

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

DANILO LOPES FRIMAIO

**Avaliação de estudos sobre a condição de estabilidade de cavas de mineração
em rocha do estado de São Paulo**

São Paulo
2022

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

DANILO LOPES FRIMAIO

**Avaliação de estudos sobre a condição de estabilidade de cavas de mineração
em rocha do estado de São Paulo**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de mestre em
Ciências

Área de Concentração: Engenharia Mineral

Orientador: Prof. Dr. Eduardo C. Sansone

São Paulo
2022

Nome: Frimaio, Danilo Lopes

Título: Avaliação de estudos sobre a condição de estabilidade de cavas de mineração em rocha do estado de São Paulo

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento _____

Dedico este trabalho,
primeiramente, à todas as
vítimas, diretas e indiretas, do
acidente ocorrido em 2011 na
pedreira Santa Teresa.

Aos profissionais da área de
geotecnia, cujo trabalho é
prevenir a ocorrência de
acidentes fatais.

E a Jonathan Alexandre Ferreira
Cardoso, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Professor Doutor Eduardo César Sansone, meu orientador desde 2015, sem o qual não teria feito a Iniciação Científica e, conseqüentemente, este mestrado.

À minha mãe Helena Lopes Araujo, pelo apoio desde sempre e sem a qual não teria trilhado o caminho da engenharia.

Ao meu tio Carlos de Giovani Antônio, pelo acolhimento em momentos críticos.

Aos funcionários da Agência Nacional de Mineração, que possibilitaram a realização desta pesquisa.

Ao Professor Doutor Sérgio Duarte Brandi, pelo incentivo incondicional à realização deste mestrado.

E, principalmente, à Maria Fernanda Pilotto Brandi, pelo apoio e incentivo durante todo este caminho.

RESUMO

A lavra de minas a céu aberto, em especial aquela realizada em bancadas, deve ser precedida de um rigoroso planejamento de modo a se atingir uma condição de segurança geomecânica que evite a instabilização de seus taludes. Tal necessidade se justifica tendo em vista que um acidente, como a ruptura de um talude, possui alto potencial de fatalidade, tendo como exemplo recente aquele ocorrido na pedreira Santa Teresa, no município de Santos (SP), no ano de 2011, no qual uma movimentação de blocos de rocha de dimensões elevadas provocou o escorregamento de uma grande massa de solo e soterrou dois operários que se encontravam no local. Em resposta a este ocorrido, o DNPM (atual ANM) emitiu o ofício circular nº 001/2012, exigindo que os detentores de títulos minerários no estado de São Paulo apresentassem um diagnóstico geomecânico de suas respectivas cavas de mineração. O ofício foi destinado a diversas empresas, sendo que apenas uma fração realizou seu cumprimento e uma parcela ainda menor apresentou uma análise da condição de estabilidade de seus taludes de forma satisfatória, evidenciando a precariedade nas condições de segurança com as quais as empresas operam no Estado. Para esta pesquisa foram analisados os estudos sobre a condição de estabilidade das cavas de mineração apresentadas, constituindo uma base de dados que possibilitou uma análise não usual e de importância para o conhecimento das condições de operação de minas no estado de São Paulo. Neste sentido, foi proposta uma metodologia para a avaliação dos estudos de estabilidade de taludes em rocha, apresentada na forma de um fluxograma, e, uma vez estabelecido o procedimento, o mesmo foi aplicado em 6 casos selecionados da base de dados com graus de complexidade variados, demonstrando a sua aplicação a diferentes situações.

Palavras-Chave: Estabilidade de taludes, Agência Nacional de Mineração, Pedreira Santa Teresa, Mineração, São Paulo

ABSTRACT

Open pit mining, especially that which uses slopes, must be preceded by a rigorous planning so that it can be achieved a geomechanical safe condition that prevents slope instability. Such necessity is justified bearing in mind that an accident, such as a slope failure, holds high potential for fatality, recent example being that that took place in the Santa Teresa quarry, in the city of Santos, SP, in the year of 2011, in which a movement large rock blocks caused a massive landslide that buried two workers that were on site. In response to this event the DNPM (current ANM) issued the circular office nº 001/2012, which demanded that holders of mineral titles presented a geomechanical diagnosis of their respective mining pits. This document was sent to multiple companies, of which only a fraction performed its fulfillment and an even smaller portion presented an analysis of the stability condition of their slopes in a satisfactory manner, evidencing the precariousness of the safety conditions in which the companies of the state of São Paulo operate. This research analyzed the presented studies about the condition of stability of open pit mines, forming a data base that made possible an non usual and important analysis to the knowledge of the operating conditions of mines in the state of São Paulo. In this regard, It was proposed a methodology for the evaluation of stability studies of rock slopes, presented in the form of a flowchart, and, once established the procedure, it was applied in six examples of the data base with various degrees of complexity, demonstrating its application to different situations.

Key-Words: Slope Stability, Agência Nacional de Mineração, Santa Teresa Quarry, Mining, São Paulo

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANM	Agência Nacional de Mineração
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GSI	<i>Geological Strength Index</i>
IGM	Instituto Geológico e Mineiro
ISRM	International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering
NBR	Norma Brasileira Registrada
NRM	Normas Reguladoras de Mineração
RMR	<i>Rock Mass Rating</i>
RQD	<i>Rock Quality Designation</i>
SIGRH	Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SMR	<i>Slope Mass Rating</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Coeficiente sísmico
A	Área da superfície de deslizamento do bloco
c	Coesão da rocha
D	Diâmetro do corpo de prova
FS	Fator de Segurança
h	Altura do nível de água no talude medida a partir de sua base
H	Altura
l	Comprimento da base de cada fatia
m	Metro
N	Newton
N1	Somatória dos momentos resistentes
N2	Somatória dos momentos solicitantes
Pa	Pascal
R	Raio da superfície circular de ruptura
T	Força exercida por tirantes
U	Pressão neutra exercida pela água
W	Peso do bloco
α	Ângulo entre a direção horizontal e a superfície de deslizamento

β	Ângulo entre a direção horizontal e a face do talude
σ_1	Tensão principal maior
σ_3	Tensão principal menor
σ_n	Tensão normal
γ_a	Peso específico da água
τ	Tensão de cisalhamento
φ	Ângulo de atrito interno da rocha

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: RUPTURA DA CAVA DA PEDREIRA SANTA TERESA, COM DETALHE PARA O CAMINHÃO SUSPENSO	18
FIGURA 2: ENCOSTA EM SOLO NA PRAIA DE PIPA, RN	23
FIGURA 3: PROTEÇÃO DE TALUDE NA ESTRADA CONTORNO NORTE – MARINGÁ, PR	24
FIGURA 4: MINA DE FERRO A CÉU ABERTO EM CARAJÁS, PA	26
FIGURA 5: LAVRA POR BANCADAS DA COMPANHIA VALE, NA MINA DE BRUCUTU	26
FIGURA 6: PRINCIPAIS ELEMENTOS DE UMA BANCADA NA LAVRA A CÉU ABERTO	26
FIGURA 7: LAVRA DE CARVÃO EM TIRAS LOCALIZADA EM CASPER, ESTADOS UNIDOS	27
FIGURA 8: LAVRA EM CAVA	28
FIGURA 9: LAVRA EM MEIA ENCOSTA	28
FIGURA 10: RUPTURA DE UM TALUDE DE CAVA DE MINERAÇÃO POR MECANISMOS COMPLEXOS	29
FIGURA 11: DESLIZAMENTO DE UM BLOCO EM RUPTURA PLANAR	31
FIGURA 12: DESLIZAMENTO DE UM BLOCO DECORRENTE DA FORMAÇÃO CUNHAS NA FACE DO TALUDE.	31
FIGURA 13: RUPTURA EM FORMATO CIRCULAR DE TALUDE	32
FIGURA 14: SUPERFÍCIES DE RUPTURA COM: 1) MESMOS RAIOS; 2) MESMOS CENTROS; 3) RAIOS E CENTROS DIFERENTES.....	33
FIGURA 15: RUPTURA DE TALUDES POR DESPLACAMENTO, PELO ESCORREGAMENTO DE PLACAS, POR EFEITO DOMINÓ EM BLOCOS DE ROCHA E PELA FLEXÃO DE CAMADAS FRATURADAS, REPRESENTADAS PELOS ESQUEMAS 1, 2, 3 E 4, RESPECTIVAMENTE.....	34
FIGURA 16: ANÁLISE DA TRAJETÓRIA DE QUEDA DE BLOCOS EM UM TALUDE	35
FIGURA 17: TALUDE ROCHOSO COM BLOCOS PASSÍVEIS DE QUEDA, REFORÇADO COM TELA DE CABOS DE AÇO.	35
FIGURA 18: PRINCIPAIS FATORES ASSOCIADOS ÀS DESCONTINUIDADES DAS ROCHAS	36
FIGURA 19: REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DE <i>DIP</i> , <i>DIP DIRECTION</i> E <i>STRIKE</i>	37
FIGURA 20: ELEMENTOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL EM ROCHA	40
FIGURA 21: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CRITÉRIO DE MOHR-COULOMB	42
FIGURA 22: ADAPTAÇÃO DO CRITÉRIO DE MOHR-COULOMB	42
FIGURA 23: REPRESENTAÇÃO DOS FATORES CONSIDERADOS NA ANÁLISE DA RUPTURA PLANAR	45
FIGURA 24: REPRESENTAÇÃO DA ANÁLISE DO MÉTODO DE FELLENIUS PARA A RUPTURA CIRCULAR.....	46
FIGURA 25: ANÁLISE DE MÚLTIPLAS POSSÍVEIS SUPERFÍCIES DE RUPTURA.....	48
FIGURA 26: REPRESENTAÇÃO DAS FORÇAS ATUANTES EM UMA FATIA NO MÉTODO DE BISHOP	48
FIGURA 27: ESBOÇO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO	53
FIGURA 28: PROVÍNCIAS CONTEMPLADAS PELO ESTADO DE SÃO PAULO.....	54
FIGURA 29: PRINCIPAIS UNIDADES GEOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO	55
FIGURA 30: ESBOÇO MORFOGEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO	57
FIGURA 31: PERFIL MORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO	58
FIGURA 32: DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS PROCESSOS MINERÁRIOS ANALISADOS, COM IDENTIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS	61
FIGURA 33: NÚMERO DE PROCESSOS MINERÁRIOS ANALISADOS PARA CADA SUBSTÂNCIA	62
FIGURA 34: NÚMERO DE PROCESSOS MINERÁRIOS QUE REALIZARAM O ESTUDO PARA CADA MECANISMO DE INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES.....	63

FIGURA 35: NÚMERO DE PROCESSOS MINERÁRIOS QUE REALIZARAM O ESTUDO PARA CADA <i>SOFTWARE</i>	64
FIGURA 36: NÚMERO DE PROCESSOS MINERÁRIOS QUE REALIZARAM O ESTUDO PARA CADA METODOLOGIA.....	64
FIGURA 37: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE ESPESSURA DO CAPEAMENTO MÁXIMA E MÍNIMA	66
FIGURA 38: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE ESPESSURA DO CAPEAMENTO PARA CADA SUBSTÂNCIA.....	66
FIGURA 39: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE ALTURA DE BANCADA MÁXIMA E MÍNIMA	67
FIGURA 40: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE ALTURA DE BANCADA PARA CADA SUBSTÂNCIA	67
FIGURA 41: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE NÚMERO DE BANCADAS MÁXIMO E MÍNIMO	68
FIGURA 42: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE NÚMERO DE BANCADAS PARA CADA SUBSTÂNCIA.....	68
FIGURA 43: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE LARGURA DE BERMA MÁXIMA E MÍNIMA	69
FIGURA 44: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE LARGURA DE BERMA PARA CADA SUBSTÂNCIA	69
FIGURA 45: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE ÂNGULOS DAS BANCADAS MÁXIMO E MÍNIMO.....	70
FIGURA 46: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE ÂNGULOS DAS BANCADAS PARA CADA SUBSTÂNCIA	70
FIGURA 47: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE ÂNGULO GERAL DO TALUDE MÁXIMO E MÍNIMO	71
FIGURA 48: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE ÂNGULO GERAL DO TALUDE PARA CADA SUBSTÂNCIA	71
FIGURA 49: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE FATOR DE SEGURANÇA MÁXIMO E MÍNIMO	72
FIGURA 50: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE FATOR DE SEGURANÇA PARA CADA SUBSTÂNCIA.....	72
FIGURA 51: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE PROBABILIDADE DE RUPTURA MÁXIMA E MÍNIMA.....	73
FIGURA 52: DIAGRAMA DE EXTREMOS E QUARTIS PARA OS VALORES DE PROBABILIDADE DE RUPTURA PARA CADA SUBSTÂNCIA.....	73
FIGURA 53: METODOLOGIA PROPOSTA PARA A AVALIAÇÃO DE ESTUDOS DE ESTABILIDADE DE CAVAS DE MINERAÇÃO EM ROCHA	75
FIGURA 54: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE ESTABILIDADE PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 10.....	77
FIGURA 55: VERIFICAÇÃO DO ESTUDO DE ESTABILIDADE PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 184.....	78
FIGURA 56: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA ANÁLISE DOS 5 MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 184	79
FIGURA 57: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE ESTABILIDADE PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 209.....	79
FIGURA 58: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA ANÁLISE DOS 5 MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 209	80
FIGURA 59: VERIFICAÇÃO DA REALIZAÇÃO DE INSPEÇÃO VISUAL COM APRESENTAÇÃO DE FOTOS PARA A ANÁLISE DA QUEDA DE BLOCOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 209	80
FIGURA 60: VERIFICAÇÃO DA COMPROVAÇÃO DA ESTABILIDADE ATRAVÉS DE FOTOS PARA A ANÁLISE DA QUEDA DE BLOCOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 209	81
FIGURA 61: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DE ANÁLISES QUANTITATIVAS PARA ESCORREGAMENTO POR PLANOS E CUNHAS, RUPTURA CIRCULAR E TOMBAMENTO DE BLOCOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 209	81
FIGURA 62: VERIFICAÇÃO DA IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES E PARÂMETROS GEOMECÂNICOS EM ENSAIOS LABORATORIAIS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 209.....	82
FIGURA 63: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 209	82
FIGURA 64: VERIFICAÇÃO SE O FATOR DE SEGURANÇA FOI SUPERIOR A 1,3 PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 209	83
FIGURA 65: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA PROBABILIDADE DE RUPTURA PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 209	83
FIGURA 66: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE ESTABILIDADE PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 260.....	84

FIGURA 67: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA ANÁLISE DOS 5 MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 260	84
FIGURA 68: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DE ANÁLISES QUANTITATIVAS PARA ESCORREGAMENTOS POR PLANOS E CUNHAS, RUPTURA CIRCULAR E TOMBAMENTOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 260	85
FIGURA 69: VERIFICAÇÃO DA IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES E PARÂMETROS GEOMECÂNICOS EM ENSAIOS LABORATORIAIS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 260.....	85
FIGURA 70: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 260	86
FIGURA 71: VERIFICAÇÃO SE O FATOR DE SEGURANÇA FOI SUPERIOR A 1,3 PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 260	86
FIGURA 72: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA PROBABILIDADE DE RUPTURA PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 260	86
FIGURA 73: VERIFICAÇÃO SE A PROBABILIDADE DE RUPTURA FOI INFERIOR A 0,6% PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 260	87
FIGURA 74: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE ESTABILIDADE PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 198.....	87
FIGURA 75: VERIFICAÇÃO DA ANÁLISE DA ANÁLISE DOS 5 MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 198	88
FIGURA 76: VERIFICAÇÃO DA REALIZAÇÃO DE INSPEÇÃO VISUAL COM APRESENTAÇÃO DE FOTOS PARA A ANÁLISE DA QUEDA DE BLOCOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 198	88
FIGURA 77: VERIFICAÇÃO DA COMPROVAÇÃO DA ESTABILIDADE ATRAVÉS DE FOTOS PARA A ANÁLISE DA QUEDA DE BLOCOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 198.....	89
FIGURA 78: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DE ANÁLISES QUANTITATIVAS PARA ESCORREGAMENTO POR PLANOS E CUNHAS, RUPTURA CIRCULAR E TOMBAMENTO DE BLOCOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 198	89
FIGURA 79: VERIFICAÇÃO DA IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES E PARÂMETROS GEOMECÂNICOS EM ENSAIOS LABORATORIAIS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 198.....	90
FIGURA 80: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 198	90
FIGURA 81: VERIFICAÇÃO SE O FATOR DE SEGURANÇA FOI SUPERIOR A 1,3 PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 198	91
FIGURA 82: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA PROBABILIDADE DE RUPTURA PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 198	91
FIGURA 83: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE ESTABILIDADE PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169.....	92
FIGURA 84: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA ANÁLISE DOS 5 MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169	92
FIGURA 85: VERIFICAÇÃO DA REALIZAÇÃO DE INSPEÇÃO VISUAL COM APRESENTAÇÃO DE FOTOS PARA A ANÁLISE DA QUEDA DE BLOCOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169	92
FIGURA 86: VERIFICAÇÃO DA COMPROVAÇÃO DA ESTABILIDADE ATRAVÉS DE FOTOS PARA A ANÁLISE DA QUEDA DE BLOCOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169	93
FIGURA 87: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DE ANÁLISES QUANTITATIVAS PARA ESCORREGAMENTOS POR PLANOS E CUNHAS, RUPTURA CIRCULAR E TOMBAMENTO DE BLOCOS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169	93
FIGURA 88: VERIFICAÇÃO DA IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES E PARÂMETROS GEOMECÂNICOS EM ENSAIOS LABORATORIAIS PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169.....	94
FIGURA 89: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169	94
FIGURA 90: VERIFICAÇÃO SE O FATOR DE SEGURANÇA FOI SUPERIOR A 1,3 PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169	95
FIGURA 91: VERIFICAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA PROBABILIDADE DE RUPTURA PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169	95
FIGURA 92: VERIFICAÇÃO SE A PROBABILIDADE DE RUPTURA FOI INFERIOR A 0,6% PARA O PROCESSO MINERÁRIO Nº 169	95

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: RELAÇÃO ENTRE A PROBABILIDADE DE RUPTURA E O NÍVEL DE DESEMPENHO ESPERADO PARA UM TALUDE EM SOLO	50
QUADRO 2: NÚMERO DE PROCESSOS MINERÁRIOS QUE REALIZARAM A ANÁLISE PARA CADA MECANISMO DE RUPTURA.....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 RUPTURA DA PEDREIRA SANTA TERESA.....	18
1.2 OFÍCIO CIRCULAR Nº 001/2012	20
1.3 OBJETIVO	21
1.4 JUSTIFICATIVA.....	21
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	23
2.1 TALUDES	23
2.1.1 Lavra a céu aberto	24
2.1.2 Lavra em bancadas (<i>open pit</i>).....	25
2.2 MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES EM ÁREAS DE MINERAÇÃO	28
2.2.1 Deslizamentos por mecanismos complexos em superfícies circulares.....	28
2.2.2 Escorregamentos por planos ou cunhas.....	30
2.2.2.1 Escorregamento por planos.....	30
2.2.2.2 Escorregamento por cunhas.....	31
2.2.3 Ruptura circular	32
2.2.4 Tombamento de blocos	33
2.2.5 Queda de blocos	34
2.3 FATORES GEOMECÂNICOS.....	36
2.3.1 Descontinuidades nas rochas	36
2.3.1.1 Orientação	36
2.3.1.2 Número de famílias de descontinuidades	37
2.3.1.3 Espaçamento	38
2.3.1.4 Persistência	38
2.3.1.5 Tamanho do bloco	38
2.3.1.6 Rugosidade	38
2.3.1.7 Resistência das paredes.....	39
2.3.1.8 Abertura.....	39
2.3.1.9 Preenchimento	39
2.3.2 Resistência da rocha	40
2.3.3 Critério de ruptura de Mohr-Coulomb	41

2.3.4 Água subterrânea	43
2.4 MÉTODOS PARA A ANÁLISE DA CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE DE TALUDES DE CAVAS DE MINERAÇÃO	44
2.4.1 Ruptura planar: método do equilíbrio limite de forças.....	44
2.4.2 Ruptura circular em taludes de rocha fraturada	46
2.4.2.1 Método de Fellenius	46
2.4.2.2 Método de Bishop	48
2.4.2.3 Método de Janbu	49
2.4.3 Avaliação da probabilidade de ruptura de um talude.....	50
2.4.3.1 Método de Monte Carlo	51
2.4.4 Formas alternativas de avaliação de ruptura	51
2.4.4.1 Análise cinemática	51
2.4.4.2 Classificações geomecânicas	52
2.5 A GEOLOGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO	52
2.5.1 Geologia geral do estado de São Paulo	52
2.5.2 Descrição dos principais grupos geológicos presentes no estado de São Paulo.....	54
2.5.3 Descrição geomorfológica do estado de São Paulo	57
3 MATERIAIS E MÉTODOS	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1 BASE DE DADOS	61
4.1.1 Análise do cumprimento do ofício circular nº 001/2012 da ANM	61
4.1.2 Análise da base de dados construída	63
4.1.2.1 Espessura do capeamento sobre a jazida mineral	66
4.1.2.2 Altura de bancada nas cavas	67
4.1.2.3 Número de bancadas nas cavas	68
4.1.2.4 Largura de berma nas cavas	69
4.1.2.5 Ângulo da bancada	70
4.1.2.6 Ângulo geral do talude.....	71
4.1.2.7 Fator de Segurança dos taludes das cavas	72
4.1.2.8 Probabilidade de ruptura dos taludes das cavas.....	73
4.2 METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO DE ESTUDOS DE ESTABILIDADE DE CAVAS DE MINERAÇÃO EM ROCHA	74

4.2.1 Metodologia proposta	74
4.2.2 Aplicação da metodologia a casos selecionados	76
4.2.2.1 Processo minerário nº 10	77
4.2.2.2 Processo minerário nº 184	78
4.2.2.3 Processo minerário nº 209	79
4.2.2.4 Processo minerário nº 260	84
4.2.2.5 Processo minerário nº 198	87
4.2.2.6 Processo minerário nº 169	91
5 CONCLUSÕES	97
REFERÊNCIAS.....	99
APÊNDICE.....	1034

1 INTRODUÇÃO

1.1 RUPTURA DA PEDREIRA SANTA TERESA

Na manhã do dia 12/04/2011 ocorreu um dos acidentes mais graves da história recente da mineração do estado de São Paulo. Na pedreira Santa Teresa, localizada no município de Santos, houve a movimentação de blocos de rocha de grandes dimensões, o que provocou o escorregamento de uma grande massa de solo.

No momento do evento quatro trabalhadores estavam na cava, dos quais dois conseguiram se salvar e os outros dois foram soterrados. Em uma bancada acima do local do desprendimento dos blocos estavam uma retroescavadeira e um caminhão, que ficou suspenso, evidenciando a dimensão da ruptura, como pode ser visto na Figura 1 (DOMINGOS, 2011).

Figura 1: Ruptura da cava da Pedreira Santa Teresa, com detalhe para o caminhão suspenso



Fonte: Domingos (*op. cit.*)

Em razão da grande dimensão dos blocos que se desprenderam, com massa total estimada entre 25 e 50 mil toneladas, houve dificuldade para a posterior limpeza do local, sendo necessários quatro meses até que os corpos dos trabalhadores soterrados pudessem ser localizados, em 13/08/2011 (AGENCIA ESTADO, 2011).

Segundo dados da ANM - Agência Nacional de Mineração (2022), na época, a pedreira se encontrava sob titularidade de Pedreira Santa Teresa Ltda., com arrendatária Maxbrita Comercial Ltda. O processo de efetivação da cessão total dos direitos minerários para esta última encontrava-se em curso, de modo que, após sua efetivação, a pedreira passou a ser conhecida como Maxbrita.

Este acidente evidenciou as consequências que a falta sistemática de controle geomecânico pode proporcionar e colocou em discussão a questão da condição de estabilidade das cavas de mineração do Estado de São Paulo, tornando clara a necessidade de se reforçar a fiscalização governamental sobre as mesmas.

Segundo Candia (2011), rupturas e quedas de blocos em minas possuem grande potencial de fatalidade, uma vez que o material desprendido, mesmo nas situações menos críticas, pode possuir massa que excede em muito a de uma pessoa.

Em razão do projeto inadequado da cava, sequenciamento impróprio da lavra e dos custos inerentes à instrumentação e monitoramento adequados das condições geomecânicas da mina, muitas vezes opera-se em condições que oferecem perigo aos trabalhadores, instalações e equipamentos presentes no local, contrariando as Normas Reguladoras de Mineração (NRM) que foram propostas com o objetivo de garantir a segurança do empreendimento (DAMASCENO, 2008).

Há que se destacar também uma carência sistemática de informações confiáveis. É muito frequente que em um projeto de cava de mineração, não se realize uma campanha adequada de caracterização geomecânica do maciço rochoso, recorrendo-se a valores estimados ou apenas disponíveis na literatura. Além disso, são pouco frequentes os casos em que a análise de engenharia é realizada com o objetivo de antever todos os possíveis modos de instabilidade da cava, levando a adoção de geometrias inadequadas aos taludes e contribuindo para a ocorrência de acidentes (COUTINHO & SEVERO, 2009).

1.2 OFÍCIO CIRCULAR Nº 001/2012

No ano de 2012, o então Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), atual ANM, emitiu o ofício circular nº 001/2012, exigindo que os detentores de títulos minerários no estado de São Paulo apresentassem um diagnóstico geomecânico de suas respectivas cavas de mineração, com o intuito de realizar um levantamento da condição de estabilidade das minas em São Paulo e evitar novos acidentes como o da Pedreira Santa Teresa.

