicas dos minerais principais.
A2 (Pouca Alteração)	<input type="checkbox"/> Sinais de alteração incipientes dos minerais primários, pouco descolorida.
A3 (Alteração Mediana)	<input type="checkbox"/> Minerais medianamente alterados, muito descolorida.
A4 (Muito Alteração)	<input type="checkbox"/> Minerais muito alterados, às vezes pulverulento.
A5 (Extrema Alteração/Saprolito)	<input checked="" type="checkbox"/> Minerais principais totalmente decompostos, porém preservam suas estruturas originais.
Avaliação do Grau de Coerência do Material	
C1 (Muito Coerente)	<input type="checkbox"/> Som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Dificilmente riscada por aço.
C2 (Coerente)	<input type="checkbox"/> Som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Pode ser riscada por aço.
C3 (Medianamente Coerente)	<input checked="" type="checkbox"/> Som oco, quebra com facilidade ao golpe do martelo. Pode ser fragmentada pelos dedos.
C4 (Pouco Quebradiça)	<input type="checkbox"/> Quebra-se com facilidade ao golpe do martelo e/ou manualmente.
C5 (Sem coerente)	<input type="checkbox"/> Esfara-la-se ao golpe do martelo, desagregando-se manualmente. Pode ser riscada com unha.

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos					
<b>Caracterização das Descontinuidades</b>					
Número de família de fraturas	<input checked="" type="checkbox"/>	1	Intervalo entre fraturas	<input checked="" type="checkbox"/>	< 1 Fratura / m (Pouco fraturada F1)
		2			1 - 5 Fraturas / m (Fraturada F2)
		3			5 - 10 Fraturas / m (Muito fraturada F3)
		4			10 - 20 Fraturas / m (Extremamente fraturada F4)
Largura das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/>	< 2mm	Rugosidade das fraturas		Descontínua
		2 a 3mm			Ondulada
		3			Dentada
		4		<input checked="" type="checkbox"/>	Contínua planar
Preenchimento das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/>	s/	Presença de água nas fraturas	<input checked="" type="checkbox"/>	Seca
		Quartzo			Pequena vazão de fluxo
		Calcita			Média vazão
		Silte			Alta vazão
Orientação das descontinuidades: S <sub>4</sub> '					
<b>CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA</b>					
Cobertura Vegetal da Encosta		Sem cobertura vegetal.			
		Rasteiras composta por gramineas, musgos, líquens, e arbustos.			
		Arbustiva composta por plantas de caule não lenhoso.			
	<input checked="" type="checkbox"/>	Mata composta por cobertura de plantas silvestres de médio a grande porte.			
Sistema de Drenagem		Suficiente para mitigar perigo			
		Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.			
		Insuficiente para mitigar perigo.			
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ausente.			
Ocorrência de água		Surgência em vários pontos do talude			
		Surgência em um ponto do talude pé ( ), crista ( ), meio ( )			
		Área Saturada			
	<input checked="" type="checkbox"/>	Não observado			
Edificações a montante do possível movimento		Moradias			
		Prédios com funcionamento em horário comercial			
		Depósitos			
		Inexistentes			
Distância das edificações a montante do possível movimento		< 2m			
		2 a 6m			
		6 a 10m			
		> 10m			
	<input checked="" type="checkbox"/>				
Edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/>	Moradias			
	<input checked="" type="checkbox"/>	Prédios com funcionamento em horário comercial			
		Depósitos			
		Inexistentes			
Distância das edificações a jusante do possível movimento		< 2m			
		2 a 6m			
	<input checked="" type="checkbox"/>	6 a 10m			
		> 10m			
Indícios de movimentos		Blocos no pé do talude			
		Trinças			
		Embarrigamento no pé do talude			
		Cicatrizes de movimentos antigos (Detalhar no item abaixo)			
Cicatrizes de escorregamentos antigos		Escorregamento planar			
		Escorregamento circular			
		Escorregamento em cunha			
		Tombamento			
		Queda de blocos			
Estruturas de Estabilização		Suficiente para mitigar perigo			
		Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.			
		Insuficiente para mitigar perigo.			
	<input checked="" type="checkbox"/>	Não observado			