Este ofício foi especialmente dirigido a minas que necessitam de apropriado estudo geomecânico, aquelas que lavram bens minerais em cava ou em meia encosta, excluindo-se, por exemplo, minerações de areia, que tomam grande extensão de rios e reservatórios. Em função de questões operacionais e práticas, a ANM enviou ofícios a, aproximadamente, um terço das minerações que se enquadravam nesse perfil, permitindo levantar um primeiro panorama das condições geomecânicas das minerações do estado de São Paulo.

Devido a questões procedurais internas, apesar do cumprimento do ofício por parte das empresas, os estudos enviados não foram analisados pela ANM. Segundo o parágrafo 2º do Artigo 53 do Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, a ANM possui um prazo de 5 anos para a aplicação de infrações pelo não cumprimento de obrigações legais. Assim, uma vez que o ofício em questão foi publicado em 03/07/2012, com prazo de 60 dias para seu cumprimento (até 01/09/2012), o prazo para aplicação de multa prescreveu em 01/09/2017.

Segundo relato pessoal do Engenheiro de Minas Ricardo Deguti de Barros da Silva, chefe do Setor de Fiscalização da Gerência Regional de São Paulo da ANM, uma análise destes estudos geomecânicos apresentados pode permitir identificar perfis comuns de análise, como metodologias utilizadas, mecanismos de instabilização considerados, apresentação de resultados como o Fator de Segurança e a probabilidade de ruptura, e também características das cavas, como ângulos de face e alturas de bancada utilizadas para cada tipo de mineral nas minas do Estado de São Paulo.

1.3 OBJETIVO

O objetivo inicial da pesquisa foi avaliar os estudos da condição de estabilidade das cavas de mineração em rocha apresentadas em cumprimento ao ofício circular nº 001/2012 da ANM para o Estado de São Paulo e compilar as informações reportadas em uma base de dados que permita um fácil acesso às mesmas e possibilite um diagnóstico da condição de segurança na qual estas minerações operam.

Uma vez obtida esta base, o objetivo é propor uma metodologia geral para a avaliação de estudos da condição de estabilidade de cavas de mineração em rocha que contemple os principais fatores envolvidos, de forma a auxiliar o órgão fiscalizador na avaliação de futuras análises. Ainda, tal metodologia foi aplicada sobre a base de dados construída, de modo a demonstrar a sua aplicabilidade.

1.4 JUSTIFICATIVA

Nas publicações oficiais sobre a mineração, tais como o Anuário Mineral emitido pela ANM, são apresentados dados como a produção mineral bruta dos estados e do Brasil para cada bem mineral, informações acerca do recolhimento da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), distribuição da mão de obra por estado e por bem mineral, dentre outros, sem apresentar, entretanto, dados sobre aspectos geomecânicos e de segurança das minerações.

Neste sentido, o material produzido em atendimento ao ofício circular nº 001/2012 da ANM oferece uma oportunidade única enquanto uma oferta de dados não usual e de importância para o conhecimento das condições de operação de minas no estado de São Paulo.

Ademais, apesar de vários autores terem proposto métodos para a análise da condição de estabilidade de cavas em rocha com eficácia comprovada e com ampla aplicação prática, a tarefa de construção da base de dados em questão evidenciou uma falta de sistematização dos procedimentos para uma análise global de segurança que leve em

consideração os fatores envolvidos e apresente soluções baseadas nas informações disponíveis.

Assim, uma metodologia que auxilie a avaliação do órgão fiscalizador sobre estudos da condição de estabilidade de cavas de mineração em rocha se justifica tendo em vista o interesse social da eficiência desta avaliação, visando evitar novos acidentes como aquele ocorrido na antiga pedreira Santa Teresa.

Esta proposta também poderá auxiliar as empresas de mineração, pois na medida em que existam procedimentos bem definidos e transparentes por parte do órgão fiscalizador, as empresas poderão realizar seus projetos de cavas de mineração de mineração com mais assertividade e segurança.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 TALUDES

Os taludes são planos inclinados constituídos de solo ou rocha, podendo ser naturais ou artificiais. Os taludes naturais, como o apresentado na Figura 2, podem apresentar alto grau de heterogeneidade, proveniente de fatores intimamente ligados ao seu processo de formação, como a litologia do local, o clima e a topografia, de modo que seu estudo só é possível por meio da aplicação de cuidadosos métodos de caracterização (MARANGON, 2009).

Figura 2: Encosta em solo na Praia de Pipa, RN



Fonte: Viagem lado B (2013)

Ainda segundo Marangon (2009), os taludes artificiais (escavados pelo homem em atividades de engenharia normalmente ligadas à construção civil e à mineração) apresentam características “controladas” até certo ponto, de modo que se torna possível aplicar metodologias para a sua análise que não seriam possíveis nos taludes naturais.

Em obras de Engenharia Civil, como na construção de estradas em terrenos com topografia acidentada, por vezes se faz necessário o uso de sistemas de proteção como concreto e tirantes para reforçar os taludes, como é apresentado na Figura 3.

Esta prática já não é comum na mineração, onde os taludes das cavas possuem caráter mais temporário (Duncan *et al.*, 2014).

Figura 3: Proteção de talude na estrada Contorno Norte – Maringá, PR



Fonte: Torcisão (s.d.)

2.1.1 Lavra a céu aberto

A lavra a céu aberto é largamente aplicada nos projetos de mineração pelo mundo, devido a sua maior simplicidade técnica e seu custo reduzido em relação à lavra subterrânea. O limite entre as duas alternativas está relacionado às situações nas quais, para se chegar ao corpo de minério por meio da lavra a céu aberto, a quantidade de estéril a ser retirada seria tão grande que o projeto se tornaria economicamente inviável, de modo que a lavra subterrânea seja preferível nestes casos (GIRODO, 2005).

A lavra a céu aberto é antecedida por uma série de operações que demandam alto investimento inicial e por vezes muito tempo, de modo que o intervalo entre a descoberta de uma jazida e o início da produção costuma levar anos. Nesse ínterim são realizadas operações que visam analisar a viabilidade econômica do projeto, a técnica de exploração a ser empregada (podendo ser uma combinação de várias técnicas, dependendo da forma do corpo de minério e das condições de estabilidade dos taludes) e identificar até que ponto é economicamente viável a lavra da jazida. Para tal, se leva

em conta informações como o teor de corte do minério, a relação estéril/minério a ser obtida e o custo de operação da lavra, informações estas que variam com o tempo. Assim, durante a vida útil da mina, é necessário um acompanhamento constante destas variáveis de modo que se determine até que ponto a lavra é economicamente viável (DAMASCENO, 2008).

Segundo Girodo (2005), a lavra a céu aberto difere dos outros empreendimentos a céu aberto no sentido de que envolve, predominantemente, a retirada do material (composto pelo minério e estéril), sendo reduzidas as ocasiões em que reforços são empregados. A lavra é planejada de modo que se maximize a estabilidade da mina, retirando sempre a maior quantidade possível de minério.

2.1.2 Lavra em bancadas (*open pit*)

Destaca-se como o método mais utilizado na mineração a céu aberto. A lavra em bancadas é ideal para corpos de minério com dimensões de altura e largura consideráveis, sendo que para jazidas nas quais a altura é muito menor que a largura, pode ser mais adequado o uso da lavra em tiras (*strip mining*) (SOUZA, 1994, *apud* DNPM & MINEROPAR 2004).

Esta técnica consiste na retirada do minério através de bancadas compostas de planos horizontais e faces subverticais, como se observa na Figura 4. O ângulo geral dos taludes se mostra essencial para o planejamento da mina, pois determina o quanto de minério será extraído, mantendo-se a segurança do processo. A Figura 5, em comparação com a Figura 4, ilustra a influência desse ângulo sobre o aspecto geral da mina.

Figura 4: Mina de ferro a céu aberto em Carajás, PA



Fonte: Mapcarta (2014)

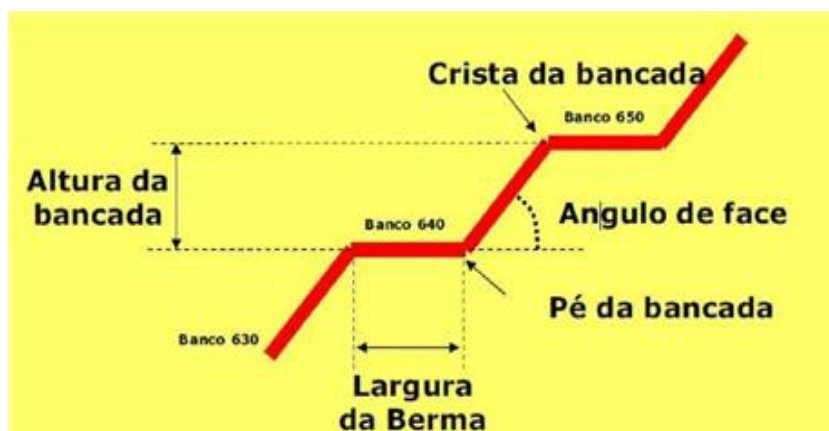
Figura 5: Lavra por bancadas da Companhia Vale, na mina de Brucutu



Fonte: Time Magazine (2013)

Na Figura 6 estão representados os principais elementos de uma bancada.

Figura 6: Principais elementos de uma bancada na lavra a céu aberto



Fonte: IRAMINA (2015)¹

¹ IRAMINA, W. S. **Aula 1 - Introdução à Lavra**. São Paulo: EPUSP, 2015. Notas de aula da Disciplina PMI-3101.

No método de lavra em bancadas há três tipos básicos de operações unitárias: o desmonte da rocha, o carregamento e o transporte de material (tanto de estéril, quanto de minério), que são realizados por diferentes equipamentos. O estéril é normalmente depositado em uma pilha nos arredores da cava. Aqui se destaca a principal diferença deste método para a lavra em tiras: nela o estéril é depositado em camadas adjacentes às de extração, não havendo os diferentes níveis de bancadas, situação que se observa na Figura 7 (SOUZA, 1994, *apud* DNPM & MINEROPAR 2004).

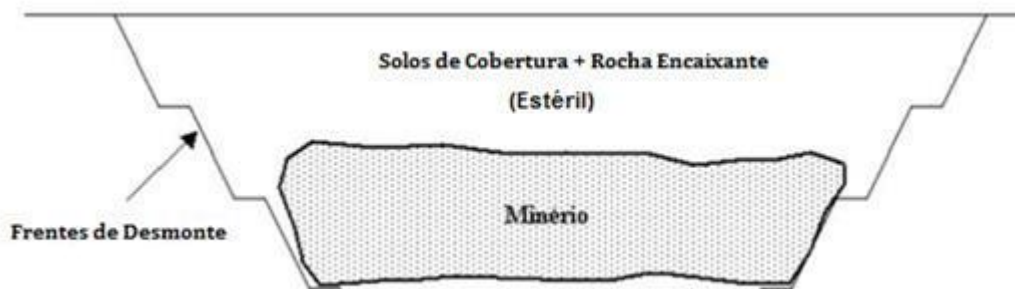
Figura 7: Lavra de carvão em tiras localizada em Casper, Estados Unidos



Fonte: Citizens Coal Council (2013)

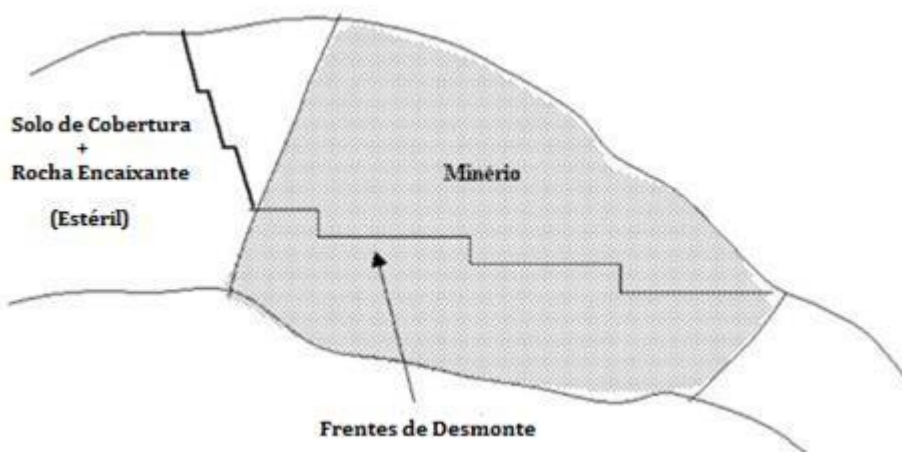
A lavra em bancadas pode ser realizada em duas formas distintas: em cava e em meia encosta. Sua principal diferença é a cota na qual elas ocorrem: ao passo em que a cava ocorre abaixo da cota média do local, a meia encosta ocorre acima dela. Assim, enquanto o primeiro tipo consiste em um grande reservatório, sendo necessário drenar a água local, no segundo tipo, a água flui naturalmente (CURI, 2014). A situação está ilustrada nas Figuras 8 e 9.

Figura 8: Lavra em cava



Fonte: Adaptado de IGM - Instituto Geológico e Mineiro (1999)

Figura 9: Lavra em meia encosta



Fonte: Adaptado de IGM - Instituto Geológico e Mineiro (1999)

2.2 MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES EM ÁREAS DE MINERAÇÃO

Há várias maneiras pelas quais pode ocorrer a instabilização de um talude em rocha, dentre as quais se destacam: os deslizamentos por mecanismos complexos em superfícies circulares, a ruptura circular, os escorregamentos por planos ou cunhas, os tombamentos e a queda de blocos.

2.2.1 Deslizamentos por mecanismos complexos em superfícies circulares

Segundo Duncan (2017), este tipo de instabilização de larga escala ocorre normalmente em cavas, pilhas de estéril e barragens de rejeito. Como o nome sugere, a ruptura tem um formato complexo, o que dificulta sua análise. A situação está representada na Figura 10.

Figura 10: Ruptura de um talude de cava de mineração por mecanismos complexos



Fonte: Duncan *et al.* (2014)

Segundo os autores, sua ocorrência está associada à presença de falhas regionais, à baixa resistência ao cisalhamento dos materiais ao longo da superfície de ruptura, à distribuição de água subterrânea no talude, particularmente em resposta à chuva ou submersão do pé do talude, e ao potencial carregamento decorrente de terremotos ou detonações de explosivos.

Métodos de equilíbrio limite para a análise de superfícies não circulares podem ser utilizados para estimar variações no Fator de Segurança mediante mudanças no perfil do talude ou da drenagem. Para analisar o mecanismo de ruptura e a evolução dos deslocamentos do talude, pode-se usar métodos numéricos, como o de elementos finitos ou a análise de elementos discretos.

O valor absoluto do Fator de Segurança neste caso pouco significa, mas a taxa de mudança deste fator pode ser utilizada na análise da efetividade de medidas mitigadoras. Devido à complexidade do mecanismo de ruptura, o monitoramento a longo prazo dos deslocamentos de superfície do talude é um meio prático de avaliar o comportamento do talude e das medidas mitigadoras (Duncan, 2017).

2.2.2 Escorregamentos por planos ou cunhas

Este tipo de instabilização consiste no escorregamento ao longo de um plano de descontinuidade ou em cunha na intersecção de dois planos de descontinuidades, ocorrendo normalmente em cavas em rocha (FIORI & CARMIGNANI, 2009).

Segundo Duncan (2017), a altura do talude, bem como seu ângulo e sua orientação, são parâmetros de análise neste caso. O mesmo pode ser dito para a direção e o mergulho das estruturas do maciço, distribuição de água subterrânea no talude, potencial carregamento decorrente de terremotos e detonação de explosivos, bem como sequência de escavação e a instalação de suportes.

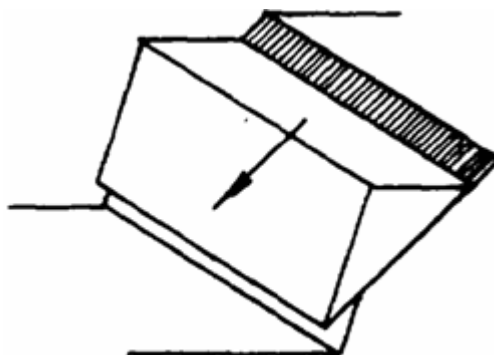
São utilizados métodos de equilíbrio limite que analisam escorregamentos em 3 dimensões e possibilitam um estudo paramétrico do Fator de Segurança. Análises de probabilidade de ruptura baseadas na distribuição estatística das orientações das estruturas e da resistência ao cisalhamento da rocha são úteis em muitas aplicações (KRAHN, 2003).

Recomenda-se adotar Fator de Segurança maior do que 1,3 para taludes provisórios com mínimo risco de dano e maior do que 1,5 para taludes permanentes com risco de dano significativo (Duncan, 2017).

2.2.2.1 Escorregamento por planos

A ruptura planar ocorre quando o *strike* (direção em relação ao norte magnético, do traço da estrutura no plano horizontal) de uma família de descontinuidades ocorre paralelo à face do talude e seu mergulho (ângulo com o plano horizontal da linha de maior inclinação da estrutura) é superior ao ângulo de atrito da superfície de rocha (Duncan, 2017). Assim, ocorre o deslizamento de blocos do maciço rochoso, como está representado na Figura 11.

Figura 11: Deslizamento de um bloco em ruptura planar

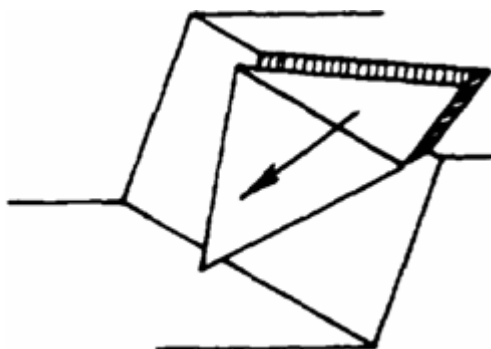


Fonte: Maia (2003)

2.2.2.2 Escorregamento por cunhas

Este tipo de ruptura ocorre devido ao encontro de dois planos de descontinuidades que ao se interceptarem na face do talude, provocam o surgimento de uma cunha que tem liberdade para deslizar (conforme está representado na Figura 12), se a inclinação da linha de intersecção destes planos for maior que o ângulo de atrito da superfície de rocha (FIORI & CARMIGNANI, 2009).

Figura 12: Deslizamento de um bloco decorrente da formação cunhas na face do talude.



Fonte: Maia (2003)

O deslizamento por cunhas é relativamente semelhante à ruptura planar no que diz respeito à análise de sua condição de estabilidade, com a diferença de que a área de contato do bloco com o maciço rochoso se refere a duas faces ao invés de uma. Há também diferença nos parâmetros a serem coletados, sendo que neste caso, dados sobre a orientação das famílias de descontinuidades se mostram ainda mais críticos do que no

escorregamento por planos, uma vez que determinam a orientação das faces da cunha (Duncan, 2017).

2.2.3 Ruptura circular

Este mecanismo de instabilização pode ocorrer em solos ou maciços rochosos muito fraturados, nos quais se verifica a ruptura ao longo de uma superfície de formato conchoidal, sendo aproximada, para sua análise, por uma superfície em formato circular. Este tipo de ruptura costuma ocorrer em cavas, pilhas de estéril e barragens de rejeito (DAMASCENO, 2008). A situação está ilustrada na Figura 13.

Figura 13: Ruptura em formato circular de talude



Fonte: Fonte: Maia (2003)

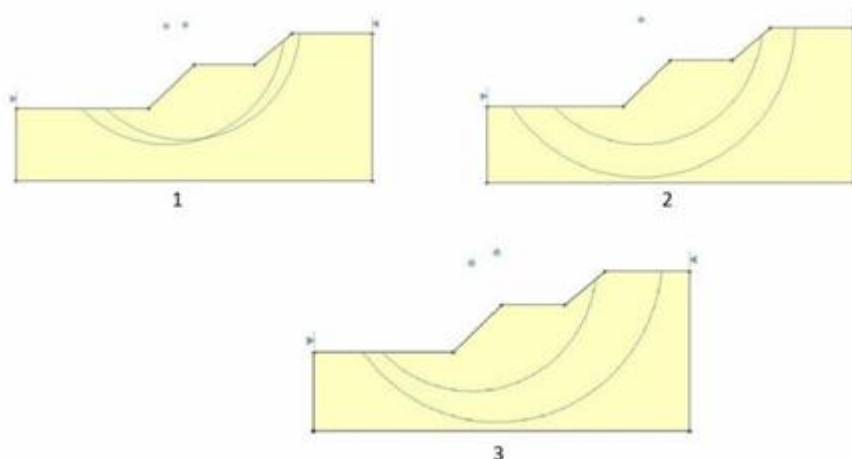
Associados a este tipo de ruptura estão parâmetros como a altura e o ângulo da face do talude, a resistência ao cisalhamento dos materiais ao longo da superfície de ruptura, a distribuição da água subterrânea no talude e potenciais sobrecarga e carregamentos decorrentes de terremotos ou detonações de explosivos (Duncan, 2017).

Métodos de equilíbrio limite bidimensionais, que podem incluir uma busca automática da superfície crítica de ruptura, são utilizados em estudos para se estimar o Fator de Segurança. Análises probabilísticas, métodos de equilíbrio limite tridimensionais ou análises numéricas são também utilizados para investigar estes problemas em taludes. Estes métodos foram descritos por vários autores e estão detalhados no item 2.4.

A configuração da superfície circular de ruptura depende de vários aspectos associados ao maciço rochoso. O raio e o posicionamento espacial do centro da circunferência dependem das características dos materiais presentes.

Normalmente, em maciços rochosos nos quais o padrão de fraturamento da rocha é mais homogêneo, a superfície de ruptura tende a se formar com o raio elevado e centro afastado da face do talude, ao passo que em maciços com padrão de fraturamento mais heterogêneo, a superfície de ruptura costuma se formar com centro próximo à face e com raio reduzido (Duncan, 2017). A Figura 14 permite a visualização de diferentes possibilidades para a superfície de ruptura circular.

Figura 14: Superfícies de ruptura com: 1) Mesmos raios; 2) Mesmos centros; 3) Raios e centros diferentes



Fonte: Arquivo pessoal

Assim como nos escorregamentos por planos, recomenda-se utilizar um Fator de Segurança maior do que 1,3 para taludes provisórios com mínimo risco de dano e maior do que 1,5 para taludes permanentes com risco de dano significativo (Duncan, 2017).

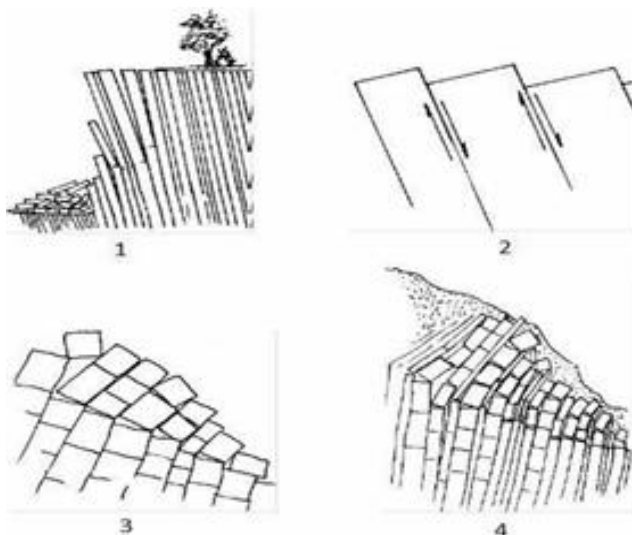
2.2.4 Tombamento de blocos

Este mecanismo de instabilização de taludes, descrito inicialmente por FREITAS e WATTERS (1973), consiste no tombamento de blocos ou colunas do maciço rochoso devido à presença de fraturas com inclinação próxima da vertical. Ocorre normalmente em cavas em rocha.

Este tipo de instabilização apresenta os mesmos parâmetros críticos dos escorregamentos por planos ou cunhas. Assim, pode-se destacar a altura do talude, bem como seu ângulo e sua orientação; a direção e o mergulho das estruturas do maciço; a distribuição de água subterrânea no talude e o potencial carregamento decorrente de terremotos ou detonações de explosivos (Duncan, 2017).

Não há um critério de ruptura específico para tombamentos, mas a percepção do risco de tombamento normalmente é evidente. O monitoramento dos deslocamentos do talude é o meio prático de analisar o seu comportamento e permitir a proposta de medidas mitigadoras. Da mesma forma, a análise de equilíbrio limite a partir de modelos simples de blocos é útil para estimar potenciais tombamentos (Duncan, *op. cit.*). Mecanismos típicos de tombamento estão representados na Figura 15.

Figura 15: Ruptura de taludes por deslocamento, pelo escorregamento de placas, por efeito dominó em blocos de rocha e pela flexão de camadas fraturadas, representadas pelos esquemas 1, 2, 3 e 4, respectivamente



Fonte: Adaptado de Maia (2003)

2.2.5 Queda de blocos

Este mecanismo de instabilização ocorre normalmente em cavas em rocha e consiste no escorregamento, rolamento e queda de rochas soltas ou de matacos no talude. Sua análise é feita normalmente através de inspeções visuais periódicas que visam identificar

sua presença ou pelo cálculo das possíveis trajetórias dos blocos, com base na análise da mudança de velocidade a cada impacto, conforme representado na Figura 16.

Figura 16: Análise da trajetória de queda de blocos em um talude



Fonte: Duncan *et al.* (2014)

A queda de blocos depende da geometria do talude, da presença de blocos soltos e da presença de estruturas geológicas favoráveis ao desprendimento de blocos. A localização, a quantidade e a distribuição do número de blocos dão a indicação da magnitude do problema e da efetividade das medidas mitigadoras, tais como barreiras posicionadas no pé do talude ou a aplicação de tela de cabos de aço, como apresentado na Figura 17 (Duncan *et al.*, 2014).

Figura 17: Talude rochoso com blocos passíveis de queda, reforçado com tela de cabos de aço.



Fonte: MACAFERRI (2008)

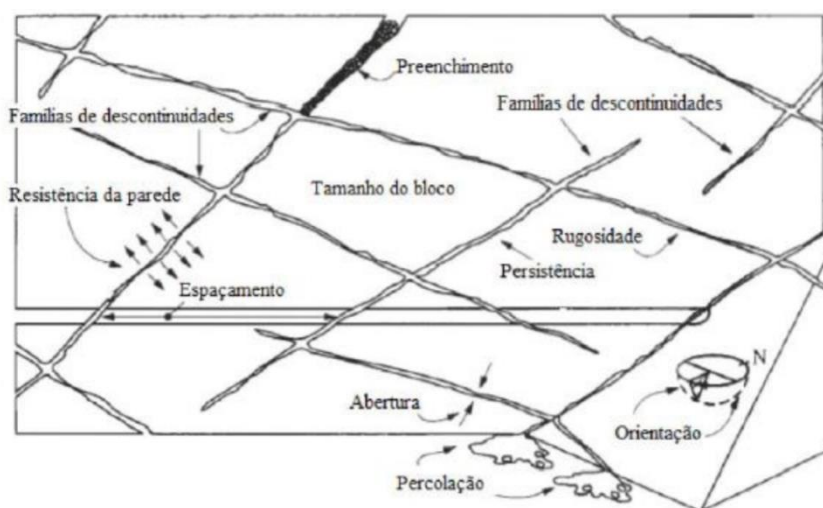
2.3 FATORES GEOMECÂNICOS

2.3.1 Descontinuidades nas rochas

O maciço rochoso pode ser entendido como a associação das rochas às descontinuidades presentes. Já estas se constituem em regiões de falhas na rocha, associadas à seu processo de gênese ou a processos posteriores à sua formação, como o intemperismo. Como exemplos de descontinuidades é possível citar juntas, planos de acamamento, superfícies de clivagem e xistosidades. Normalmente as descontinuidades apresentam orientações definidas em algumas direções predominantes, formando famílias de descontinuidades (CULSHAW, 2015).

Um aspecto importante e específico do projeto de escavações em rocha é a análise do modo de intersecção entre as famílias de descontinuidades presentes no maciço rochoso e as faces das escavações a serem realizadas. Na sequência estão listados os principais fatores associados às descontinuidades das rochas, apresentados na Figura 18, com a exceção da água subterrânea, pois este parâmetro será analisado na seção 2.3.4.

Figura 18: Principais fatores associados às descontinuidades das rochas



Fonte: Adaptado de Culshaw (2015).

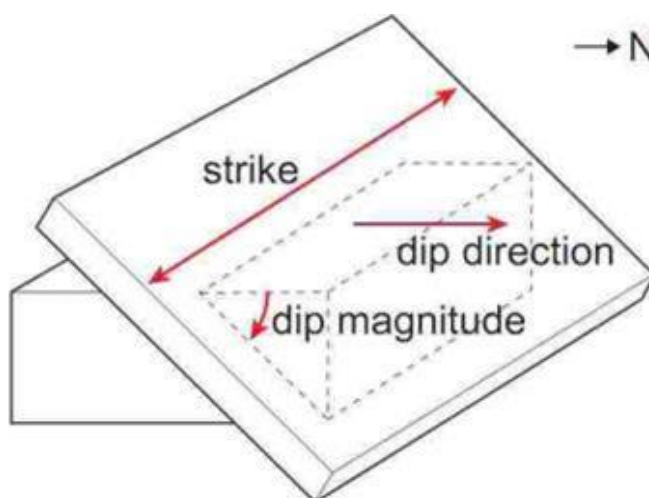
2.3.1.1 Orientação

Segundo ISRM (1981), a orientação das descontinuidades pode ser descrita como a atitude da descontinuidade no espaço, caracterizada pelo mergulho ou *dip*, ângulo

medido entre o plano horizontal e a linha de maior inclinação da estrutura, e pela direção do mergulho ou *dip direction*, ângulo entre a projeção no plano horizontal da linha de maior inclinação e o norte magnético. O *strike*, ângulo entre o traço da estrutura no plano horizontal e o norte magnético, também pode ser utilizado para o mesmo propósito.

Os 3 parâmetros estão representados na Figura 19.

Figura 19: Representação espacial de *dip*, *dip direction* e *strike*



Fonte: Duncan (2017)

Estes parâmetros são medidos com o auxílio da bússola geológica.

2.3.1.2 Número de famílias de descontinuidades

Número de conjuntos de descontinuidades com mesma orientação que se interceptam em um sistema de fraturamento, sendo que o maciço rochoso pode ser ainda cortado por outras descontinuidades individuais. Segundo Duncan (*op. cit.*), quanto maior for o número de famílias e menor for o tamanho dos blocos, maior será a possibilidade dos blocos rotacionarem ou transladarem no maciço rochoso, de modo que identificar este parâmetro se mostra muito importante em um projeto de engenharia. O número de famílias de descontinuidades é determinado por meio de reconhecimento visual e da utilização da bússola geológica.

2.3.1.3 Espaçamento

Distância perpendicular entre planos de descontinuidades adjacentes (espaçamento médio ou modal em uma família de descontinuidades). Segundo Culshaw (2015), o espaçamento é crucial para condicionar o tamanho e a forma dos blocos que podem se desprender da rocha, sendo também uma medida diretamente relacionada à condição de estabilidade de um maciço rochoso. É determinado com o auxílio de bússola geológica e trena.

2.3.1.4 Persistência

Comprimento do traço da descontinuidade observado em uma área exposta da rocha, e que se relaciona à extensão em área da descontinuidade. As descontinuidades são delimitadas pelo seu término contra a rocha sólida ou contra outras descontinuidades.

Segundo (Duncan, 2017), a persistência é um dos parâmetros mais importantes na caracterização dos maciços rochosos pois, junto com o espaçamento, definem o tamanho dos blocos que podem se desprender. É medida com o auxílio de trena.

2.3.1.5 Tamanho do bloco

Segundo Duncan *et al.* (2014), o tamanho do bloco é resultado da interseção das famílias de descontinuidades e do espaçamento e persistência das famílias individuais (descontinuidades individuais podem também influenciar o tamanho e a forma dos blocos). É medido utilizando-se uma trena.

2.3.1.6 Rugosidade

Segundo Culshaw (2015), todas as superfícies de descontinuidades exibem certo grau de rugosidade. Devido à importância deste fator para a estabilidade das escavações em rocha ele deve sempre ser levado em consideração em um projeto de engenharia.

Há dois tipos de rugosidade: a primária, que é a aspereza da superfície, e a secundária, que é a ondulação relativa ao plano médio da descontinuidade, sendo que esta também contribui para a resistência ao cisalhamento da superfície. É medida por meio do uso de rugosímetro, bússola geológica de disco e de métodos de traçagem de superfície (CULSHAW, 2015).

2.3.1.7 Resistência das paredes

Resistência mecânica das paredes de rocha das descontinuidades, que segundo Duncan (2017) influencia a resistência ao cisalhamento de superfícies de fraturas. Pode ser menor que a resistência da rocha em si, devido a intemperização ou a alteração da rocha. É determinada com o auxílio de faca, martelo geológico e do martelo Schmidt.

2.3.1.8 Abertura

Segundo Duncan (*op. cit.*), a abertura pode ser definida como a distância perpendicular entre as paredes de rocha adjacentes em uma descontinuidade, cujo espaço é preenchido por ar, água ou outros materiais. É determinada com equipamento para limpeza superficial, com trena e com o auxílio de paquímetro ou micrômetro.

2.3.1.9 Preenchimento

Material que ocupa o espaço entre paredes de rocha adjacentes em uma descontinuidade. Como exemplos de materiais típicos de enchimento tem-se a areia, o silte, a argila e a brecha (podem ocorrer também descontinuidades seladas com quartzo ou veios de calcita). Segundo Duncan (*op. cit.*), o tipo de preenchimento pode afetar muito a resistência da rocha, de modo que seu estudo também é importante em um projeto de engenharia. É caracterizado por meio da amostragem, análise e descrição geoquímica e petrográfica.

2.3.2 Resistência da rocha

Segundo Duncan (*op. cit.*), na análise da estabilidade de um talude, os fatores mais importantes a serem analisados são os aspectos geométricos do maciço rochoso, descritos anteriormente. Segundo o autor, o segundo fator mais importante é a resistência das rochas que compõem o maciço.

Devido ao seu caráter heterogêneo, é necessário mais de um parâmetro para caracterizar uma rocha no que diz respeito à sua resistência. Afinal, é natural que em um material permeado por descontinuidades, a resistência à tração, por exemplo, não seja igual à de compressão ou de cisalhamento (Sjoberg, 2000).

Segundo Gonzatti (2007), a resistência da rocha à compressão é medida em um ensaio uniaxial, isto é, com aplicação de carga somente em um eixo. O corpo de prova é uma amostra de rocha cilíndrica retirada do maciço rochoso. Este é submetido à compressão, através da utilização de uma prensa hidráulica. Os elementos em questão estão representados na Figura 20.

Figura 20: Elementos do ensaio de compressão uniaxial em rocha



Fonte: SANSONE (2015)¹

¹ SANSONE, E. C. **Aula 10 – Comportamento Mecânico – Reologia**. São Paulo: EPUSP, 2015. Notas de Aula da Disciplina PMI-2632.

A resistência à compressão uniaxial é muito importante para o dimensionamento de pilares de rocha em minas subterrâneas, na determinação de critérios de ruptura de rochas, é utilizada como índice tecnológico (valor padronizado de comparação) e é um parâmetro empregado em classificações de maciços rochosos.

O efeito de forma sobre a Resistência à Compressão Uniaxial da rocha relaciona a variação do parâmetro com a esbelteza do corpo de prova (relação H/D) ou o seu efeito correspondente no campo. Já o efeito de escala sobre a Resistência à Compressão Uniaxial relaciona a variação do parâmetro com o diâmetro do corpo de prova (D) ou o seu efeito correspondente no campo (GONZATTI, 2007).

2.3.3 Critério de ruptura de Mohr-Coulomb

Este critério é utilizado para quantificar a resistência da rocha à ruptura quando solicitada por esforços de compressão, tração e/ou cisalhamento. Tendo como base os critérios de Rankine e Tresca, este critério propõe um modelo no qual a ruptura é esperada quando uma combinação linear da tensão normal e da tensão de cisalhamento atuantes sobre a rocha atingir um valor crítico (Sjoberg, 2000).

Segundo Duncan (2017), o critério pode ser expresso de duas formas: em termos das tensões principais que atuam sobre a rocha (σ_1 e σ_3) ou em termos das tensões normal e de cisalhamento (σ_n e τ). Tem como parâmetros a coesão (c) e o ângulo de atrito interno da rocha (φ). Assim:

$$\sigma_1 = a\sigma_3 + b \quad (1)$$

Ou

$$\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg}\varphi \quad (2)$$

Onde φ , ângulo de atrito interno da rocha, pode ser calculado por:

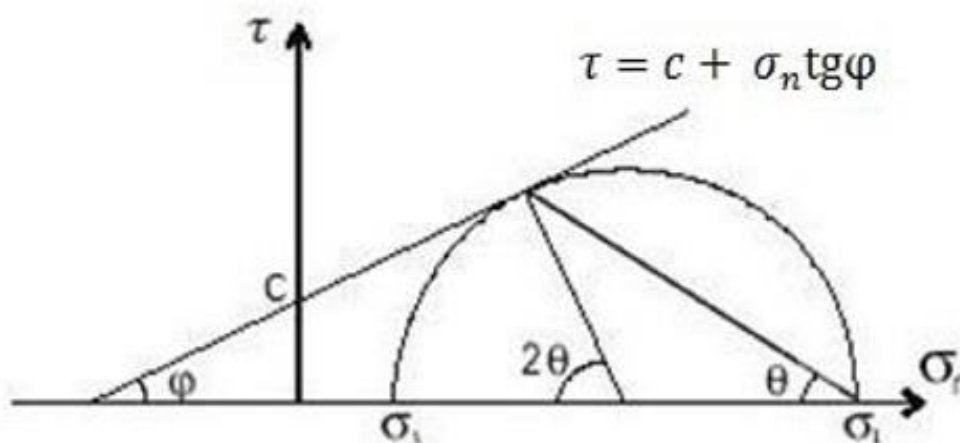
$$\varphi = \operatorname{arcsen} \frac{a-1}{a+1} \quad (3)$$

E c, coesão da rocha, pode ser calculada por:

$$c = \frac{b}{2\sqrt{a}} \quad (4)$$

A Figura 21 mostra a representação gráfica do critério de Mohr-Coulomb, onde se pode visualizar a relação entre as tensões principais, o ângulo de atrito interno da rocha e a coesão, obtidos através de ensaios de compressão triaxial.

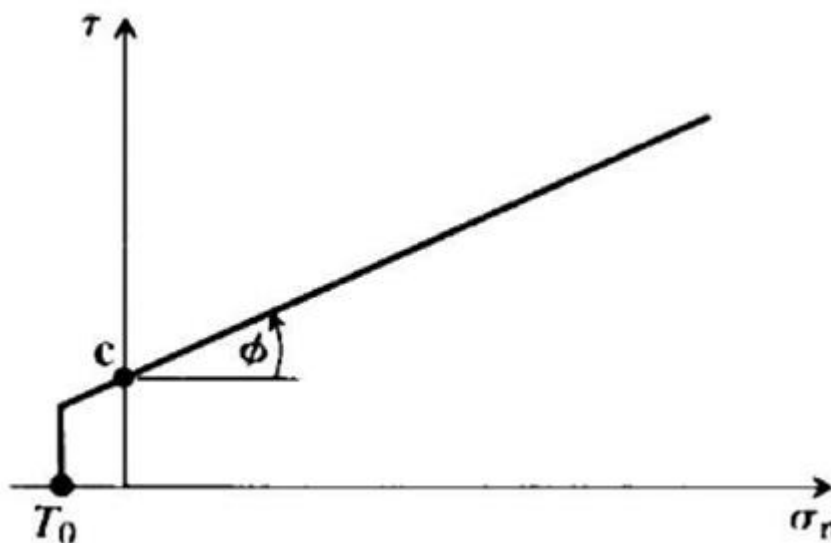
Figura 21: Representação gráfica do critério de Mohr-Coulomb



Fonte: Adaptado de Duncan (2017)

Este modelo tende a superestimar a resistência à tração da rocha, o que representa um problema para o projeto de obras de engenharia. Assim, é normal se considerar um valor limite para resistência à tração (T_0), baseando-se em ensaios específicos tais como o indireto (brasileiro), e truncar a curva, como está representado na Figura 22.

Figura 22: Adaptação do critério de Mohr-Coulomb



Fonte: Adaptado de Duncan (op. cit.)

2.3.4 Água subterrânea

Um dos mais importantes fatores a se considerar no estudo da condição de estabilidade de taludes é o fluxo de água ou soluções minerais através das discontinuidades do maciço rochoso. Os fluidos podem advir de chuvas, do lençol freático presente na região em que se encontra o talude ou de fluidos retidos naturalmente pela porosidade das rochas. Como será visto na seção de métodos de análise, a pressão exercida pela água sobre as superfícies de fratura no talude é relevante a ponto de ser um dos fatores mais importantes no cálculo do Fator de Segurança (ZEA HUALLANCA, 2004).

Uma simplificação para o cálculo da pressão exercida pela água, pode ser feita considerando-a como uma força distribuída aplicada na área de contato do bloco que se desprende do talude. Esta simplificação facilita a análise do efeito do esforço exercido pela água sobre o bloco, mantendo-se a eficiência da análise (Duncan, 2017).

A pressão exercida pela água na superfície de escorregamento pode ser calculada por meio da seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{2} \gamma_a h A \quad (5)$$

Onde γ_a é o peso específico da água, h é a altura do nível de água no talude medida a partir de sua base, com o auxílio de piezômetros e A é a área da superfície de deslizamento do bloco de rocha no talude.

O estudo da influência da água sobre a condição de estabilidade de um talude se mostra crucial também pelo fato de ser um dos poucos parâmetros sobre os quais se é possível realizar intervenções em um projeto de engenharia. É possível realizar a drenagem dessa água subterrânea ao longo da vida de uma mina a fim de aumentar a condição de estabilidade das escavações (Duncan *et al.*, 2014).

2.4 MÉTODOS PARA A ANÁLISE DA CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE DE TALUDES DE CAVAS DE MINERAÇÃO

Existem diversos métodos propostos, aceitos e utilizados na engenharia para a análise da condição de estabilidade de cavas de mineração, que podem ser agrupados nas classes empírica e analítica.

Métodos empíricos de projeto, tal como sugerido pela denominação, tem origem a partir da experiência adquirida com obras anteriores. Os tipos mais comuns de métodos empíricos são as classificações de maciços rochosos, que analisam a condição geral do maciço quanto à presença de descontinuidades, qualidade da rocha e seu grau de alteração, dentre outros parâmetros, propondo soluções de engenharia baseadas em uma ponderação das várias características do maciço rochoso e da obra (SILVA, 2011).

Há também métodos que buscam quantificar a condição de segurança da cava de mineração em estudo, dentre os quais se destacam os métodos analíticos (ou de solução fechada), numéricos e os de equilíbrio limite de forças, que analisam a razão entre as tensões cisalhantes resistentes e as solicitantes atuantes sobre os taludes, fornecendo um Fator de Segurança que indica a susceptibilidade à ocorrência de rupturas e/ou deslizamentos (FÉLIX e SILVA, 2013).

Aqui será dado destaque aos métodos de análise de estabilidade de taludes que se baseiam no equilíbrio limite de forças, pois se constituem nas metodologias mais comumente utilizadas.

2.4.1 Ruptura planar: método do equilíbrio limite de forças

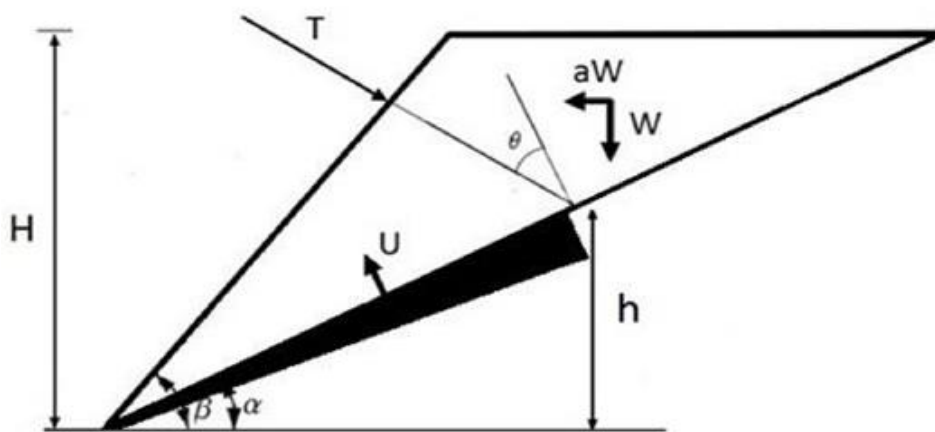
O problema a ser analisado é o do desprendimento de um bloco de rocha do talude que desliza sobre uma superfície de fratura. Como o nome sugere, o método utiliza uma análise das forças atuantes no bloco para estudar a ocorrência da ruptura. Segundo Duncan (2017), o Fator de Segurança pode ser calculado por meio da seguinte fórmula:

$$FS = \frac{\Sigma \text{Forças Resistentes}}{\Sigma \text{Forças Solicitantes}} \quad (6)$$

Neste caso, segundo o autor, será considerada a atuação dos seguintes fatores: a coesão c da rocha, proveniente do critério de Mohr-Coulomb; a área A da superfície de deslizamento do bloco; o peso W do bloco; o ângulo α entre a direção horizontal e a superfície de deslizamento; o coeficiente sísmico a relacionado à aceleração horizontal aplicada ao bloco, proveniente de atividade sísmica ou de detonações de explosivos; a pressão U exercida pela água; o ângulo de atrito interno φ da rocha, também proveniente do critério de Mohr-Coulomb; e a força T exercida por tirantes sobre o bloco.

Estes parâmetros estão representados na Figura 23, que apresenta uma vista lateral em corte do talude. O levantamento dos valores dos parâmetros deve ser feito em campo e em laboratório utilizando pessoal treinado e equipamentos adequados.

Figura 23: Representação dos fatores considerados na análise da ruptura planar



Fonte: Adaptado de Duncan (2017)

Ainda segundo Duncan (*op. Cit.*), a partir da fórmula 6 e da Figura 23, o Fator de Segurança do talude pode ser expresso por meio da fórmula 7:

$$FS = \frac{cA + (W \cos \alpha - aW \sin \alpha - U + T \cos \alpha) \tan \varphi}{W \sin \alpha + aW \cos \alpha - T \sin \alpha} \quad (7)$$

Para valores do Fator de Segurança inferiores a 1 poderá ocorrer ruptura, pois as forças solicitantes serão maiores que as resistentes. Do mesmo modo, para fatores de segurança superiores a 1 não deverá ocorrer ruptura pois as forças resistentes superarão as solicitantes. Costuma-se trabalhar com fatores de segurança superiores a 1,3 para o caso de taludes provisórios com possibilidade de ruptura planar (Duncan, *op. cit.*).

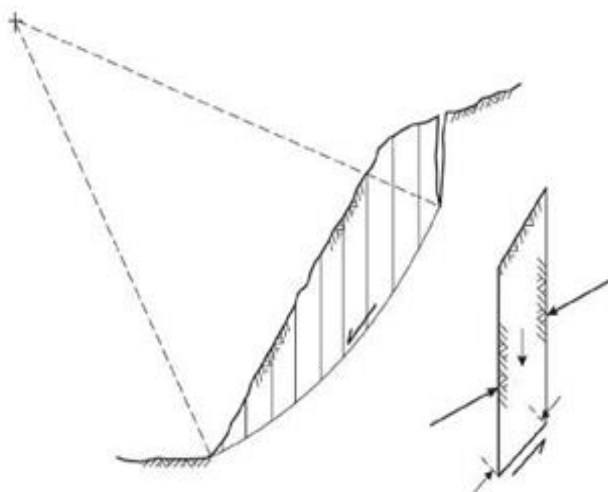
A norma NBR 11.682, “Estabilidade de Encostas”, estabelece que os fatores de segurança adotados para taludes devem possuir valores mínimos de 1,2, considerando-se um grau de segurança baixo; 1,3 para um grau de segurança de médio a baixo; 1,4, para um grau de segurança médio; e 1,5 para um grau de segurança alto (ABNT, 2009).

2.4.2 Ruptura circular em taludes de rocha fraturada

2.4.2.1 Método de Fellenius

Várias metodologias foram propostas para a análise da ruptura circular, dentre as que partem de princípios mais simples está o Método de Fellenius, também conhecido como Método das Fatias ou Método Sueco. Este consiste em dividir a região em que ocorre a ruptura em “fatias” verticais e realizar a somatória dos momentos atuantes sobre cada uma, de modo que o balanço destes momentos fornecerá o valor do Fator de Segurança do talude. Na Figura 24 está representada a vista lateral em corte do problema, onde os componentes de força atuantes sobre uma fatia estão ilustrados (Duncan *et al.*, 2014).

Figura 24: Representação da análise do método de Fellenius para a ruptura circular



Fonte: Adaptado de Duncan *et al.* (*op. cit.*)

Segundo Félix e Silva (2013), os principais parâmetros para esta análise, com suas unidades no Sistema Internacional de Unidades, são: W : peso da fatia por unidade de sua largura, calculado como o produto entre o peso específico da rocha e sua área lateral, expresso em N/m; l_i : comprimento da base de cada fatia, expresso em m; α_i : ângulo da

base de cada fatia em relação ao plano horizontal, expresso em graus; c : coesão da rocha, expressa em Pa; φ : ângulo de atrito interno da rocha, expresso em graus; U : pressão neutra exercida pela água, expressa em Pa e R : raio da superfície circular de ruptura, expressa em m.

O Fator de Segurança é calculado por:

$$FS = \frac{N1}{N2} \quad (8)$$

Sendo $N1$ a somatória dos momentos resistentes e $N2$ a somatória dos momentos solicitantes, onde:

$$N1 = R \sum [c l_i + (W_i \cos \alpha_i - u l_i) \operatorname{tg} \varphi] \quad (9)$$

E

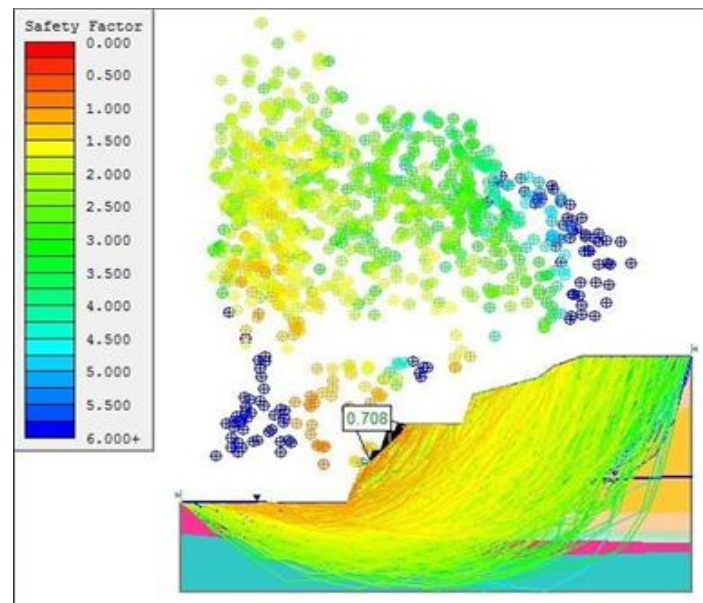
$$N2 = R \sum W_i \operatorname{sen} \alpha_i \quad (10)$$

Uma vez que o raio R aparece multiplicando tanto o termo $N1$, como o termo $N2$, o Fator de Segurança pode ser calculado pela fórmula 11, que independe do valor do parâmetro.

$$FS = \frac{\sum [c l_i + (W_i \cos \alpha_i - u l_i) \operatorname{tg} \varphi]}{\sum W_i \operatorname{sen} \alpha_i} \quad (11)$$

Programas de computador especializados realizam adicionalmente, para um conjunto de parâmetros de entrada, o mapeamento de múltiplas possíveis superfícies de ruptura e, assim, identificam a superfície crítica, ou seja, aquela com o menor Fator de Segurança. Este mapeamento está representado na Figura 25, onde aparecem as várias superfícies circulares analisadas, a posição de seus centros e a escala de cores representa o valor do Fator de Segurança.