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos	
Rochas e Solos	
Dados Gerais	
Projeto: <i>Morro da Forca</i>	Data: <i>30/03/19</i>
Ponto: <i>Rua Pacifico Homem (Solar 5)</i>	Responsável: <i>Victor P. Timo</i>
Coordenadas: X: _____ Y: _____ Z: _____	
Talude: _____	Encosta: ( ) Corte (X)
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA	
Altura da Encosta	<input type="checkbox"/> < 2m
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m
	<input type="checkbox"/> 6 a 10m
	<input type="checkbox"/> > 10m
Inclinação da Encosta	<input type="checkbox"/> < 17°
	<input type="checkbox"/> 17° a 35°
	<input type="checkbox"/> 35° a 45°
	<input type="checkbox"/> > 45°
	
Extensão da Encosta	<input type="checkbox"/> até 120m
	<input type="checkbox"/> 120 a 200m
	<input type="checkbox"/> 200 a 300m
	<input type="checkbox"/> > 300m
Altura do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> < 10m
	<input type="checkbox"/> 10 a 20m
	<input type="checkbox"/> 20 a 30m
	<input checked="" type="checkbox"/> > 30m
Inclinação do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> 30 a 45°
	<input type="checkbox"/> 45 a 60°
	<input type="checkbox"/> 60 a 75°
	<input checked="" type="checkbox"/> 75 a 90°
	
Extensão do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> até 120m
	<input type="checkbox"/> 120 a 200m
	<input type="checkbox"/> 200 a 300m
	<input type="checkbox"/> > 300m
Orientação do plano de corte do talude ou encosta natural: <i>O plano de corte da talude se encontra orientado pela via.</i>	
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	
Descrição geológica: <i>A rocha é um folito de cor arroxeada/overmelhada com foliação bem evidente. É muito mais sã que as rochas das outras <sup>áreas</sup> sítio.</i>	
Avaliação da Resistência do Material	
R0 (0,25-1,0 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha marcada com a unha.
R1 (1,0 - 5,0 MPa)	<input checked="" type="checkbox"/> Rocha esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo.
R2 (5,0 - 25 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha pode ser raspada com dificuldade com canivete.
R3 (25 - 50 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha não pode ser raspada com canivete, porém é facilmente fraturada com o martelo.
R4 (50 - 100 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de mais de um golpe de martelo para se fraturar.
R5 (100 - 200 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de muitos golpes de martelo para se fraturar.
R6 (> 250 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha só pode ser lascada por golpes de martelo.
Avaliação do Grau de Alteração do Material	
A1 (Rocha Sã)	<input type="checkbox"/> Sem vestígios de alterações físicas e químicas dos minerais principais.
A2 (Pouco Alteração)	<input type="checkbox"/> Sinais de alteração incipientes dos minerais primários, pouco descolorida.
A3 (Alteração Mediana)	<input type="checkbox"/> Minerais medianamente alterados, muito descolorida.
A4 (Muito Alteração)	<input checked="" type="checkbox"/> Minerais muito alterados, as vezes pulverulento.
A5 (Extrema Alteração/Saprolito)	<input type="checkbox"/> Minerais principais totalmente decompostos, porém preservam suas estruturas originais.
Avaliação do Grau de Coerência do Material	
C1 (Muito Coerente)	<input type="checkbox"/> Som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Dificilmente riscada por aço.
C2 (Coerente)	<input type="checkbox"/> Som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Pode ser riscada por aço.
C3 (Medianamente Coerente)	<input checked="" type="checkbox"/> Som oco, quebra com facilidade ao golpe do martelo. Pode ser fragmentada pelos dedos.
C4 (Pouco Quebradiça)	<input type="checkbox"/> Quebra-se com facilidade ao golpe do martelo e/ou manualmente.
C5 (Sem coerente)	<input type="checkbox"/> Esfala-se ao golpe do martelo, desagregando-se manualmente. Pode ser riscada com unha.

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos			
<b>Caracterização das Descontinuidades</b>			
Número de família de fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> 1	Intervalo entre fraturas	<input type="checkbox"/> < 1 Fratura / m (Pouco fraturada F1)
	<input checked="" type="checkbox"/> 2		<input checked="" type="checkbox"/> 1 - 5 Fraturas / m (Fraturada F2)
	<input type="checkbox"/> 3		<input type="checkbox"/> 5 - 10 Fraturas / m (Muito fraturada F3)
	<input type="checkbox"/> 4		<input type="checkbox"/> 10 - 20 Fraturas / m (Extremamente Fraturada F4)
Largura das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> < 2mm	Rugosidade das fraturas	<input type="checkbox"/> Descontínua
	<input type="checkbox"/> 2 a 3mm		<input type="checkbox"/> Ondulada
	<input type="checkbox"/> 3		<input type="checkbox"/> Dentada
	<input type="checkbox"/> 4		<input checked="" type="checkbox"/> Contínua planar
Preenchimento das fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> s/	Presença de água nas fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> Seca
	<input type="checkbox"/> Quartzo		<input type="checkbox"/> Pequena vazão de fluxo
	<input type="checkbox"/> Calcita		<input type="checkbox"/> Média vazão
	<input type="checkbox"/> Silte		<input type="checkbox"/> Alta vazão
Orientação das descontinuidades: A foliação $S_1$ é mais evidente e tem direção <del>NWSE</del> c/ mergulho p/ SW			
<b>CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA</b>			
Cobertura Vegetal da Encosta	<input type="checkbox"/> Sem cobertura vegetal.		
	<input type="checkbox"/> Rasteiras composta por gramíneas, musgos, líquens, e arbustos.		
	<input type="checkbox"/> Arbustiva composta por plantas de caule não lenhoso.		
	<input checked="" type="checkbox"/> Mata composta por cobertura de plantas silvestres de médio a grande porte.		
Sistema de Drenagem	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo		
	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.		
	<input type="checkbox"/> Insuficiente para mitigar perigo.		
	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente.		
Ocorrência de água	<input type="checkbox"/> Surgência em vários pontos do talude		
	<input type="checkbox"/> Surgência em um ponto do talude pé ( ), crista ( ), meio ( )		
	<input type="checkbox"/> Área Saturada		
	<input type="checkbox"/> Não observado		
Edificações a montante do possível movimento	<input type="checkbox"/> Moradias		
	<input type="checkbox"/> Prédios com funcionamento em horário comercial		
	<input type="checkbox"/> Depósitos		
	<input checked="" type="checkbox"/> Inexistentes		
Distância das edificações a montante do possível movimento	<input type="checkbox"/> < 2m		
	<input type="checkbox"/> 2 a 6m		
	<input type="checkbox"/> 6 a 10m		
	<input type="checkbox"/> > 10m		
			
Edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> Moradias		
	<input checked="" type="checkbox"/> Prédios com funcionamento em horário comercial		
	<input type="checkbox"/> Depósitos		
	<input type="checkbox"/> Inexistentes		
Distância das edificações a jusante do possível movimento	<input checked="" type="checkbox"/> < 2m		
	<input checked="" type="checkbox"/> 2 a 6m		
	<input checked="" type="checkbox"/> 6 a 10m		
	<input type="checkbox"/> > 10m		
			
Indícios de movimentos	<input type="checkbox"/> Blocos no pé do talude		
	<input type="checkbox"/> Trincas		
	<input type="checkbox"/> Embarrigamento no pé do talude		
	<input checked="" type="checkbox"/> Cicatrizes de movimentos antigos (Detalhar no item abaixo)		
Cicatrizes de escorregamentos antigos	<input checked="" type="checkbox"/> Escorregamento planar		
	<input type="checkbox"/> Escorregamento circular		
	<input type="checkbox"/> Escorregamento em cunha		
	<input type="checkbox"/> Tombamento		
	<input checked="" type="checkbox"/> Queda de blocos		
Estruturas de Estabilização	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo		
	<input type="checkbox"/> Suficiente para mitigar perigo, porém com necessidade de reparo.		
	<input type="checkbox"/> Insuficiente para mitigar perigo.		
	<input checked="" type="checkbox"/> Não observado		