Figura 25: Análise de múltiplas possíveis superfícies de ruptura

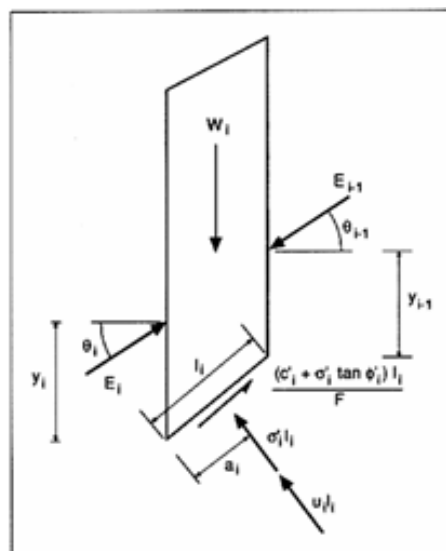


Fonte: Arquivo pessoal

2.4.2.2 Método de Bishop

A metodologia proposta por Bishop é semelhante à de Fellenius. A principal diferença reside no fato de que Fellenius considera as forças atuantes nos dois lados de cada fatia iguais, situação que não ocorre na prática. Bishop leva estas diferenças em consideração, propondo o modelo representado na Figura 26 (Duncan *et al.*, 2014).

Figura 26: Representação das forças atuantes em uma fatia no método de Bishop



Fonte: Adaptado de Duncan *et al.* (*op. cit.*)

De forma diferente do método de Fellenius, o Fator de Segurança é calculado através de um processo iterativo. O valor de N1 é mantido constante, calculado por meio da fórmula 12.

$$N1 = \sum W \text{ sen } \alpha \quad (12)$$

O valor de N2 é iterado, calculado através da fórmula 13, sendo que o valor do Fator de Segurança nela utilizado é o calculado no passo anterior, partindo-se do valor inicial determinado por meio da fórmula 11.

$$N2 = \sum \frac{c l_i + \left(\frac{W_i}{W \cos \alpha_i} - u l_i \right) \text{tg } \varphi}{1 + \frac{\text{tg } \alpha_i \text{ tg } \varphi}{FS}} \quad (13)$$

Assim, o Fator de Segurança é calculado por meio da fórmula 8 ($FS = \frac{N1}{N2}$), iterando-se até que seu valor se estabilize.

2.4.2.3 Método de Janbu

O método de Janbu é semelhante ao método de Bishop no sentido de que realiza um processo iterativo para estimar o valor do Fator de Segurança, com a diferença principal de que este não assume que a superfície de ruptura será necessariamente circular e que o equilíbrio realizado é de forças e de momentos (Duncan *et al.*, 2014).

Segundo Duncan (2017), este método apresenta boa precisão para taludes de altura reduzida, típicos de rocha, com ângulo de atrito interno inferior a 30°, e para taludes mais altos recomenda-se utilizar outras metodologias.

O método de Janbu apresenta uma variação chamada de “Janbu Corrigido”, que, leva em consideração as forças de interações horizontais entre as fatias e multiplica o valor do Fator de Segurança por um fator de correção que depende do tipo de material que se está analisando (FÉLIX e SILVA, 2013).

2.4.3 Avaliação da probabilidade de ruptura de um talude

Segundo Cao, Wang e Li (2017), análises probabilísticas que levam em consideração as incertezas associadas aos parâmetros geomecânicos em estudos de confiabilidade da estabilidade de taludes, permitem a avaliação da sua probabilidade de ruptura, sendo esta relacionada a níveis esperados de desempenho do talude.

A divisão de engenharia do exército estadunidense (*U.S. Army Corps of Engineers*) (1997) propõe uma correlação entre estes níveis para taludes em solo e a probabilidade de ruptura calculada a partir de diferentes índices de confiabilidade, estando os valores apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Relação entre a probabilidade de ruptura e o nível de desempenho esperado para um talude em solo

Probabilidade de ruptura (%)	Nível de desempenho esperado
16	Perigoso
7	Insatisfatório
2,3	Ruim
0,6	Abaixo da média
0,1	Acima da média
0,003	Bom
0,00003	Alto

Fonte: Adaptado de *U.S. Army Corps of Engineers* (1997)

Apesar destes níveis de desempenho serem esperados para taludes compostos de solo, sua aplicação para o caso de taludes em rocha fraturada se mantém válida em razão de fatores que contribuem para que este tipo de talude possa ter um nível de desempenho ainda melhor: o caráter provisório do talude estudado (pois a evolução da lavra modifica continuamente o talude) e o próprio processo de lavra, que permite que atividades de controle da estabilidade do talude sejam executadas continuamente.

Dentre os métodos comumente utilizados para a estimativa da probabilidade de ruptura estão o Método das Estimativas Pontuais (Método de Rosenblueth), o Método do

Segundo Momento de Primeira Ordem e o Método de Monte Carlo, abordado no item a seguir.

2.4.3.1 Método de Monte Carlo

Esta forma de análise se constitui em um método estocástico, ou seja, um método que visa estudar o comportamento de um fenômeno para conjuntos de dados de entrada correspondentes aos parâmetros do modelo, ao invés de um valor único para cada um. Medidas estatísticas como média e variância, são obtidas como resultados a partir da aplicação do conjunto de dados de entrada às várias metodologias de cálculo (APAZA & BARROS, 2014).

Segundo os autores, o método parte de populações de dados “conhecidas”, ou seja, populações cujos valores de média e de variância são conhecidos, e realiza simulações entre os múltiplos possíveis valores para os parâmetros, a fim de se estudar a distribuição estatística dos resultados.

O método de Monte Carlo se constitui, então, em uma ferramenta de fácil aplicação que pode ser associada a qualquer um dos métodos empregados na análise da condição de estabilidade dos taludes descritos anteriormente.

2.4.4 Formas alternativas de avaliação de ruptura

Além das formas de avaliação apresentadas anteriormente, que buscam avaliar a condição de estabilidade de cavas de mineração através dos parâmetros do Fator de Segurança e da probabilidade de ruptura, merecem destaque também a análise cinemática e classificações geomecânicas.

2.4.4.1 Análise cinemática

Normalmente empregada para escorregamentos por planos e cunhas, além de tombamentos, a análise cinemática busca identificar os pontos mais críticos do maciço

rochoso, isto é, aqueles que apresentam condições mais propícias à ruptura e que necessitam de medidas de reforço (FIORI & CARMIGNANI, 2009).

Ainda segundo os autores, após um mapeamento *in loco* de famílias de descontinuidades, as mesmas são compiladas em *softwares* que realizam projeções estereográficas e verificam a possibilidade da formação de superfícies com potencial de escorregamentos. Caso não haja a formação dessas superfícies não se espera a ocorrência de rupturas.

2.4.4.2 Classificações geomecânicas

Tratam-se de métodos de natureza empírica, que analisam características do maciço rochoso observadas *in situ* e atribuem notas a cada uma, sendo que a classificação final obtida a partir destas notas caracteriza o grau de segurança do maciço e indica medidas de contenção necessárias.

Várias classificações geomecânicas foram propostas por diferentes autores consagrados da literatura, tais como o GSI (*Geological Strength Index*) e RQD (*Rock Quality Designation*). Tendo em vista a necessidade de adaptação destas classificações para aplicação na análise de estabilidade de taludes de cava foram criadas adaptações de classificações já existentes, tais como o SMR (*Slope Mass Rating*), que deriva do RMR (*Rock Mass Rating*), e o Q-Slope, que deriva do Sistema-Q proposto por Barton et al. (1974).

2.5 A GEOLOGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO

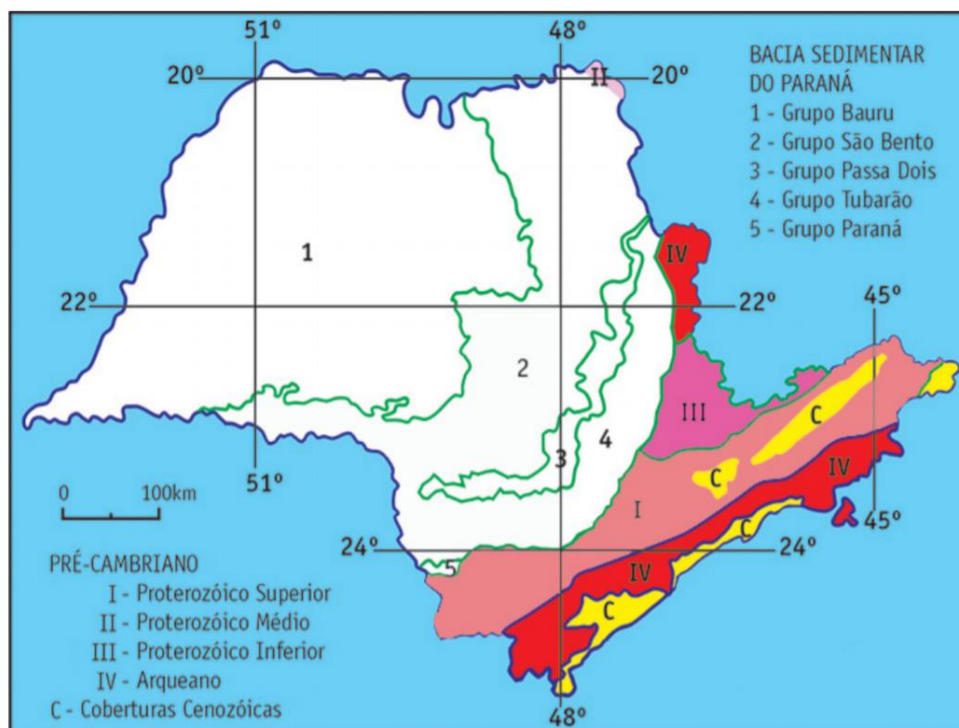
2.5.1 Geologia geral do estado de São Paulo

Segundo SIGRH (2000), de forma geral, na porção leste do estado de São Paulo, onde estão localizados os principais complexos cristalinos, predominam rochas cristalinas de idade elevada, ao passo em que na porção oeste do estado, predominam rochas de origem vulcânica, que compõem a Bacia Sedimentar do Paraná. O embasamento cristalino foi gerado do Pré-Cambriano ao Paleozoico, sendo que houve o acúmulo de um pacote sedimentar sobre o mesmo entre o Devoniano e o Jurássico, formando a Bacia

Sedimentar do Paraná. Do Jurássico superior em diante, ambas as áreas foram afetadas por tectonismo e vulcanismo, havendo um novo depósito na Bacia do Paraná, desta vez incluindo também rochas ígneas de natureza basáltica. Finalmente, ainda durante o Mesozoico, ocorreram diversas intrusões, completando as formações geológicas observadas hoje no Estado.

Atualmente aproximadamente 70% do estado de São Paulo corresponde à Bacia do Paraná, porção destacada em branco na Figura 27, datando do Devoniano ao Cretáceo, sendo que os outros 30% correspondem a Embasamentos Cristalinos destacados na mesma figura nas cores vermelho, rosa e salmão, que datam do Arqueano e Proterozoico superior. Há também ocorrências localizadas de coberturas mais recentes cenozoicas que incluem bacias terciárias e pacotes sedimentares litorâneos quaternários, destacados em amarelo na Figura 27 (Mantesso-Neto et al., 2013).

Figura 27: Esboço geológico do Estado de São Paulo



Fonte: Santos (2014) apud Mantesso-Neto et al. (2013)

Também segundo Mantesso-Neto et al. (2013), atravessando-se o Estado de noroeste a sudeste, a predominância de estruturas geológicas varia de rochas jurocretáceas pertencentes ao grupo São Bento, seguido de litotipos permo-triássicos pertencentes ao

grupo Passa-Dois, seguidas de rochas de ambientes glácio-marinhos pertencentes ao Grupo Itararé (Carbonífero/Permiano), sendo verificado também, a sudeste, depósitos fluviais e costeiros devonianos pertencentes ao grupo Paraná.

No aspecto macroscópico, o estado de São Paulo abrange 3 Províncias: a do Tocantins, ocupando porção de sua parte oriental; do Paraná, que ocupa toda sua porção central e noroeste; e a Mantiqueira, que ocupa sua porção sudeste, como pode ser observado na Figura 28 (CPRM, 2003).

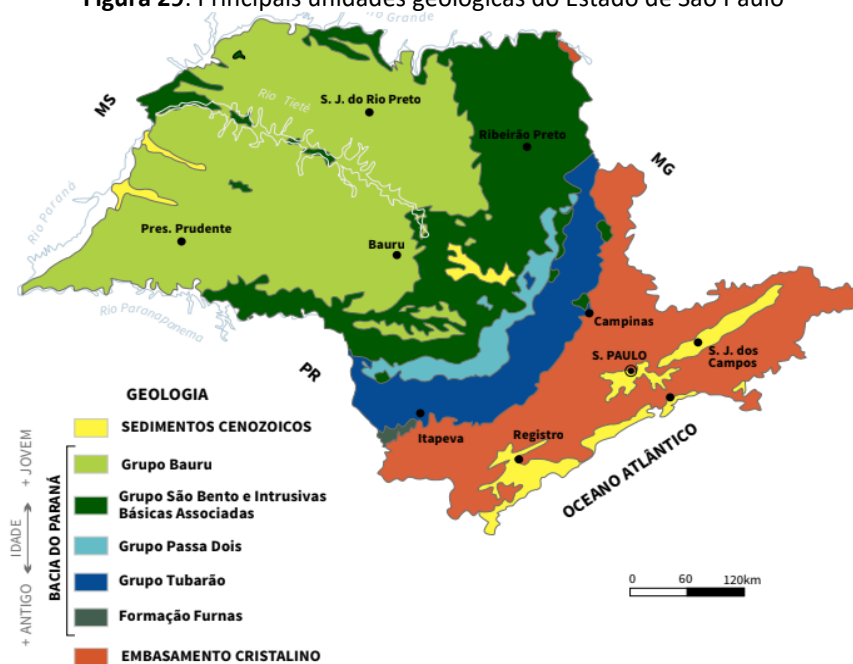


Fonte: Adaptado de CPRM (2003)

2.5.2 Descrição dos principais grupos geológicos presentes no estado de São Paulo

Segundo FIESP (2017), como pode ser observado na Figura 29, o estado de São Paulo possui 7 unidades geológicas distintas: camadas de sedimentos cenozoicos, um embasamento cristalino, a Formação Furnas, o Grupo Tubarão, o Grupo Passa-Dois, o Grupo São Bento com rochas intrusivas associadas e o Grupo Bauru.

Figura 29: Principais unidades geológicas do Estado de São Paulo



Fonte: FIESP (2017)

O Grupo Bauru abrange as formações Caiuá, Santo Anastácio, Araçatuba, São José do Rio Preto, Uberaba e Marília. Uma nova denominação foi proposta por Fernandes (1998) e Fernandes & Coimbra (2000), com a criação da Bacia Bauru, que envolve os grupos Bauru e Caiuá.

Nesta configuração, o grupo Bauru abrange as formações Vale do Rio do Peixe, composta por arenitos finos a muito finos de coloração marrom claro, laranja e rosa; Presidente Prudente, caracterizada também pela presença de arenitos finos a muito finos e lamitos argilosos; São José do Rio Preto, caracterizado por arenitos finos a muito finos intercalados com areias de médias a grossas, frequentemente na forma de conglomerados; Araçatuba, caracterizada por siltitos e arenitos com estratificação tabular; Marília, composta por arenitos imaturos, lentes de conglomerados e lamitos cimentados em carbonatos; Uberaba, composta por arenitos muito finos e lamitos siltosos em uma matriz arenosa de coloração esverdeada (SIGRH, 2001).

Ainda segundo SIGRH (2000), o Grupo São Bento envolve as formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral. A Formação Pirambóia foi composta a partir da deposição de sistemas eólicos úmidos, com interdunas úmidas e fácies fluviais (Côrtes & Perinotto, 2015). A Formação Botucatu é composta por depósitos de conglomerados e arenitos

conglomeráticos, possuindo também areias ortoquartzíticas com estratificação cruzada. A Formação Serra Geral é composta predominantemente por basaltos e basalto-andesitos toleíticos, constituindo uma formação que se estende por cerca de 1.200.000 km² (CPRM, 2004).

O Grupo Passa-Dois é composto pelas formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rastro. A primeira é composta por dois membros: Taquaral, composto por siltitos e folhelhos de coloração cinza-clara, e Assistência, composto por folhelhos cinza-escuros com intercalação de folhelhos de coloração negra associados a calcários. A Formação Serra Alta abrange uma sequência de folhelhos e siltitos de coloração acinzentada a negra. Já a Formação Teresina é composta por folhelhos de coloração acinzentada e arenitos. Finalmente, a formação Rio do Castro pode ser dividida em dois membros: Serrinha, constituído por arenitos de granulação fina intercalados com siltitos, e Morro Pelado, cuja constituição se dá por arenitos finos avermelhados, siltitos e argilitos (CPRM, 2009).

O Grupo Tubarão, ou série Tubarão, como denominado por alguns autores, é composto pelos grupos Itararé e Guatá. O Grupo Itararé possui sua porção inferior, denominada Formação Campo do Tenente, composta por pelitos de coloração castanho-avermelhada, ritmitos e diamictitos. Já sua porção intermediária, denominada Formação Mafra, se constitui de arenitos de coloração branca, amarelada e avermelhada, diamictitos, conglomerados e argilitos subordinados. Finalmente, sua porção superior é denominada formação Rio do Sul, possuindo porção basal constituída de folhelhos de coloração negra e turbiditos areno-pelíticos (CPRM, 2009).

O Grupo Guatá compreende as formações Rio Bonito e Palermo. A primeira é composta por 3 membros: Triunfo, porção basal constituída por arenitos e conglomerados; Paraguaçu, constituída por siltitos, folhelhos e arenitos; e Siderópolis, composto por intercalações de arenitos, siltitos, folhelhos carbonosos e carvão. Já a formação Palermo compreende uma sequência de siltitos de colorações acinzentadas e amareladas, com presença de lentes de arenitos finos a conglomeráticos (CPRM, 2015).

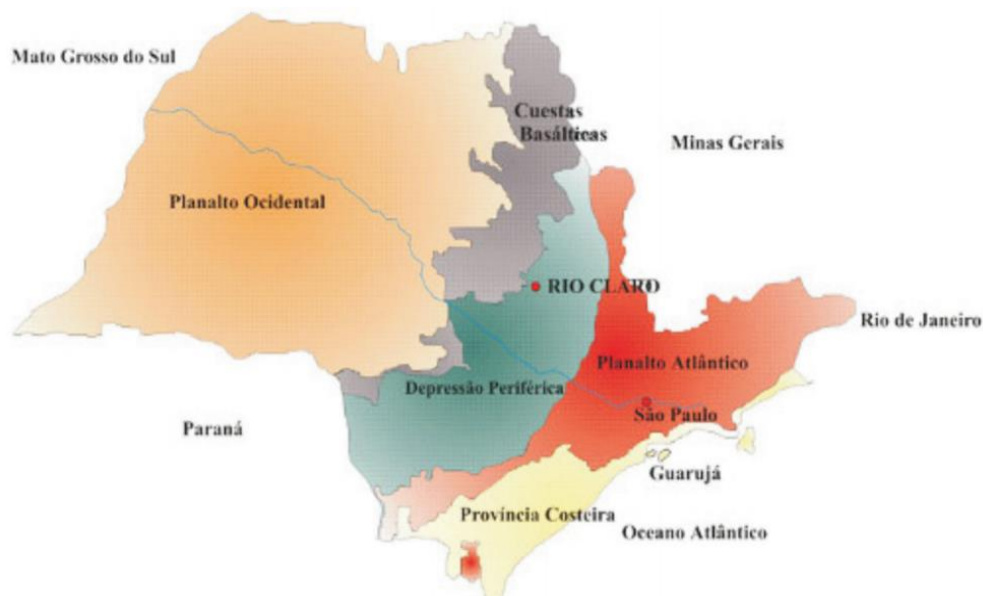
A Formação Furnas consiste de arenitos feldspáticos de coloração esbranquiçada de granulação média a grossa, intercalados com conglomerados, arenitos conglomeráticos e siltitos, possuindo estratificação cruzada acanalada (CPRM, 2015).

Estes Grupos são compostos predominantemente por arenitos e conglomerados, com exceção da Formação Serra Geral que abrange boa parte do estado. Esta geologia garante a presença de importantes reservas minerais para o mercado de agregados do Estado de São Paulo.

2.5.3 Descrição geomorfológica do estado de São Paulo

Segundo Mantesso-Neto et al. (2013), no que tange à geomorfologia do Estado de São Paulo, esta é fortemente condicionada por sua geologia, como pode ser verificado comparando-se as Figuras 29 e 30. O Estado de São Paulo se divide em 5 compartimentos, no sentido de leste a oeste: Província Costeira, Planalto Atlântico, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental, como apresentado na Figura 30.

Figura 30: Esboço morfogeológico do Estado de São Paulo



Fonte: Estado de São Paulo imagens (s.d.) apud Mantesso-Neto et al. (2013)

A Figura 31 mostra um perfil morfogeológico do Estado, destacando-se as principais feições apresentadas. Na província costeira predominam ambientes sedimentares, provenientes de depósitos aluvionares e da sedimentação do Planalto Atlântico. Neste predominam relevos de morros baixos, sustentados por xistos, e com ambientes de

sedimentação fluviais. Na depressão periférica predominam ambientes fluviais e rochas diabásicas, com relevos pouco acidentados. Nas Cuestas Basálticas e no Planalto Ocidental predominam rochas de origem ígnea, sendo a principal diferença entre estas feições, o seu relevo (Oliveira & Guerra, 2011).

Figura 31: Perfil morfológico do Estado de São Paulo



Fonte: ROSS (2003)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta inicial de dados foi realizada junto à gerencia regional da ANM de São Paulo durante um período de 3 meses, quando foram disponibilizados os estudos de estabilidade de cavas de mineração realizados por detentores de títulos de lavra no Estado de São Paulo em resposta ao ofício circular nº 001/2012. Destaca-se que foi a primeira análise sistemática que estes processos receberam, obtendo-se informações até então inéditas sobre o cumprimento deste ofício.

A análise destes dados permitiu a construção de uma base de dados através do software *Microsoft Excel*, apresentada no Apêndice, e por meio da utilização de *softwares* de manipulação de dados, foram obtidas as seguintes informações:

- Número de empresas que receberam o ofício dentre aquelas que o deveriam ter recebido;
- Porcentagem de titulares de direitos de lavra que realizaram o cumprimento do ofício;
- Número de titulares de direitos de lavra que apresentaram em suas análises ART (Anotação de Responsabilidade Técnica);
- Número de estudos que apresentaram informações geométricas sobre a cava;
- Porcentagem de análises que apresentaram cálculos para o Fator de Segurança e a probabilidade de ruptura.

Por meio de filtragem por substância foi possível analisar a quantidade de processos minerários para cada bem mineral, além de sua visualização por meio do uso da ferramenta *Sigmine* da ANM, na qual todos os processos minerários ativos são disponibilizados. A partir desta filtragem obteve-se as seguintes informações:

- Metodologias empregadas nos estudos, bem como o número de processos que utilizou cada uma;
- *Softwares* utilizados nos estudos de estabilidade de taludes, bem como o número de processos que utilizou cada um;

- Valores de espessura de capeamento encontrados para cada substância;
- Altura de bancadas adotada nas cavas para cada substância;
- Número de bancadas adotado nas cavas de cada bem mineral;
- Largura de berma adotada em cavas de cada substância;
- Ângulo de bancada adotado para cada bem mineral;
- Ângulo geral adotado para cavas de cada substância;
- Valores reportados para o Fator de Segurança dos taludes e
- Valores reportados para a probabilidade de ruptura dos taludes.

Estas informações foram posteriormente compiladas em diagramas de extremos e quartis utilizando os *softwares Statdisk e Rawgraphs*.

Posteriormente, para elaborar a metodologia para a avaliação de estudos da condição de estabilidade de cavas de mineração em rocha, foram identificados os métodos mais comumente utilizados para a análise de taludes em rocha, considerando os 5 mecanismos de instabilização descritos anteriormente. A aplicação destes métodos foi utilizada, então, como critério para definir um estudo de estabilidade de uma cava de mina como satisfatório.

Foi adotado o critério da norma ABNT NBR 11.682 (ABNT, 2009) para estabelecer os valores mínimos aceitáveis do Fator de Segurança dos Taludes e, tendo em vista a ausência de uma norma brasileira para valores aceitáveis da probabilidade de ruptura em talude em rocha, foi empregado o critério utilizado pela divisão de engenharia do exército estadunidense (*U.S. Army Corps of Engineers, 1997*).

O procedimento proposto foi apresentado na forma de um fluxograma criado com a ferramenta *Lucidchart*.