Ficha de Campo para Taludes e Encostas em Centros Urbanos	
Rochas e Solos	
Dados Gerais	
Projeto:	Data: 02/08/19
Ponto: Rua dos Inconfidentes	Responsável: Victor P. Timo
Coordenadas: Setor 1 X: Y: Z:	
Talude: Encosta: ( ) Corte (X)	
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA	
Altura da Encosta	<input type="checkbox"/> < 2m <input type="checkbox"/> 2 a 6m <input checked="" type="checkbox"/> 6 a 10m <input type="checkbox"/> > 10m
Inclinação da Encosta	<input type="checkbox"/> < 17° <input type="checkbox"/> 17° a 35° <input type="checkbox"/> 35° a 45° <input type="checkbox"/> > 45°
Extensão do Encosta	<input type="checkbox"/> até 120m <input type="checkbox"/> 120 a 200m <input type="checkbox"/> 200 a 300m <input type="checkbox"/> > 300m
Altura do Talude de Corte	<input checked="" type="checkbox"/> < 10m <input type="checkbox"/> 10 a 20m <input type="checkbox"/> 20 a 30m <input type="checkbox"/> > 30m
Inclinação do Talude de Corte	<input checked="" type="checkbox"/> 30 a 45° <input type="checkbox"/> 45 a 60° <input type="checkbox"/> 60 a 75° <input type="checkbox"/> 75 a 90°
Extensão do Talude de Corte	<input type="checkbox"/> até 120m <input type="checkbox"/> 120 a 200m <input type="checkbox"/> 200 a 300m <input type="checkbox"/> > 300m
Orientação do plano de corte do talude ou encosta natural: Corte feito p/ construção da via	
CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	
Descrição geológica: filito arenoso c/ quartizitos intercalados c/ pouca espessura muitos veios de quartzo	
Avaliação da Resistência do Material	
R0 (0,25 - 1,0 MPa)	<input checked="" type="checkbox"/> Rocha marcada com a unha.
R1 (1,0 - 5,0 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo.
R2 (5,0 - 25 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha pode ser raspada com dificuldade com canivete.
R3 (25 - 50 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha não pode ser raspada com canivete, porém é facilmente fraturada com o martelo.
R4 (50 - 100 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de mais de um golpe de martelo para se fraturar.
R5 (100 - 200 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha necessita de muitos golpes de martelo para se fraturar.
R6 (> 250 MPa)	<input type="checkbox"/> Rocha só pode ser lascada por golpes de martelo.
Avaliação do Grau de Alteração do Material	
A1 (Rocha Sã)	<input type="checkbox"/> Sem vestígios de alterações físicas e químicas dos minerais principais.
A2 (Pouco Alteração)	<input checked="" type="checkbox"/> Sinais de alteração incipientes dos minerais primários, pouco descolorida.
A3 (Alteração Mediana)	<input type="checkbox"/> Minerais medianamente alterados, muito descolorida.
A4 (Muito Alteração)	<input type="checkbox"/> Minerais muito alterados, as vezes pulverulento.
A5 (Extrema Alteração/Saprolito)	<input type="checkbox"/> Minerais principais totalmente decompostos, porém preservam suas estruturas originais.
Avaliação do Grau de Coerência do Material	
C1 (Muito Coerente)	<input type="checkbox"/> Som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Difícilmente riscada por aço.
C2 (Coerente)	<input type="checkbox"/> Som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Pode ser riscada por aço.
C3 (Medianamente Coerente)	<input checked="" type="checkbox"/> Som oco, quebra com facilidade ao golpe do martelo. Pode ser fragmentada pelos dedos.
C4 (Pouco Quebradiça)	<input type="checkbox"/> Quebra-se com facilidade ao golpe do martelo e/ou manualmente.
C5 (Sem coerente)	<input type="checkbox"/> Esfala-se ao golpe do martelo, desagregando-se manualmente. Pode ser riscada com unha.