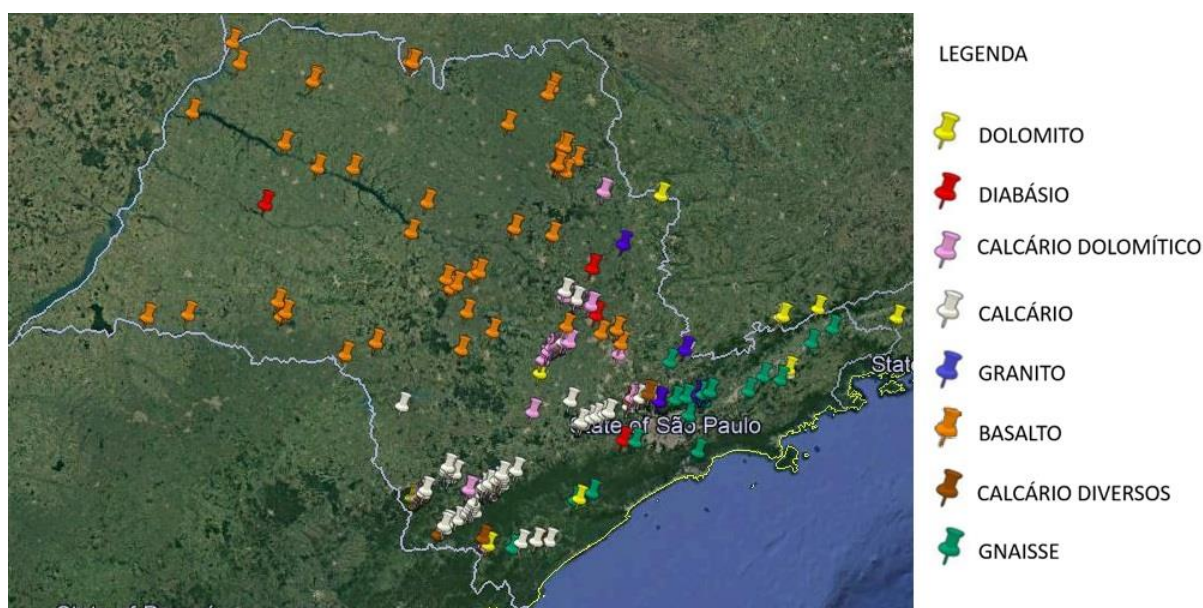
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 BASE DE DADOS

4.1.1 Análise do cumprimento do ofício circular nº 001/2012 da ANM

Dos 285 processos minerários aos quais o ofício circular nº 001/2012 da ANM foi destinado, esta pesquisa analisou caso a caso todos com exceção de 6 que não estavam disponíveis, pois seus autos físicos se encontravam na Gerência Regional de Brasília. Assim, foi constituída uma base de 279 processos minerários, cuja distribuição geográfica é apresentada na Figura 32.

Figura 32: Distribuição geográfica dos processos minerários analisados, com identificação das substâncias



Fonte: Arquivo pessoal.

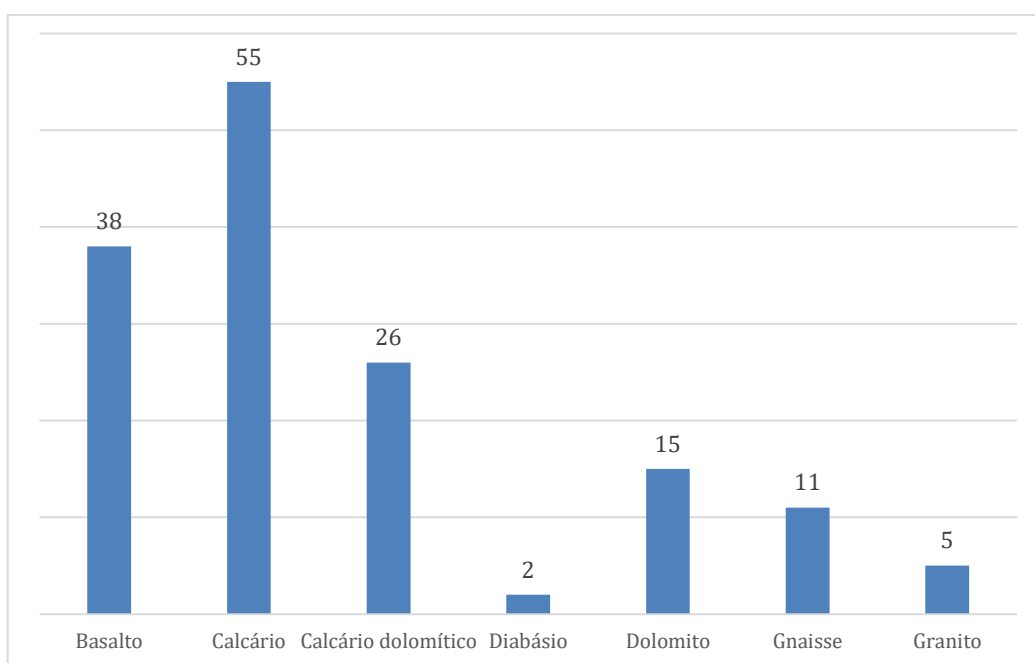
Dentre os processos minerários analisados, 20 não receberam o referido ofício, não tendo sido possível identificar o motivo do não recebimento. Destaca-se que 182 processos cumpriram o ofício da ANM, o que corresponde a uma porcentagem de 70,27% da base de processos minerários considerada.

Outro dado relevante é que o número de processos minerários que cumpriram o ofício da ANM mas não informaram parâmetros geométricos da cava é de 47, correspondendo

a 25,82% do total, o que indica uma precariedade nos estudos realizados por estas empresas de mineração.

A quantidade de processos minerários que cumpriram o ofício da ANM de forma minimamente aceitável, ou seja, apresentando Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) e parâmetros geométricos da cava é de 152, correspondendo a 54,48% da base de dados analisada. Estes 152 processos minerários correspondem aos dados úteis, passíveis de análise, distribuídos segundo as substâncias conforme apresentado no gráfico da Figura 33.

Figura 33: Número de processos minerários analisados para cada substância



Fonte: Arquivo pessoal

Destaca-se que vários dos processos minerários analisados possuem título de lavra para mais de uma substância, de modo que, para fins de análise, foi selecionada a principal, isto é, a mais representativa da produção da empresa, considerando-se todos os processos de sua titularidade.

Em relação ao Fator de Segurança do talude da cava, o número de análises que o apresentaram é de 89, correspondendo a 31,22% da base de dados analisada. Já no que tange a probabilidade de ruptura do talude, apenas 17 processos minerários a mencionaram, correspondente a cerca de 6% do total de processos.

Assim, foi possível verificar algumas correlações com as informações apontadas no capítulo 2, tais como a concentração e processos minerários cuja substância principal é o basalto a noroeste do estado, devido ao derrame basáltico predominante nesta região, que compõe grande parte da Bacia Sedimentar do Paraná.

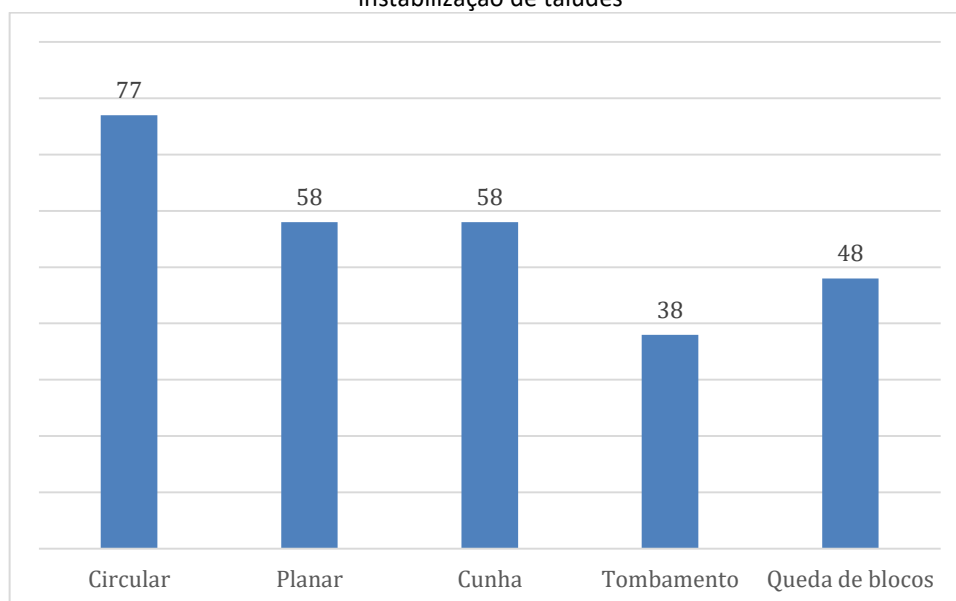
Da mesma forma, a maior concentração de processos minerários com títulos para lavra de gnaiss se dá na região sudeste do estado, na qual há a presença de um expressivo escudo cristalino.

4.1.2 Análise da base de dados construída

Utilizando-se *softwares* de manipulação de dados foi possível realizar análises que traçam um perfil da condição de trabalho e de estabilidade das cavas de mineração do Estado de São Paulo.

Dos mecanismos de instabilização de taludes em rocha descritos no capítulo 2 só não foi analisado o deslizamento por mecanismos complexos, devido, provavelmente, à dificuldade inerente ao equacionamento do problema. Assim, dos 103 processos minerários analisados, o número de processos que realizou o estudo para cada mecanismo de instabilização de taludes está apresentado no gráfico da Figura 34.

Figura 34: Número de processos minerários que realizaram o estudo para cada mecanismo de instabilização de taludes

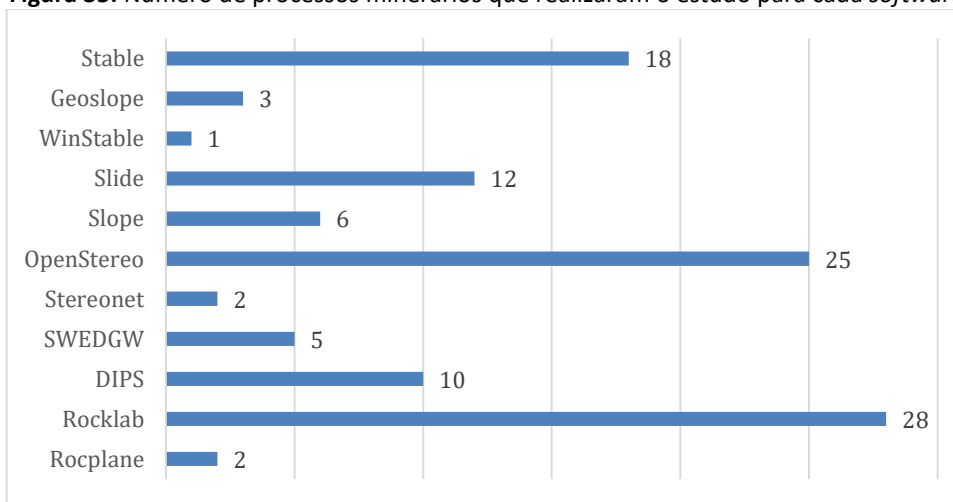


Fonte: Arquivo pessoal

O número de processos minerários que realizaram o estudo para os 5 mecanismos de instabilização de taludes é de apenas 16. Já o número total de processos que realizaram o estudo para 4 mecanismos é de 4.

Em relação aos *softwares* utilizados nos estudos de estabilidade de taludes em questão, foram identificados 11 distintos. O número de processos minerários que utilizou cada *software* está apresentado no gráfico da Figura 35.

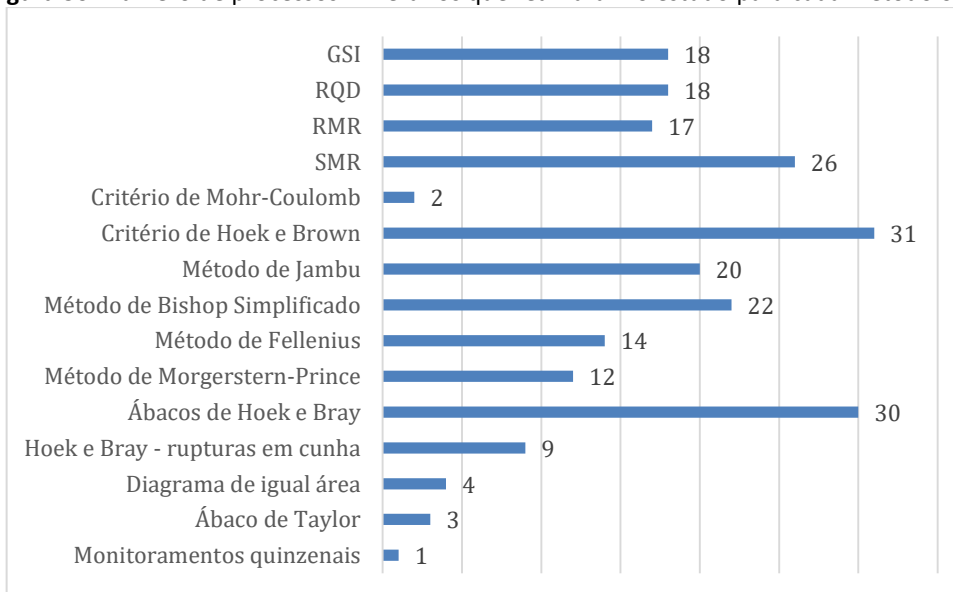
Figura 35: Número de processos minerários que realizaram o estudo para cada *software*



Fonte: Arquivo pessoal

Similarmente, foram utilizadas 15 metodologias distintas para o estudo dos mecanismos de instabilização de taludes, descritas no Quadro 2. Os números de processos minerários que os realizaram estão apresentados no gráfico da Figura 36.

Figura 36: Número de processos minerários que realizaram o estudo para cada metodologia



Fonte: Arquivo pessoal

Quadro 2: Metodologias utilizadas no estudo do mecanismo de instabilização dos taludes

Metodologia	Breve Descrição
GSI	<i>Geological Strength Index</i> - Método para avaliar a qualidade do maciço rochoso a partir de seu estado de fraturamento e da condição das juntas
RQD	<i>Rock Quality Designation</i> - Parâmetro que avalia a recuperação de fragmentos de comprimento superior a 10 cm em um testemunho de sondagem
RMR	<i>Rock Mass Rating</i> - Classificação de maciços rochosos que qualifica o maciço rochoso a partir da caracterização de campo e apresenta recomendações sobre o sistema de suporte necessário, especialmente para escavações em subterrâneo
SMR	<i>Slope Mass Rating</i> - Variação do RMR desenvolvida especialmente para escavações a céu aberto
Critério de Mohr-Coulomb	Detalhado no capítulo 2
Critério de Hoek e Brown	Critério de ruptura empírico baseado em resultados de ensaios de laboratório e na caracterização de campo do maciço rochoso
Método de Janbu	Detalhado no capítulo 2
Método de Bishop Simplificado	Detalhado no capítulo 2
Método de Fellenius	Detalhado no capítulo 2
Método de Morgerstern-Prince	Método para a análise da ruptura circular em taludes
Ábacos de Hoek e Bray para análise da ruptura circular	Ábacos propostos pelos autores, que permitem uma estimativa rápida do Fator de Segurança de taludes para a ruptura circular
Ábacos de Hoek e Bray para análise da ruptura em cunha	Ábacos propostos pelos autores, que permitem uma estimativa rápida do Fator de Segurança de taludes para a ruptura em cunha
Diagrama de igual área	Projeção dos planos de descontinuidades caracterizados em um maciço rochoso no campo em um estereograma para a identificação de famílias de descontinuidades
Ábaco de Taylor	Ábaco que, assim como os de Hoek e Bray, permite uma estimativa rápida do Fator de Segurança de taludes para a ruptura circular
Monitoramentos quinzenais com marcos	Monitoramentos nos quais marcos topográficos são colocados em taludes e, a cada 15 dias, verifica-se se houve deslocamento entre os mesmos

Fonte: Arquivo pessoal

Os parâmetros geométricos e geomecânicos reportados pelas empresas de mineração foram estudados de forma individual, e são apresentados nos itens a seguir. Destaca-se que uma parcela considerável dos parâmetros geomecânicos utilizados foi retirada da literatura.

4.1.2.1 Espessura do capeamento sobre a jazida mineral

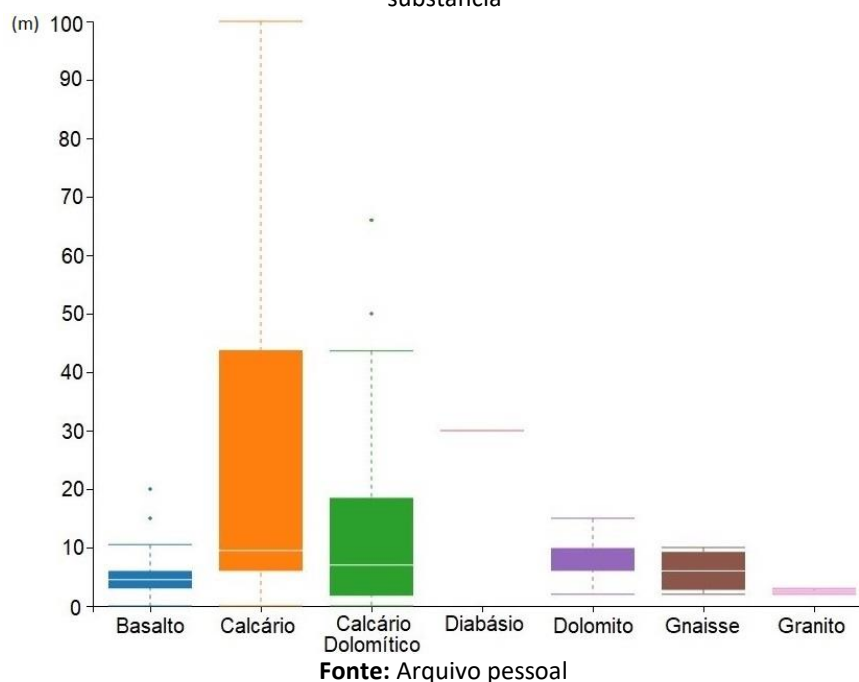
Considerando todas as substâncias, as espessuras de capeamento reportadas para as cavas das minas variaram de 0 a 100 m, o que indica a possibilidade de uma falha na apresentação dos dados nos relatórios, visto que uma camada de solo de 100 m provavelmente inviabiliza a lavra a céu aberto. Os valores se concentram na faixa de 2 m a 20 m, com valor médio entre 6 m e 9 m, conforme pode ser visualizado na Figura 37.

Figura 37: Diagrama de extremos e quartis para os valores de espessura do capeamento máxima e mínima



Comparando as várias substâncias, observa-se que a espessura de capeamento reportada para a maior parte destas se distribui em torno dos 10 m. Algumas minas de Calcário, Calcário Dolomítico e Diabásio apresentaram espessuras da ordem de algumas dezenas de metros, chegando até os 100 m para o primeiro e se concentrando na faixa dos 30 m para o último. As minas de Granito apresentaram espessuras de até 3 m.

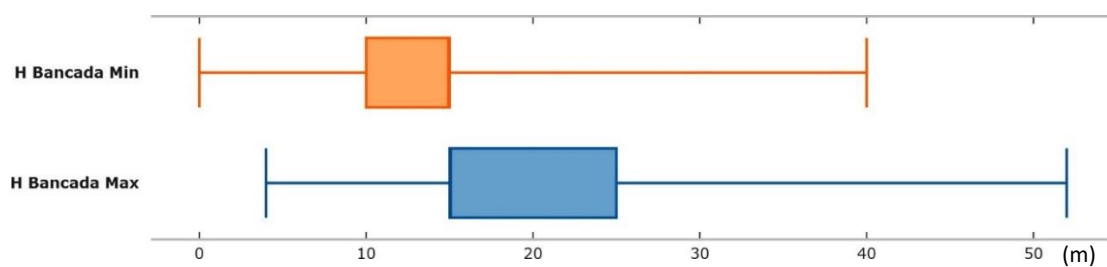
Figura 38: Diagrama de extremos e quartis para os valores de espessura do capeamento para cada substância



4.1.2.2 Altura de bancada nas cavas

A altura reportada para as bancadas variou entre 3 e 52 m, sendo este último um valor elevado para uma bancada individual. As alturas se concentram na faixa de 10 m a 25 m, com valor médio de 15 m, conforme pode ser visualizado na Figura 39.

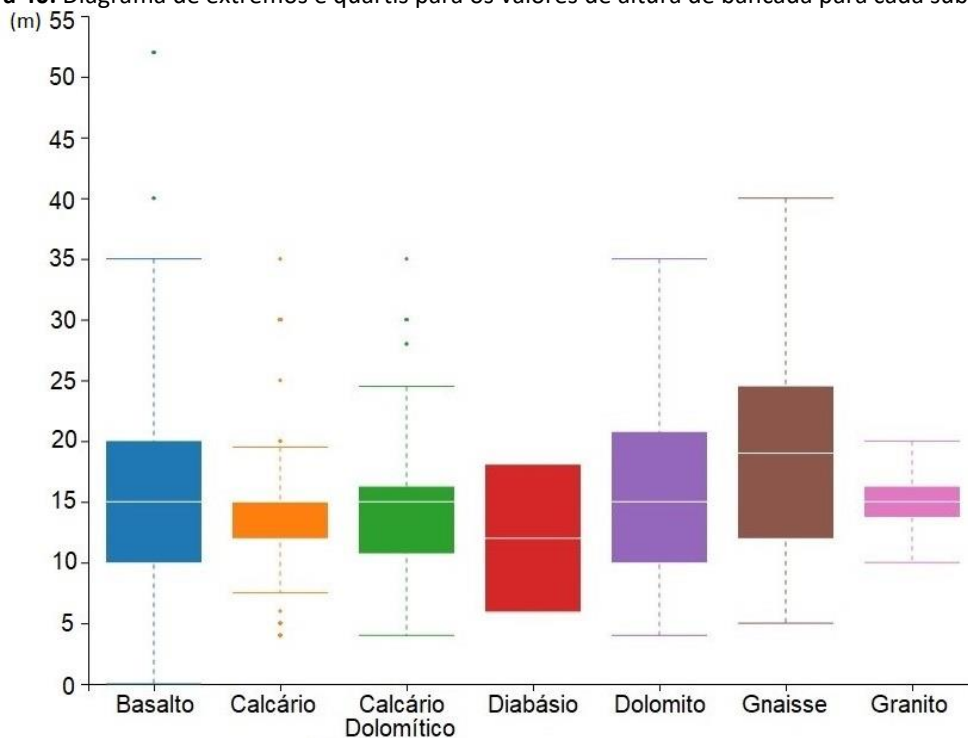
Figura 39: Diagrama de extremos e quartis para os valores de altura de bancada máxima e mínima



Fonte: Arquivo pessoal

Alisando individualmente as alturas reportadas para cada substância, observa-se que a maior parte das bancadas para cada substância se concentra na faixa entre 10 e 20 m. Apesar do quartil mais elevado ser para cavas de gnaisse, os maiores valores individuais apareceram em cavas de basalto, uma rocha tipicamente com características geomecânicas que favorecem uma boa condição de estabilidade.

Figura 40: Diagrama de extremos e quartis para os valores de altura de bancada para cada substância

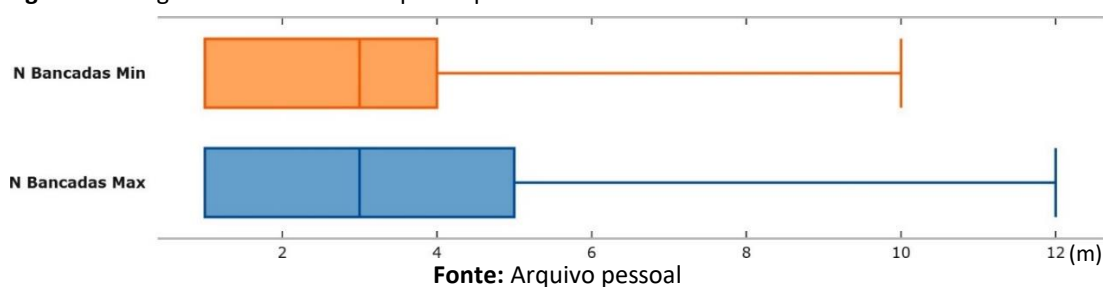


Fonte: Arquivo pessoal

4.1.2.3 Número de bancadas nas cavas

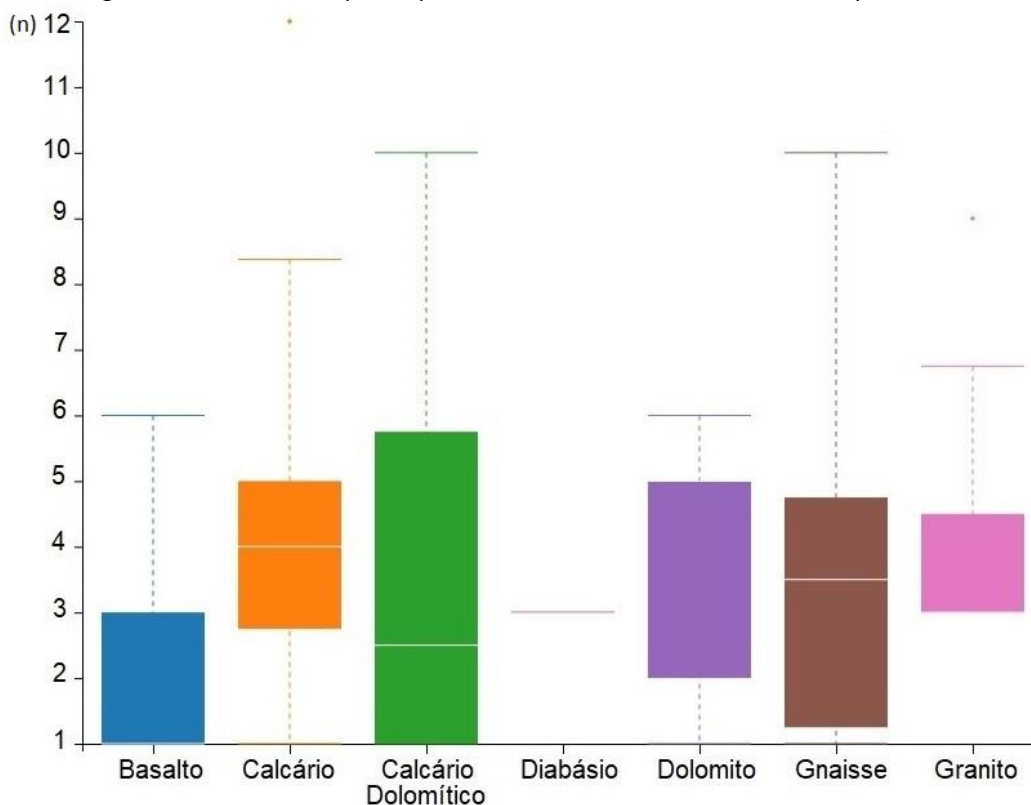
O número de bancadas nas cavas reportado variou entre 1 e 12, com os valores apresentados para todas as substâncias concentrados na faixa entre 1 e 5 e com valor médio de 3, como mostra a Figura 41.

Figura 41: Diagrama de extremos e quartis para os valores de número de bancadas máximo e mínimo



Cavas em Calcário, Calcário Dolomítico e Dolomito apresentaram os quartis com valores mais elevados, tendo a primeira substância apresentado o maior valor reportado, de 12. Em contrapartida, o Basalto apresentou o quartil com menores valores, o que pode estar relacionado à geologia tabular usualmente verificada nos derrames deste tipo de rocha.

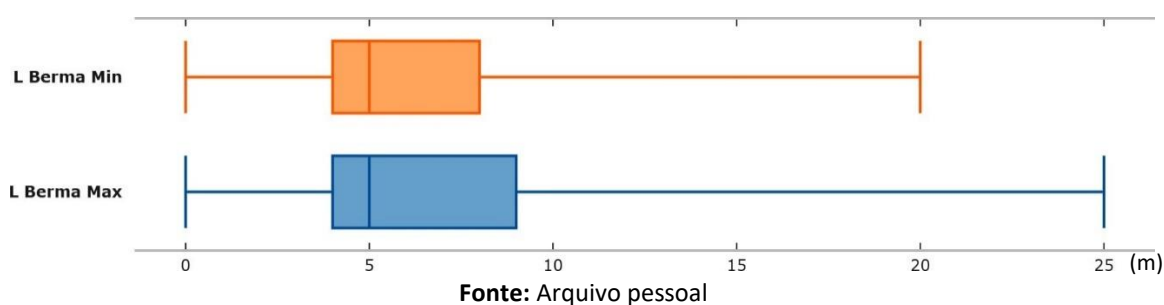
Figura 42: Diagrama de extremos e quartis para os valores de número de bancadas para cada substância



4.1.2.4 Largura de berma nas cavas

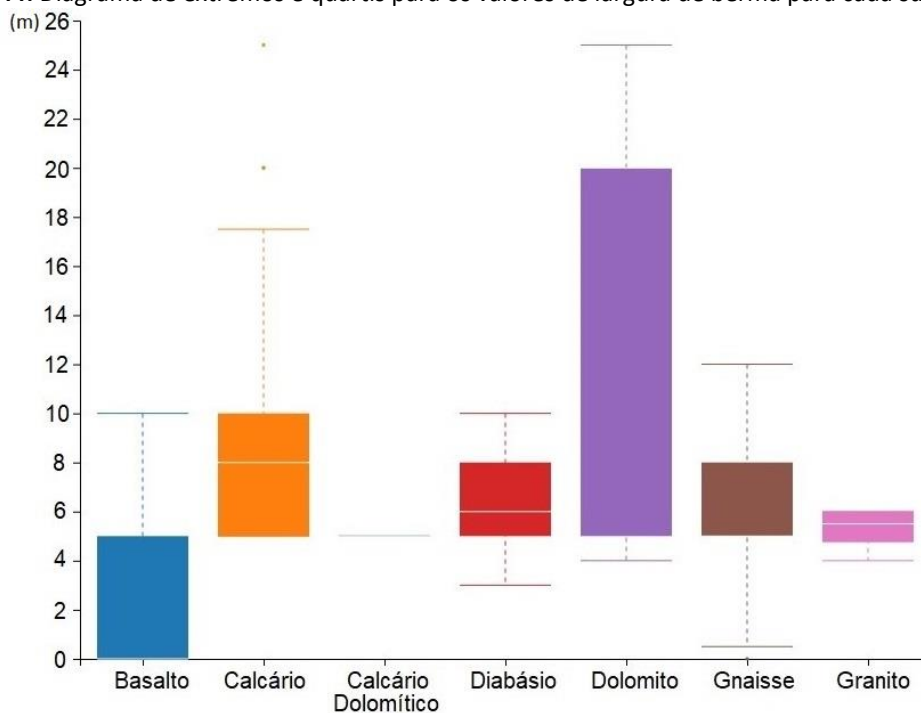
Quanto às bermas das cavas, sua largura reportada variou entre 0 e 25 m, sendo o primeiro valor em configurações de *pits* finais e o último em configurações intermediárias de lavra. Como pode ser visualizado na Figura 43, as larguras de berma reportadas predominam na faixa de 4 m a 9 m, com valor médio de 5 m.

Figura 43: Diagrama de extremos e quartis para os valores de largura de berma máxima e mínima



O Gráfico da Figura 44 mostra que a largura das bermas se concentra na faixa entre 5 e 8 m, quando discriminadas as substâncias. A exceção mais notória é o basalto, com valores variando entre 0 e 3 m, já representando configurações de *pit final*. No outro extremo localiza-se o dolomito, com quartil abrangendo os valores de 5 a 20 m, indicativos de configurações de lavra em curso.

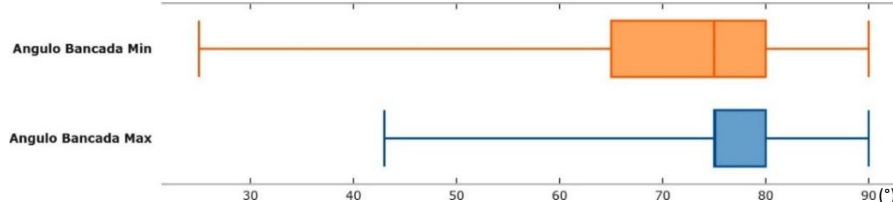
Figura 44: Diagrama de extremos e quartis para os valores de largura de berma para cada substância



4.1.2.5 Ângulo da bancada

O ângulo reportado para as bancadas variou entre 25° e 90°, concentrando-se na faixa de 65° a 80°, com uma média de 75°. O diagrama apresentado na Figura 45 mostra altos valores de ângulos adotados para muitas bancadas, o que, aliado ao baixo número de estudos que apresentaram análises adequadas de estabilidade para os taludes, indicam a possibilidade de falta de segurança em algumas cavas de mineração do Estado de São Paulo.

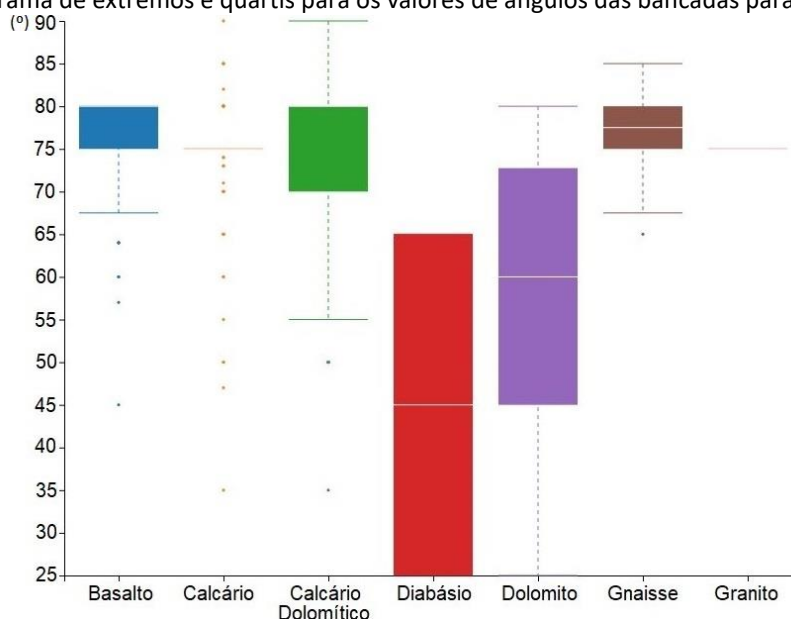
Figura 45: Diagrama de extremos e quartis para os valores de ângulos das bancadas máximo e mínimo



Fonte: Arquivo pessoal

Comparando os valores individuais por substância, observa-se uma predominância dos valores adotados para os ângulos das bancadas na faixa entre 70° e 80°. As exceções foram o Diabásio e o Dolomito, cujos valores variaram de 25° a 65° e de 45° a 72°, respectivamente. Já o calcário apresentou um valor mais frequente de 75°, apresentando, contudo, valores que variaram de 35° a 90°. Destaca-se que vários estudos informaram inclinações como subverticais, caso para o qual se adotou um valor de 80°.

Figura 46: Diagrama de extremos e quartis para os valores de ângulos das bancadas para cada substância

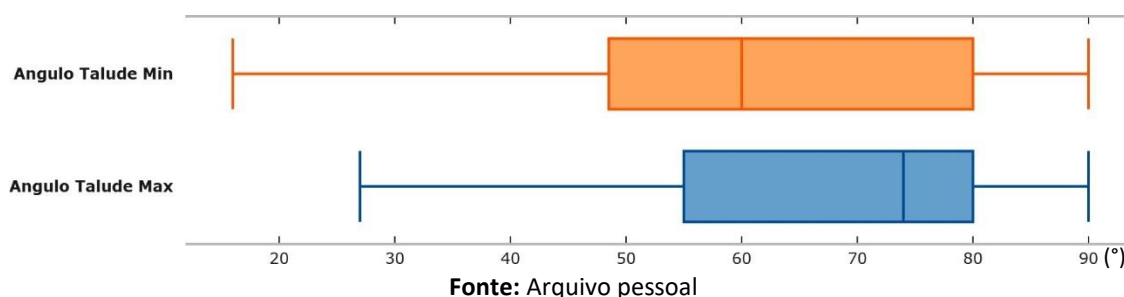


Fonte: Arquivo pessoal

4.1.2.6 Ângulo geral do talude

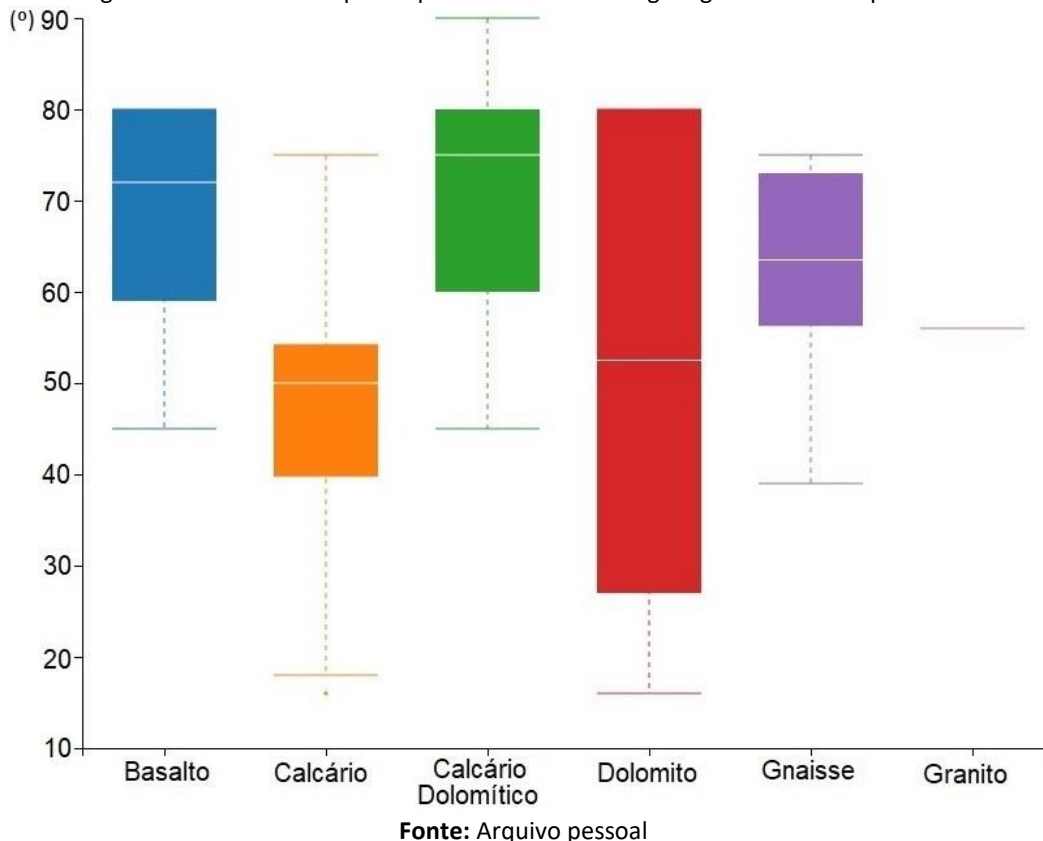
Tal como os ângulos de bancadas individuais, os ângulos gerais dos taludes reportados mostraram valores elevados, sendo frequentemente descritos como subverticais. Os ângulos variaram entre 16° e 90° entre as diversas substâncias, concentrando-se entre 48,5° e 80°, com média entre 60° e 74°, conforme apresentado no gráfico da Figura 47.

Figura 47: Diagrama de extremos e quartis para os valores de ângulo geral do talude máximo e mínimo



Analisando-se os minerais de forma individual observou-se que a maioria dos valores reportados para os ângulos gerais do talude situam-se entre 60° e 75°, estando os valores do granito concentrados em 55° e com o Calcário e o Dolomito mais dispersos, com quartis variando entre 40° e 55° e 27° a 80°, respectivamente.

Figura 48: Diagrama de extremos e quartis para os valores de ângulo geral do talude para cada substância



4.1.2.7 Fator de Segurança dos taludes das cavas

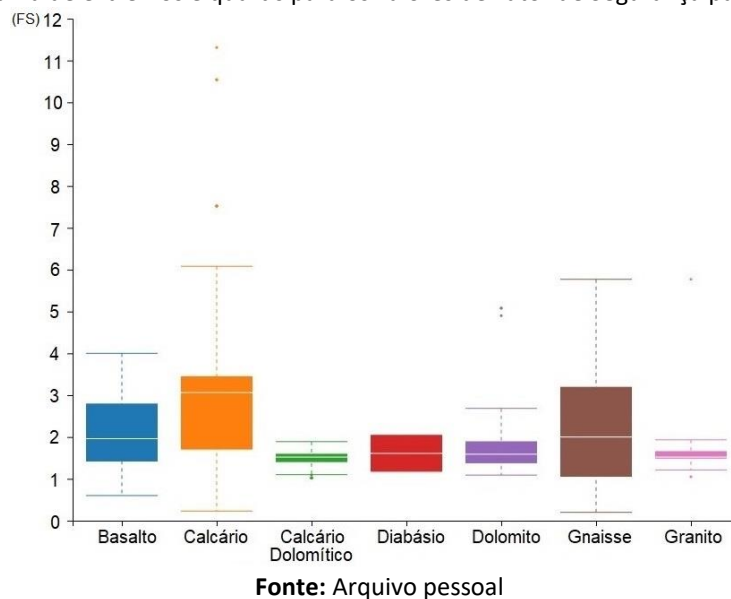
Os Fatores de Segurança reportados para os taludes variaram entre 0,2 e 411, concentrando-se entre 1,09 e 3,45 e com média entre 1,6 e 2,04. Destaca-se que aproximadamente 27% dos processos minerários que apresentaram fatores de segurança em seus estudos de estabilidade apontaram valores inferiores a 1,3, o mínimo recomendado pela norma ABNT NBR 11.682 (ABNT, 2009) para um nível de segurança de médio a baixo e recomendado de forma geral para taludes provisórios (Duncan, 2017).

Figura 49: Diagrama de extremos e quartis para os valores de Fator de Segurança máximo e mínimo



Para a elaboração dos gráficos individuais para cada substância foi necessária a exclusão dos dados apresentados que excederam o valor de 40, uma vez que os mesmos provocam uma grande distorção na escala. De forma geral, as cavas das substâncias que apresentaram maiores valores do Fator de Segurança foram o Basalto, o Calcário e o Gnaisse, cujos quartis se concentraram acima de 1,3, correspondendo, respectivamente, às faixas de variação de 1,4 a 2,8, 1,52 a 3,35 e 1,3 a 3,39. Ressalta-se que todas as substâncias apresentaram casos cujo Fator de Segurança reportado foi inferior a 1,3.

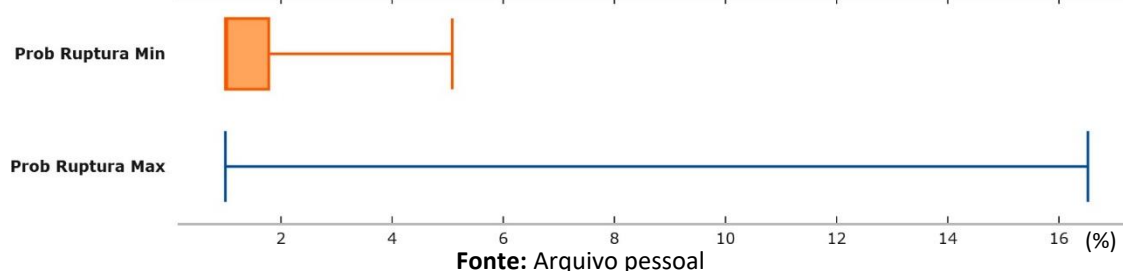
Figura 50: Diagrama de extremos e quartis para os valores de Fator de Segurança para cada substância



4.1.2.8 Probabilidade de ruptura dos taludes das cavas

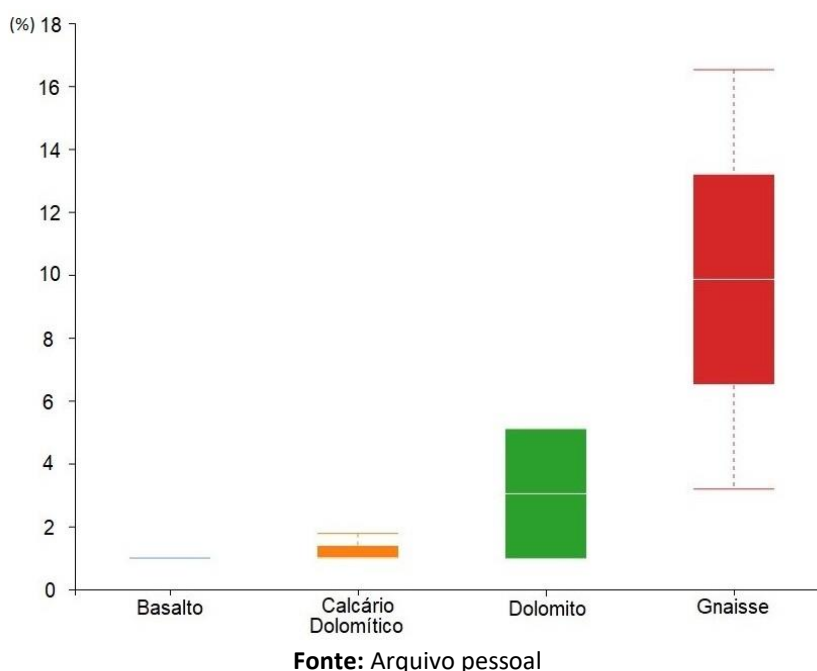
A probabilidade de ruptura reportada para os taludes variou entre 1% e 16,52%, concentrando-se predominantemente no primeiro valor, o que, segundo o critério proposto por *U.S. Army Corps of Engineers* (1997), já indica um nível de desempenho ruim esperado para os taludes das cavas. Os quartis são apresentados no diagrama da Figura 51.

Figura 51: Diagrama de extremos e quartis para os valores de probabilidade de ruptura máxima e mínima



Foram reportadas as probabilidades de ruptura dos taludes apenas para 4 substâncias, sendo elas o basalto, o calcário dolomítico, o dolomito e o gnaisse. Os valores para estas substâncias foram de, respectivamente, 1%, 1% a 1,78%, 1% a 5,08% e 3,19% a 16,52%. Destaca-se que vários estudos reportaram que a probabilidade de ruptura foi inferior a 1% sem, contudo, especificar o valor exato. Neste caso foi adotado o valor de 1%.

Figura 52: Diagrama de extremos e quartis para os valores de probabilidade de ruptura para cada substância



4.2 METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO DE ESTUDOS DE ESTABILIDADE DE CAVAS DE MINERAÇÃO EM ROCHA

4.2.1 Metodologia proposta

A metodologia proposta para a orientação do procedimento de avaliação de estudos de estabilidade de cavas de mineração em rocha é expressa na forma de um fluxograma (Figura 53) que conduz o avaliador na análise do estudo de estabilidade dos taludes por uma série de passos, informando ao final se o estudo pode ser considerado satisfatório ou se é necessária a formulação de uma “exigência”, isto é, uma obrigação da empresa de mineração para a apresentação de alguma informação ou documento.

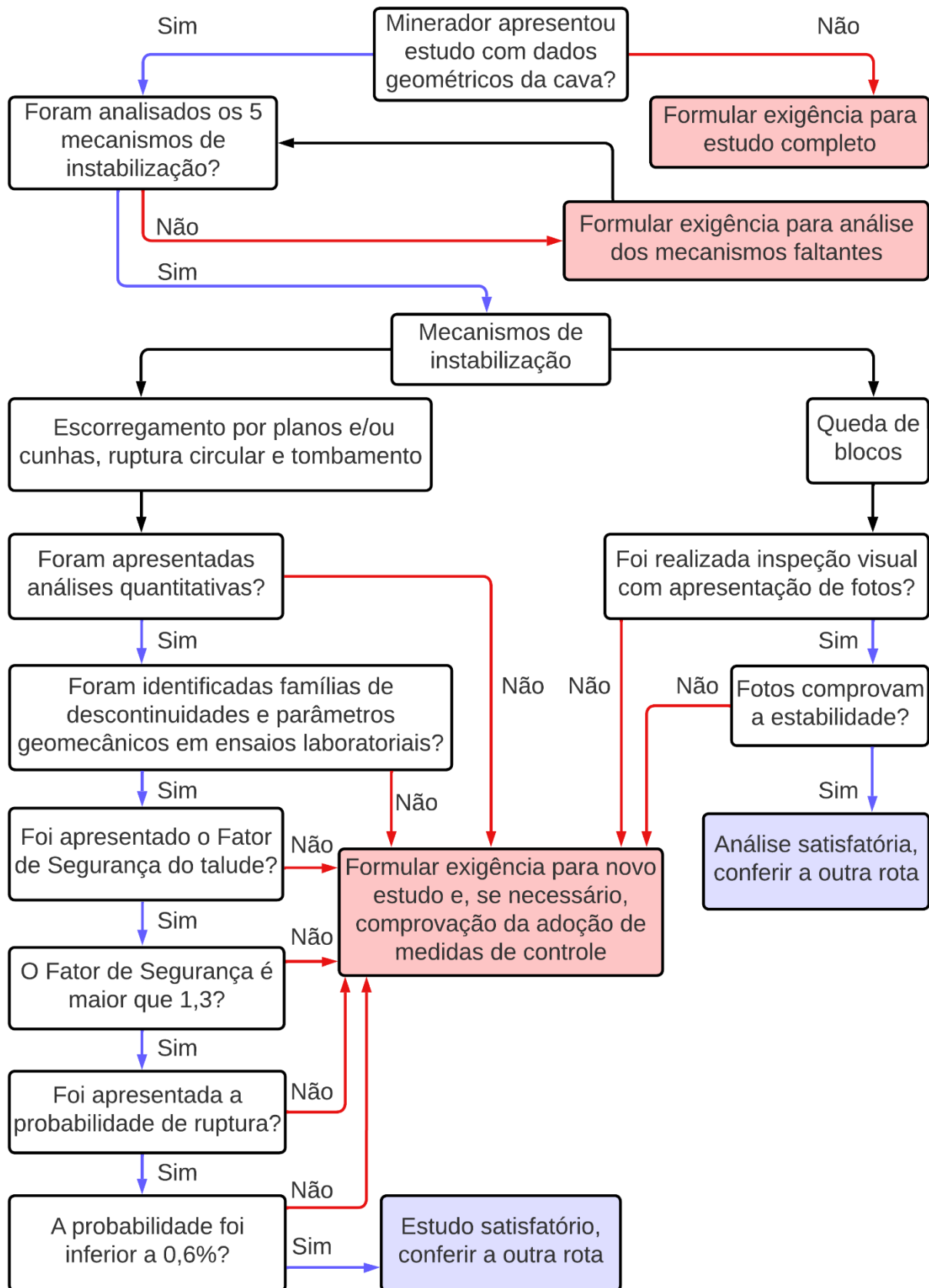
Destaca-se que a metodologia foi proposta tendo em vista a sua aplicação por parte do órgão fiscalizador, que possui autoridade para emitir exigências aos detentores dos títulos minerários sob pena de caducidade do título e perda dos direitos minerários sobre a área em questão. Assim, caso o estudo de estabilidade dos taludes necessite de uma complementação, esta poderia ser solicitada mediante a publicação da respectiva exigência por parte do órgão fiscalizador no Diário Oficial da União, obrigando o seu cumprimento por parte do minerador.

A metodologia proposta segue etapas na qual, inicialmente, é verificado se foi apresentado o estudo e se o mesmo contempla os cinco mecanismos de instabilização de taludes descritos anteriormente, sugerindo a formulação de exigência para apresentação ou complementação com o estudo dos mecanismos não avaliados.

Superada esta etapa, o fluxograma da metodologia se divide em duas rotas, tendo em vista que a análise do mecanismo de instabilização por queda de blocos é realizada principalmente por meio de inspeção visual. A rota para este tipo de instabilização consiste na verificação da apresentação de inspeção visual, comprovada com fotos, que ateste a estabilidade dos taludes da cava.

Ressalta-se que a veracidade das informações reportadas e a correção dos estudos quantitativos realizados são de responsabilidade exclusiva do minerador.

Figura 53: Metodologia proposta para a avaliação de estudos de estabilidade de cavas de mineração em rocha



Fonte: Arquivo pessoal

Já a outra rota avalia os mecanismos de instabilização por escorregamento por planos e/ou cunhas, ruptura circular e tombamento de blocos. Verifica-se se foram apresentadas análises quantitativas, identificadas as famílias de descontinuidades e os parâmetros geomecânicos em ensaios laboratoriais, se foi apresentado o Fator de Segurança dos taludes, se o mesmo foi superior a 1,3, se foi apresentada a probabilidade de ruptura dos taludes, calculada por meio de métodos estatísticos, e se a mesma foi inferior a 0,6%, para atender a recomendação do método “*U.S. Army Corps of Engineers*”.

Caso estes requisitos tenham sido adequadamente atendidos, o estudo de estabilidade da cava da mina pode ser considerado satisfatório, em caso contrário sugere-se a formulação de exigência para a complementação do estudo com as informações faltantes.

Da mesma forma, para casos em que o Fator de Segurança seja inferior a 1,3 e a probabilidade de ruptura seja superior a 0,6%, sugere-se a solicitação de exigência para adoção de medidas de controle, que deverão ser comprovadas ao órgão fiscalizador. Sugere-se, ainda, que, caso não apresentada metodologia utilizada para o cálculo destes parâmetros, que a mesma seja incluída na exigência. Alternativamente, caso a metodologia empregada não seja de ampla aceitação na literatura, pode ser exigida a apresentação de um novo estudo realizado com metodologia tradicional.

Para que o estudo global possa ser considerado satisfatório, ambas as rotas devem ter apresentado resultados satisfatórios. Adicionalmente, a exigência a ser formulada possui caráter cumulativo, isto é, ao final da análise poderão ser acumulados vários itens solicitados a constar na exigência.

4.2.2 Aplicação da metodologia a casos selecionados

Esta seção é dedicada à demonstração do princípio de aplicação da metodologia proposta para a avaliação de estudos de estabilidade de cavas de mineração em rocha, empregando-a em exemplos extraídos da base de dados construída e descrita anteriormente.

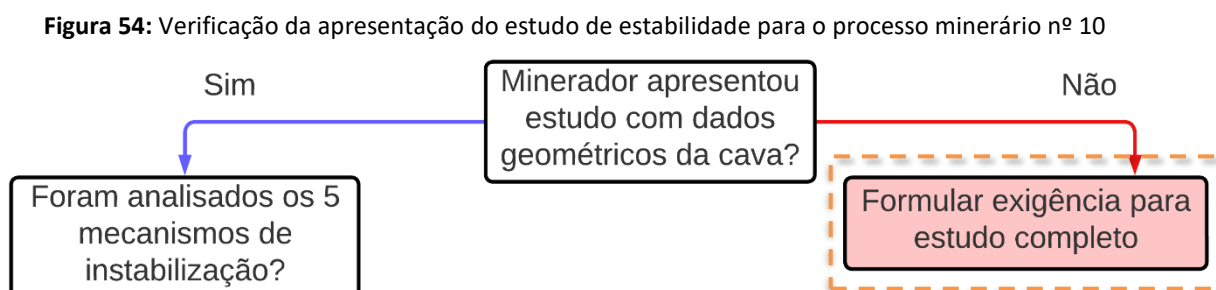
Foram selecionados 6 casos cujos estudos apresentados variam em relação ao volume de informações reportadas, ilustrando, assim, como proceder em situações com diferentes complexidades e estão expostos de forma crescente neste quesito.

Ressalta-se que esta quantidade foi suficiente para abordar todos os diferentes níveis de complexidade e que cada caso abordado corresponde a uma substância distinta, de forma a demonstrar a aplicação da metodologia a situações diversas.

Ressalta-se que todas as informações dos processos minerários foram disponibilizadas pela ANM para uma análise qualitativa e quantitativa, mas a divulgação dos dados se faz no aspecto geral, sempre preservando o anonimato quanto à identificação das empresas e dos titulares dos direitos de lavra. Assim, foi atribuído um índice genérico variando de 1 a 279 para cada processo minerário.

4.2.2.1 Processo minerário nº 10

As informações reportadas para o cumprimento do ofício circular nº 001/2012 para este processo minerário trazem apenas um projeto de estudo de estabilidade de taludes, e não uma análise propriamente dita. Apesar da apresentação da ART, não foram apresentados parâmetros geomecânicos ou quaisquer informações a respeito da configuração geométrica da cava da mina. Assim, a aplicação da metodologia se dá da seguinte forma:



Fonte: Arquivo pessoal

Tendo em vista que não foi apresentado um estudo, recomenda-se que o órgão fiscalizador formule exigência para a apresentação do estudo completo, verificando os 5

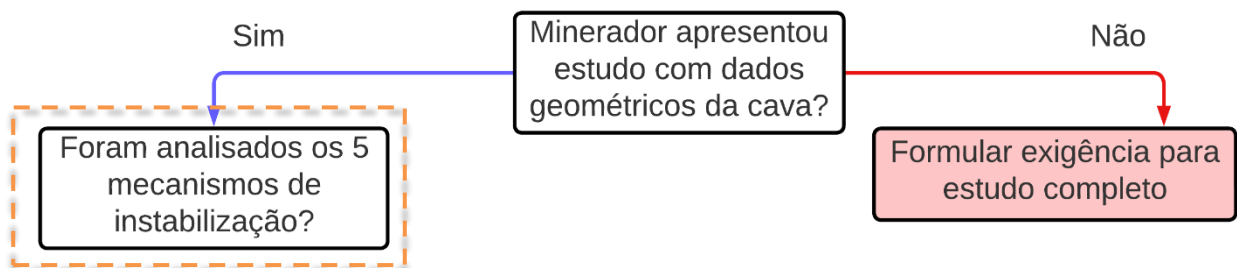
mecanismos de instabilização, apresentando o Fator de Segurança e a probabilidade de ruptura e informando quais foram os métodos e *softwares* utilizados.

4.2.2.2 Processo minerário nº 184

As informações reportadas limitaram-se somente aos parâmetros geométricos da configuração atual da cava da mina, tais como as alturas mínima e máxima dos taludes, o número de bancadas em cada seção da cava, a largura de berma e os ângulos mínimo e máximo das bancadas, bem como os ângulos gerais de cada seção da cava.

Não foram fornecidas informações sobre a espessura do capeamento, não foi realizado estudo de estabilidade dos taludes ou realizada inspeção visual para identificar potenciais blocos instáveis que necessitem de controle. Desta forma, a aplicação da metodologia será como segue:

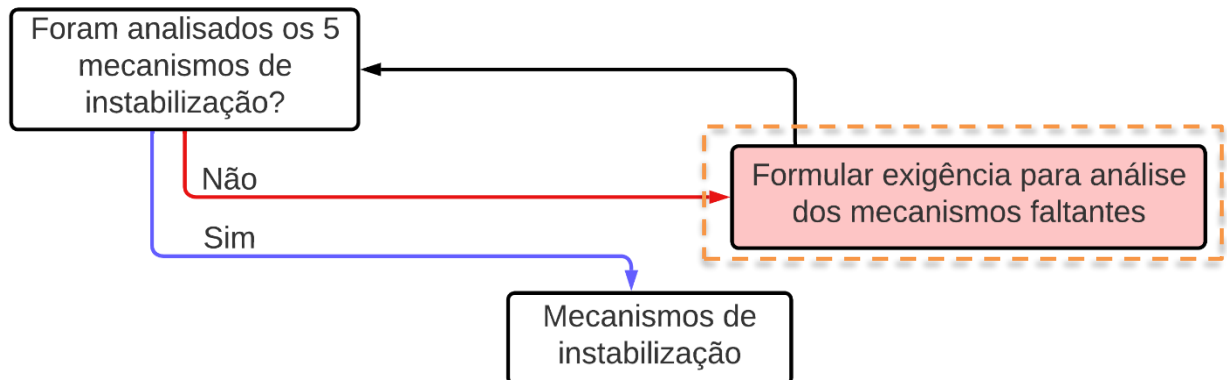
Figura 55: Verificação do estudo de estabilidade para o processo minerário nº 184



Fonte: Arquivo pessoal

Uma vez que foi apresentado um estudo, ainda que mínimo, verifica-se se foram analisados os 5 tipos de mecanismos de instabilização.

Figura 56: Verificação da apresentação da análise dos 5 mecanismos de instabilização para o processo minerário nº 184



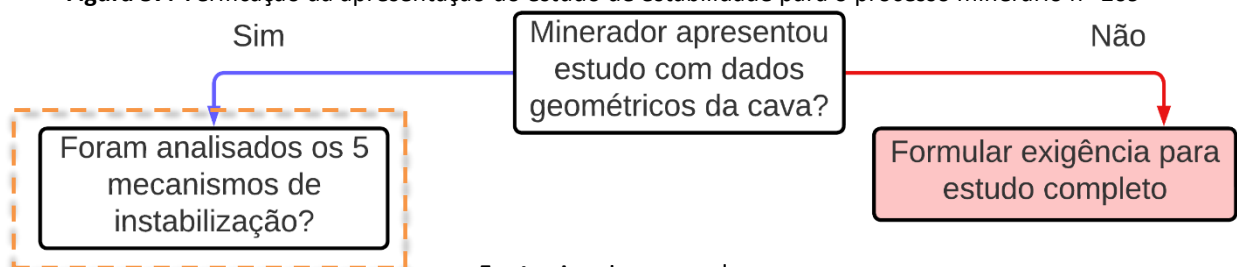
Fonte: Arquivo pessoal

Como já relatado, foram apresentados apenas os parâmetros geométricos da cava, sem análises específicas para cada mecanismo de instabilização. Assim, recomenda-se formular exigência para apresentação de análises para os 5 tipos, munidas de Fator de Segurança, da probabilidade de ruptura e informando quais foram os métodos e *softwares* utilizados.

4.2.2.3 Processo minerário nº 209

O estudo apresentado neste caso reportou um volume de informações consideravelmente maior que os anteriores, a sequência de aplicação da metodologia será:

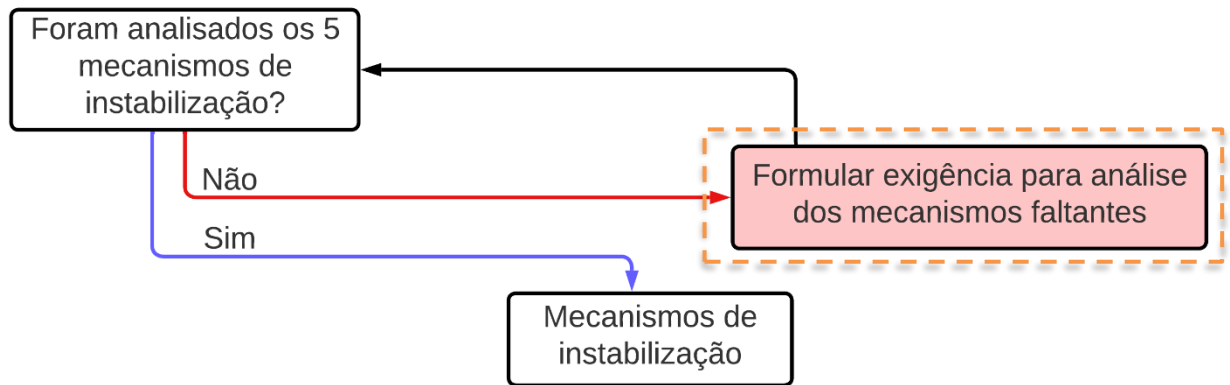
Figura 57: Verificação da apresentação do estudo de estabilidade para o processo minerário nº 209



Fonte: Arquivo pessoal

Apesar de terem sido reportados somente valores de altura das bancadas, que variou entre 3 e 10 m a depender de seu setor, foi apresentado um estudo de estabilidade. Assim, o procedimento segue a opção positiva, indicada pela seta azul.

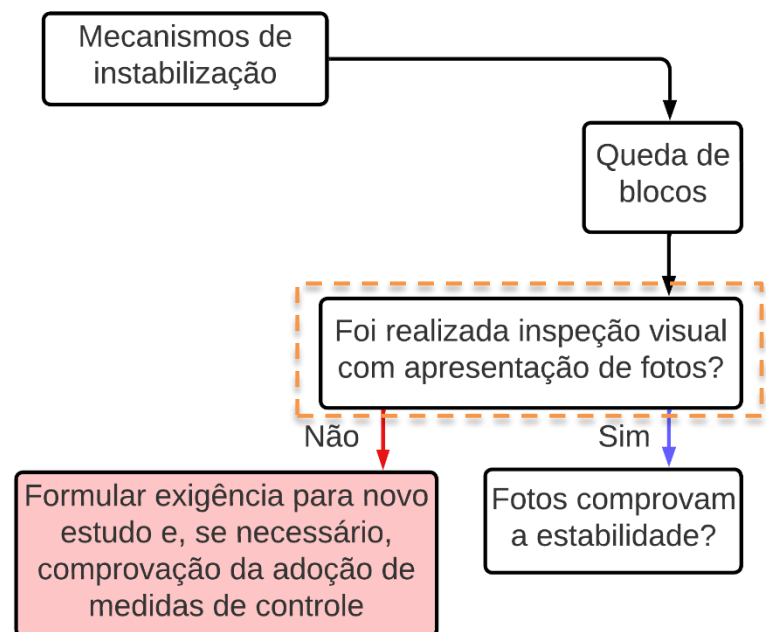
Figura 58: Verificação da apresentação da análise dos 5 mecanismos de instabilização para o processo minerário nº 209



Fonte: Arquivo pessoal

Neste caso foram analisadas apenas a ruptura em cunha e a queda de blocos, de forma que se recomenda a formulação de exigência para a análise de escorregamento por planos, ruptura circular e tombamento de blocos.

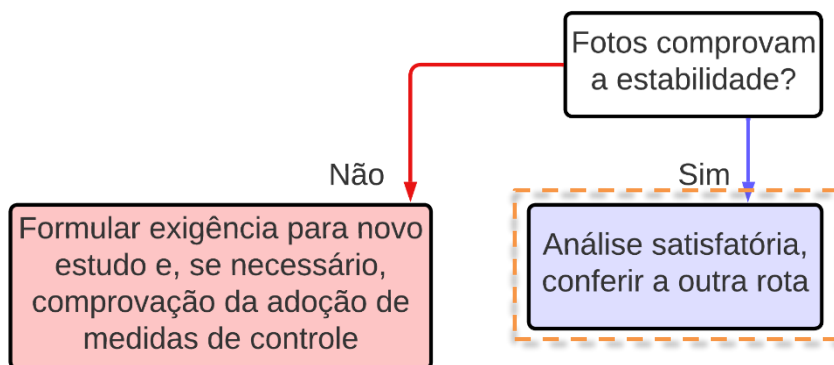
Figura 59: Verificação da realização de inspeção visual com apresentação de fotos para a análise da queda de blocos para o processo minerário nº 209



Fonte: Arquivo pessoal

Procedendo-se à verificação dos mecanismos de instabilização analisados, o diagrama se ramifica em duas rotas. Para a queda de blocos instáveis é necessário verificar se foi realizada inspeção visual com apresentação de fotos, como foi o caso do estudo em questão.

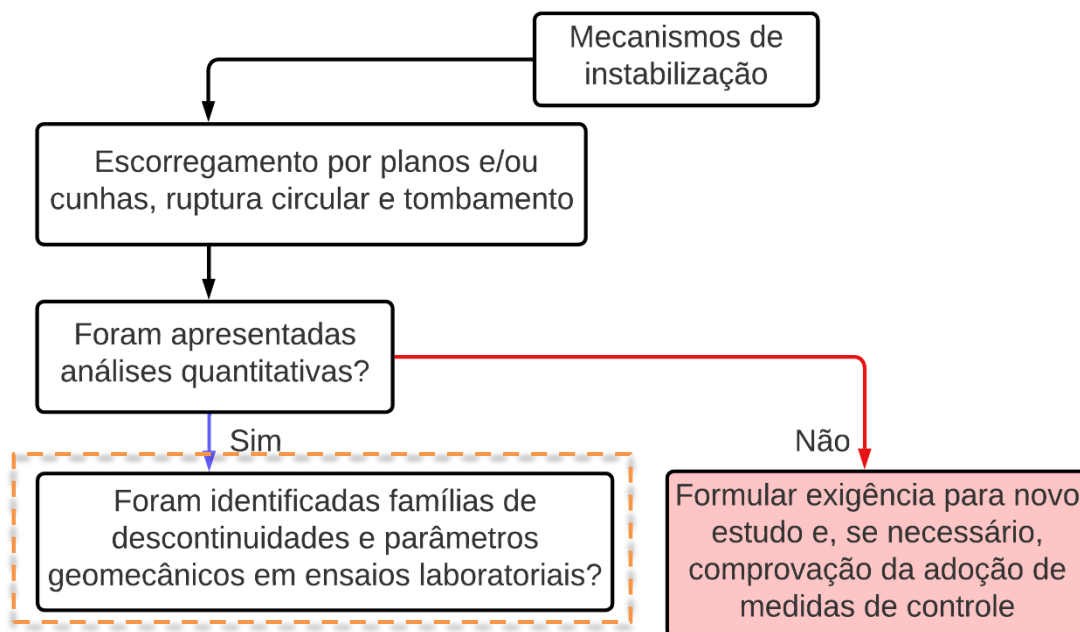
Figura 60: Verificação da comprovação da estabilidade através de fotos para a análise da queda de blocos para o processo minerário nº 209



Fonte: Arquivo pessoal

Tendo em vista que as fotos apresentadas atestam a estabilidade dos taludes em relação à presença de blocos, a análise desta rota pode ser considerada satisfatória. Procedeu-se, assim, à análise da outra rota.

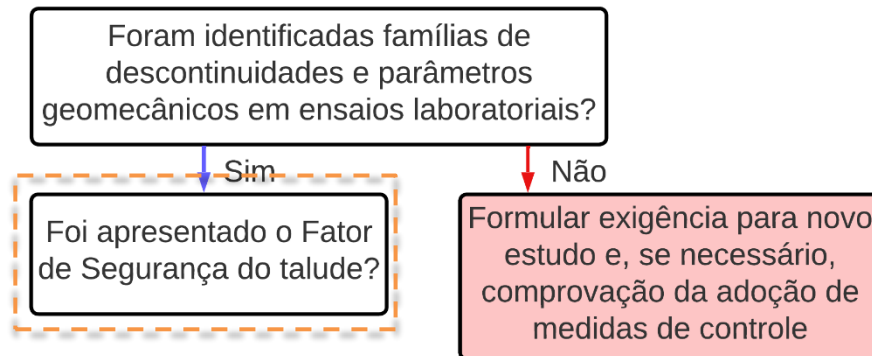
Figura 61: Verificação da apresentação de análises quantitativas para escorregamento por planos e cunhas, ruptura circular e tombamento de blocos para o processo minerário nº 209



Fonte: Arquivo pessoal

Para a análise da ruptura em cunha foram apresentadas análises quantitativas. Procedeu-se à verificação da identificação de famílias de descontinuidades e de parâmetros geomecânicos em ensaios laboratoriais.

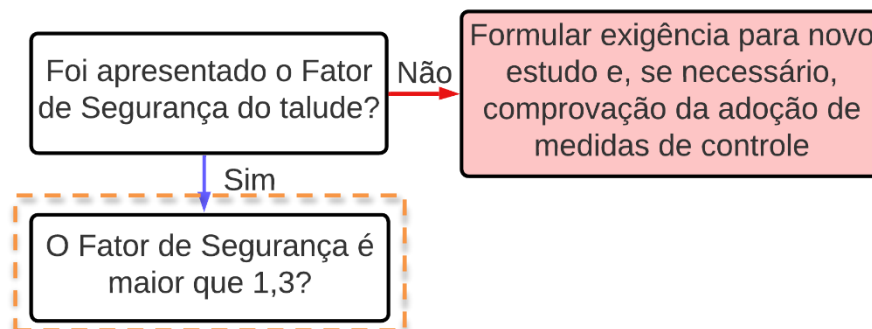
Figura 62: Verificação da identificação de famílias de descontinuidades e parâmetros geomecânicos em ensaios laboratoriais para o processo minerário nº 209



Fonte: Arquivo pessoal

Constata-se que foram identificadas as famílias de descontinuidades presentes por meio de levantamentos de campo e construído o diagrama de projeção estereográfica utilizando o *software* OpenStereo para a verificação da possibilidade de formação de cunhas. Já a coesão e o ângulo de atrito interno da rocha foram determinados em ensaios realizados em laboratório. Verificou-se, então, se houve a apresentação do Fator de Segurança.

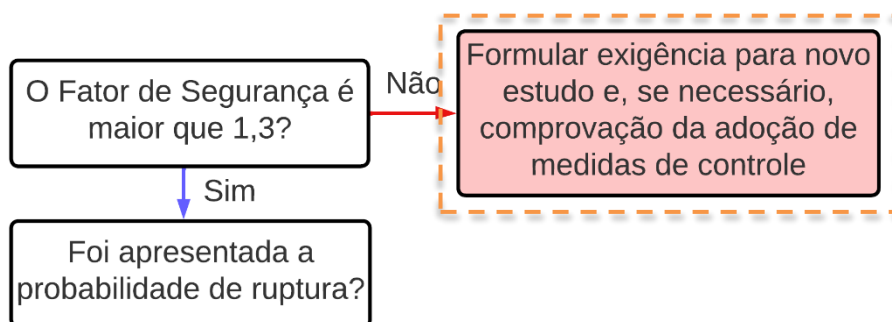
Figura 63: Verificação da apresentação do Fator de Segurança para o processo minerário nº 209



Fonte: Arquivo pessoal

Foram apresentados diferentes Fatores de Segurança no estudo, correspondentes às várias possibilidades de cunhas que poderiam se desprender das faces dos taludes. Estes Fatores de Segurança foram calculados utilizando os ábacos de Hoek e Bray para a análise de rupturas em cunha.

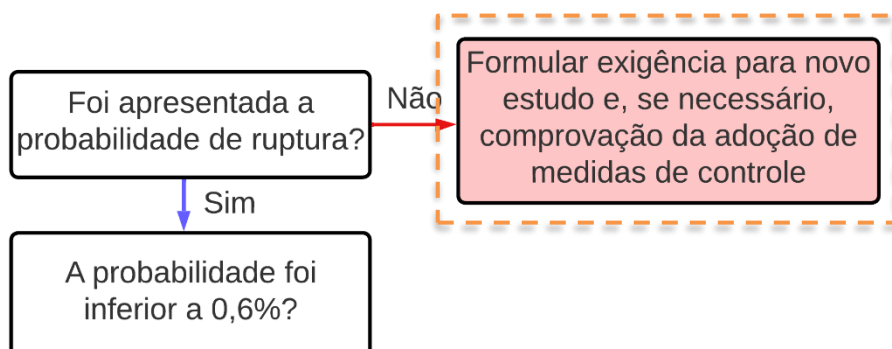
Figura 64: Verificação se o Fator de Segurança foi superior a 1,3 para o processo minerário nº 209



Fonte: Arquivo pessoal

Foram apresentados Fatores de Segurança que variam entre 0,29 e 1,24, levando à necessidade da formulação de exigência para adoção de medidas de controle. Verificou-se então, se foi apresentada a probabilidade de ruptura.

Figura 65: Verificação da apresentação da probabilidade de ruptura para o processo minerário nº 209



Fonte: Arquivo pessoal

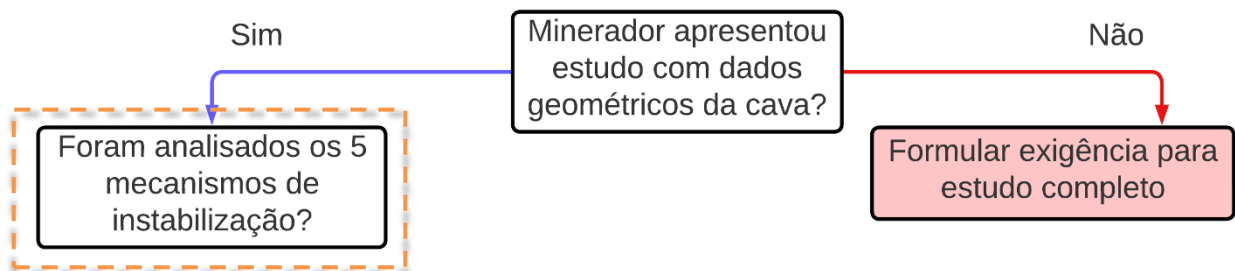
Uma vez que tal probabilidade não foi apresentada, recomenda-se a formulação de exigência para a sua apresentação, em complementação ao estudo da ruptura em cunha.

Assim, recomenda-se para este processo minerário a formulação de exigência para apresentação de: análise de estabilidade para escorregamentos por planos, ruptura circular e tombamento de blocos; parâmetros geométricos completos da cava, comprovação da adoção de medidas de controle nas cunhas identificadas; e cálculo da probabilidade de ruptura para os vários mecanismos de instabilização dos taludes.

4.2.2.4 Processo minerário nº 260

Em cumprimento ao ofício para este processo minerário foi apresentada uma análise completa para a ruptura circular, não tendo sido considerados os demais mecanismos de instabilização. Assim, a metodologia foi aplicada da seguinte forma:

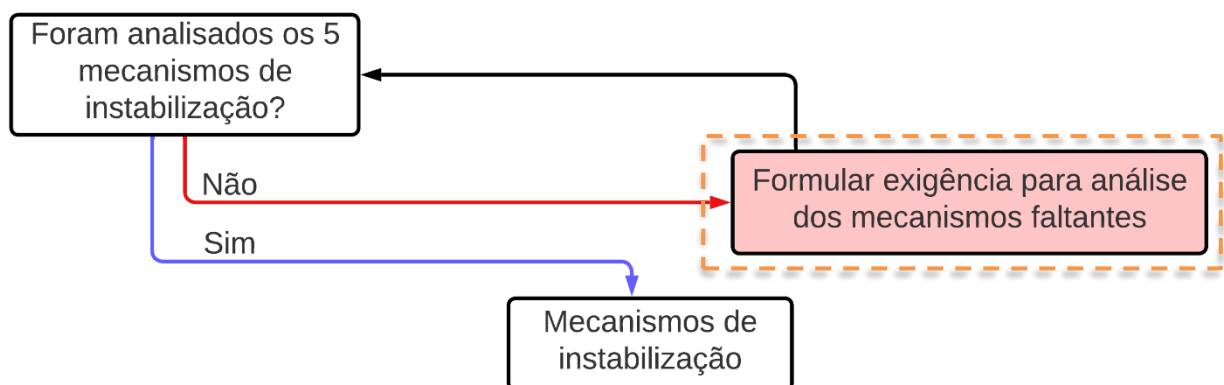
Figura 66: Verificação da apresentação do estudo de estabilidade para o processo minerário nº 260



Fonte: Arquivo pessoal

Foi apresentado o estudo com dados geométricos da cava, de forma que se optou pela rota à esquerda.

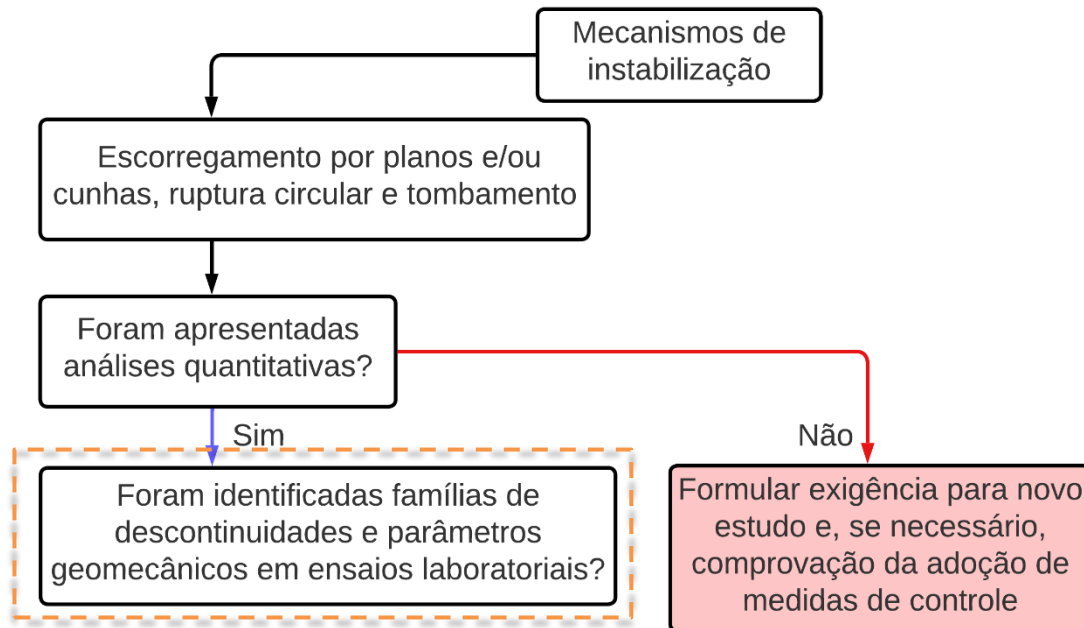
Figura 67: Verificação da apresentação da análise dos 5 mecanismos de instabilização para o processo minerário nº 260



Fonte: Arquivo pessoal

Tendo em vista que a análise foi apresentada somente para a ruptura circular, recomenda-se a formulação de exigência para análise de escorregamento por planos e cunhas, tombamento e queda de blocos.

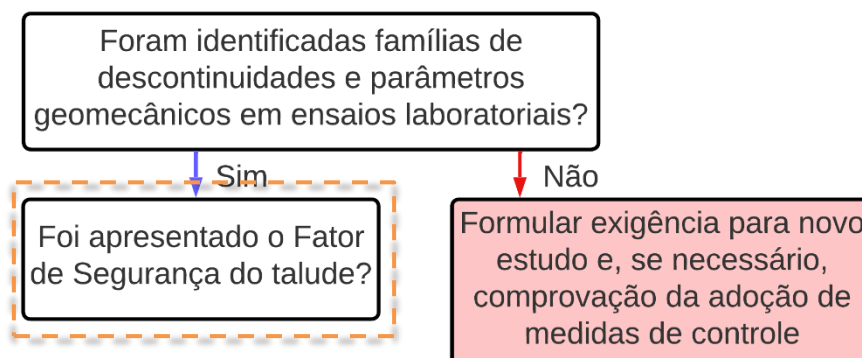
Figura 68: Verificação da apresentação de análises quantitativas para escorregamentos por planos e cunhas, ruptura circular e tombamentos para o processo minerário nº 260



Fonte: Arquivo pessoal

Opta-se pela rota à esquerda, tendo em vista que não foi analisada a queda de blocos, tendo sido apresentada a análise quantitativa.

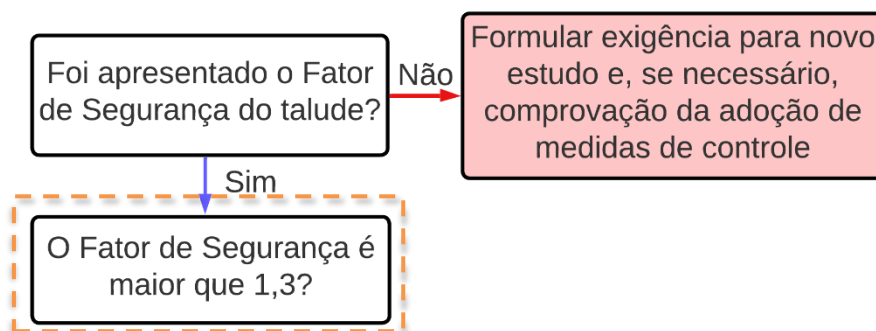
Figura 69: Verificação da identificação de famílias de descontinuidades e parâmetros geomecânicos em ensaios laboratoriais para o processo minerário nº 260



Fonte: Arquivo pessoal

Foram reportados os parâmetros geométricos relativos às famílias de descontinuidades e geomecânicos da cava para a análise quantitativa. Procedeu-se, então, à análise do Fator de Segurança.

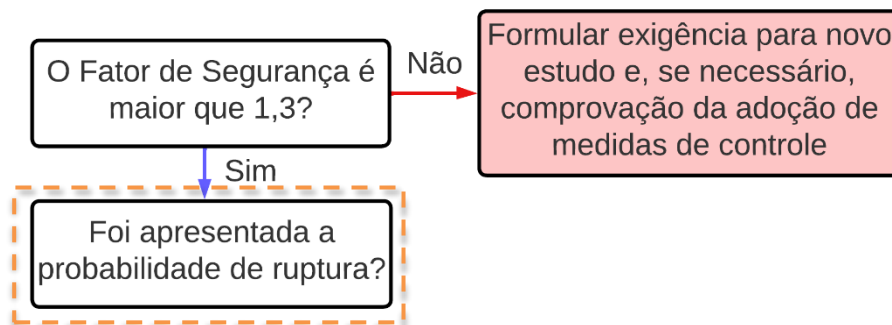
Figura 70: Verificação da apresentação do Fator de Segurança para o processo minerário nº 260



Fonte: Arquivo pessoal

Utilizando os ábacos de Hoek e Bray para a ruptura circular foi calculado um Fator de Segurança global de 1,59.

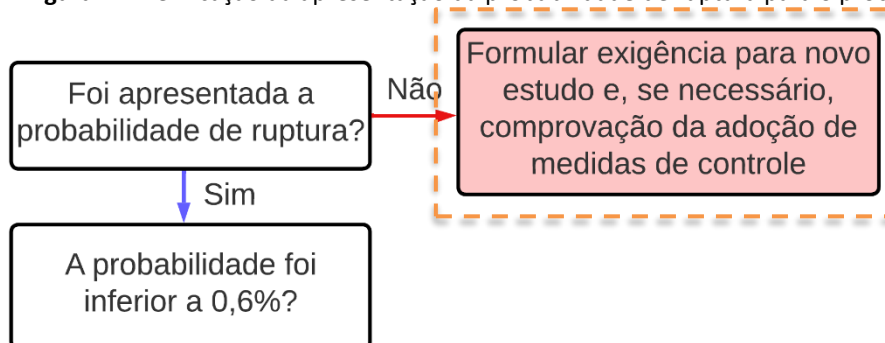
Figura 71: Verificação se o Fator de Segurança foi superior a 1,3 para o processo minerário nº 260



Fonte: Arquivo pessoal

Tendo em vista que o valor reportado foi superior a 1,3, a análise tem prosseguimento.

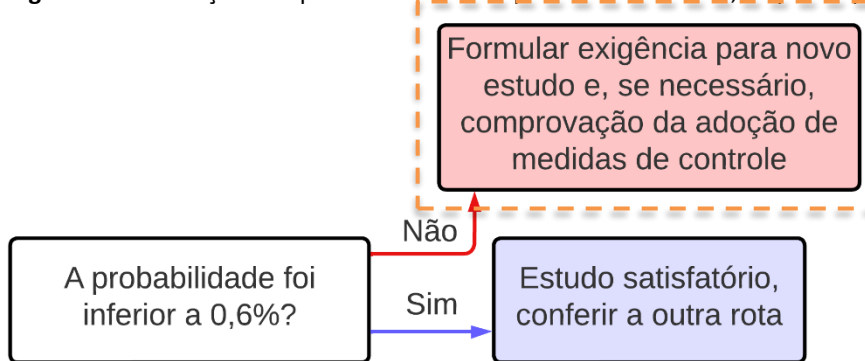
Figura 72: Verificação da apresentação da probabilidade de ruptura para o processo minerário nº 260



Fonte: Arquivo pessoal

Para a ruptura circular foi apresentada a probabilidade de ruptura, sem, contudo, informar a metodologia ou *software* utilizado. Recomenda-se a formulação de exigência para a complementação destas informações.

Figura 73: Verificação se a probabilidade de ruptura foi inferior a 0,6% para o processo minerário nº 260



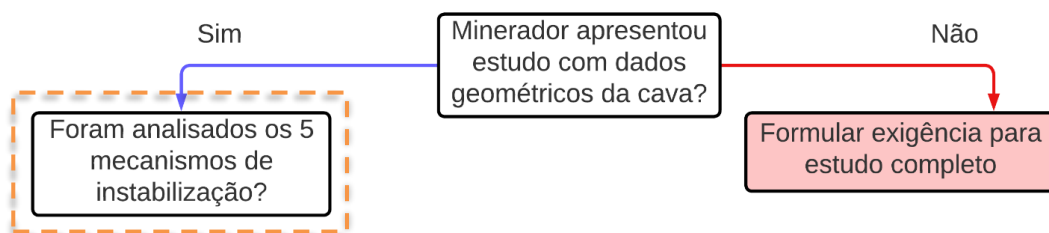
Fonte: Arquivo pessoal

A probabilidade reportada foi “inferior a 1%”, sem, contudo, a informação da metodologia ou do *software* utilizado. Assim, recomenda-se a formulação de exigência para especificação do valor exato e para a apresentação do estudo de estabilidade para escorregamento por planos e cunhas e tombamento, além da identificação da metodologia e *software* utilizados para a determinação da probabilidade de ruptura.

4.2.2.5 Processo minerário nº 198

O estudo apresentado neste caso analisou o escorregamento por planos, a ruptura circular e a queda de blocos. A metodologia foi aplicada da seguinte forma:

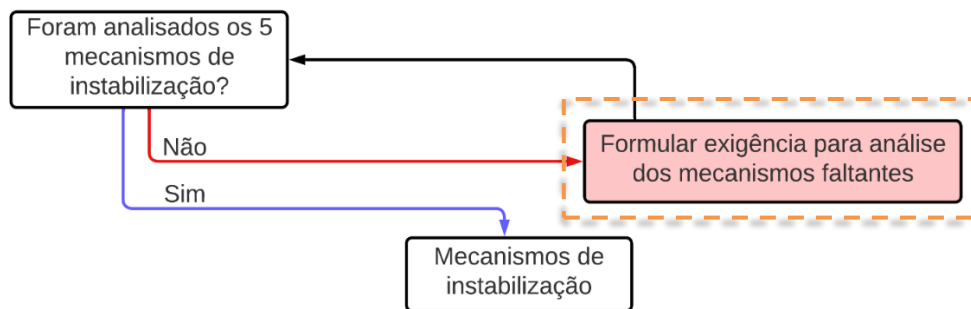
Figura 74: Verificação da apresentação do estudo de estabilidade para o processo minerário nº 198



Fonte: Arquivo pessoal

Foi apresentado o estudo de forma que a metodologia segue pela rota à esquerda.

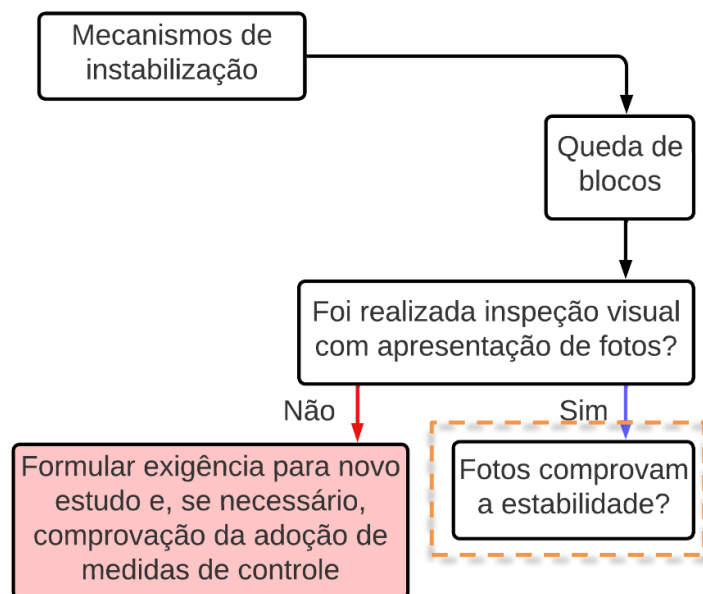
Figura 75: Verificação da análise da análise dos 5 mecanismos de instabilização para o processo minerário nº 198



Fonte: Arquivo pessoal

Constata-se que não foram analisadas as possibilidades de ruptura por cunhas ou tombamento de blocos, sendo recomendada uma exigência para tal.

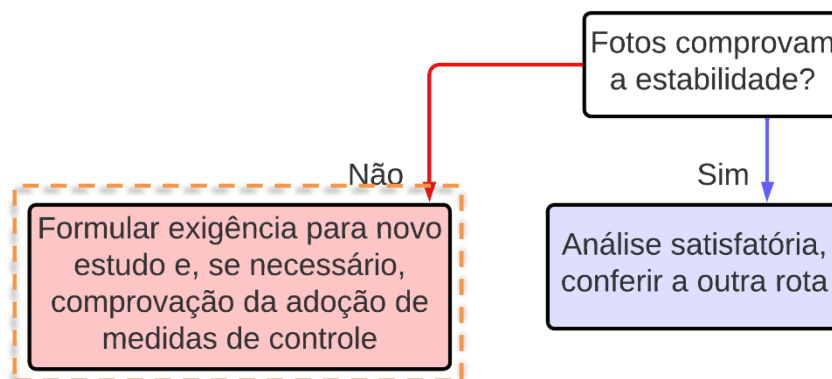
Figura 76: Verificação da realização de inspeção visual com apresentação de fotos para a análise da queda de blocos para o processo minerário nº 198



Fonte: Arquivo pessoal

A metodologia segue, inicialmente, pela rota à direita, para a análise da queda de blocos, para a qual foi realizada inspeção visual e apresentadas as respectivas fotos.

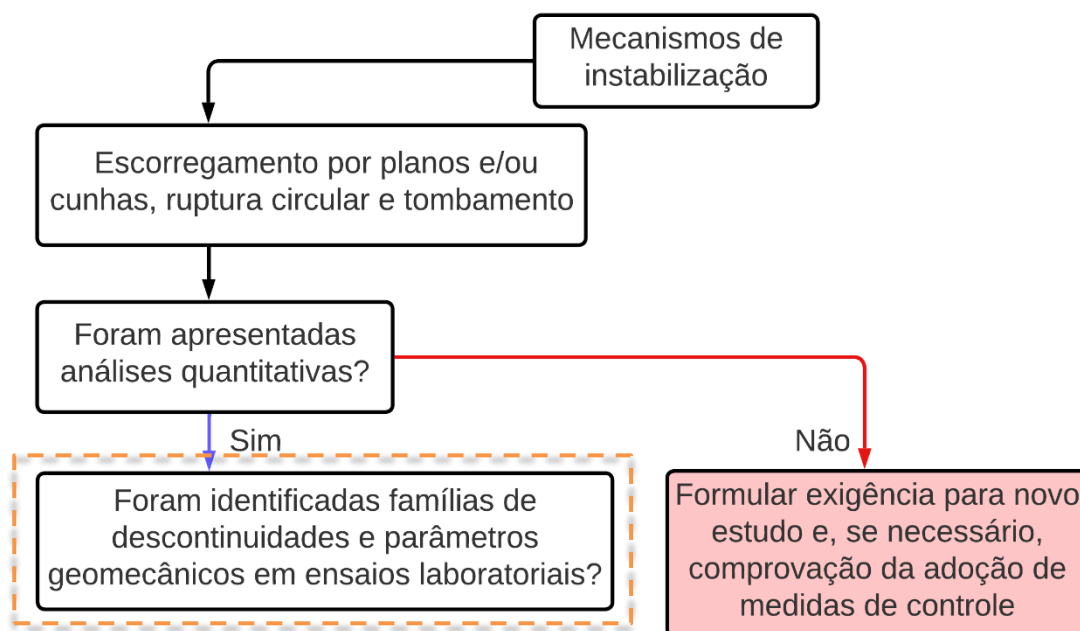
Figura 77: Verificação da comprovação da estabilidade através de fotos para a análise da queda de blocos para o processo minerário nº 198



Fonte: Arquivo pessoal

Visto que as fotos apresentadas indicam situações de possível instabilidade, recomenda-se a formulação de exigência para comprovação da adoção de medidas de controle, tal como a implementação de sistema de remoção/contenção de blocos ou tela de malha de cabos de aço.

Figura 78: Verificação da apresentação de análises quantitativas para escorregamento por planos e cunhas, ruptura circular e tombamento de blocos para o processo minerário nº 198

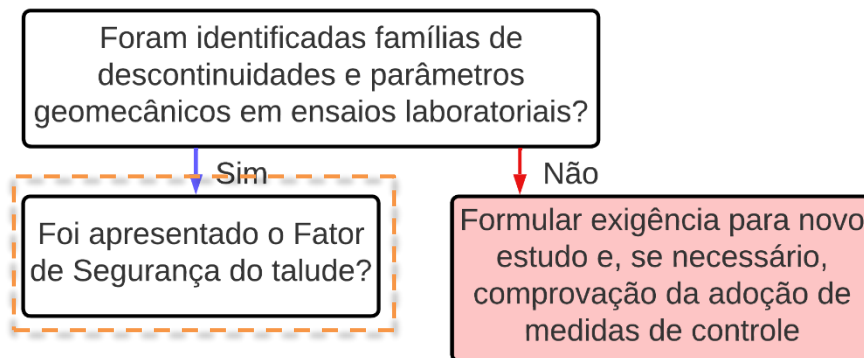


Fonte: Arquivo pessoal

Para a segunda rota da metodologia, mais especificamente para a análise de escorregamento por planos e ruptura circular, foram apresentadas as análises

quantitativas, com a utilização do *software* Rocklab e das metodologias SMR e critério de Hoek e Brown.

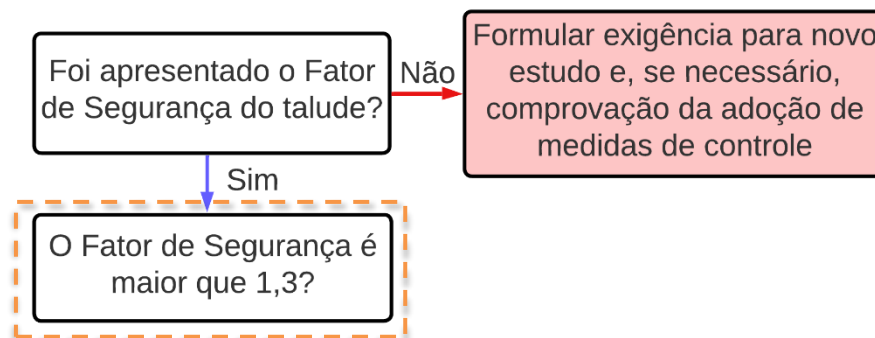
Figura 79: Verificação da identificação de famílias de descontinuidades e parâmetros geomecânicos em ensaios laboratoriais para o processo minerário nº 198



Fonte: Arquivo pessoal

As famílias de descontinuidades foram identificadas e os parâmetros reportados foram determinados em ensaios laboratoriais, processados no *software* Rocklab e utilizados para o cálculo do Fator de Segurança dos taludes.

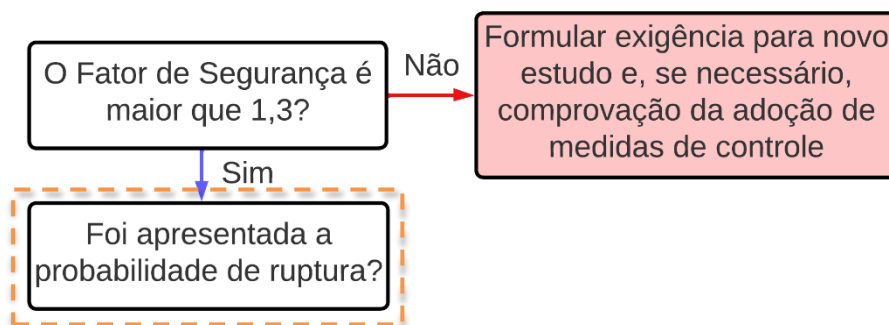
Figura 80: Verificação da apresentação do Fator de Segurança para o processo minerário nº 198



Fonte: Arquivo pessoal

Foram reportados os fatores de Segurança de 1,33 e 1,47 para o escorregamento por planos e para a ruptura circular, respectivamente.

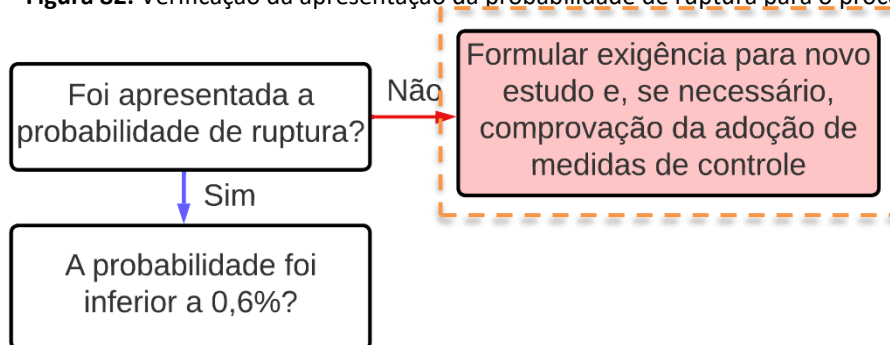
Figura 81: Verificação se o Fator de Segurança foi superior a 1,3 para o processo minerário nº 198



Fonte: Arquivo pessoal

Tendo em vista que ambos os fatores reportados foram superiores à 1,3, a aplicação da metodologia tem prosseguimento.

Figura 82: Verificação da apresentação da probabilidade de ruptura para o processo minerário nº 198



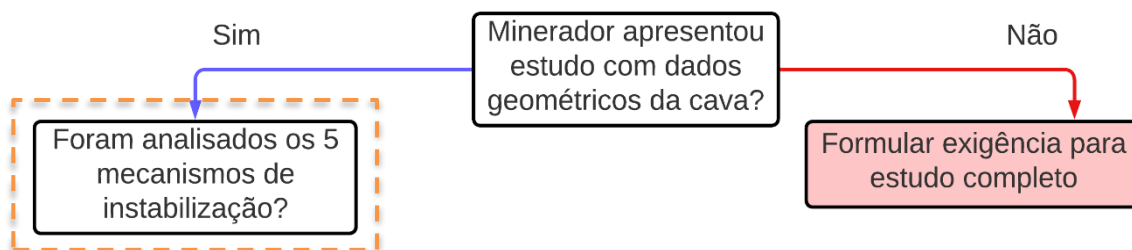
Fonte: Arquivo pessoal

Não foi apresentada a probabilidade de ruptura dos taludes, de modo que se recomenda a formulação de exigência para sua apresentação, bem como para a análise completa da possibilidade de ruptura por cunhas e tombamento de blocos, além da comprovação da adoção de medida de controle para a queda de blocos instáveis.

4.2.2.6 Processo minerário nº 169

O estudo de estabilidade da cava da mina em questão cumpriu todos os requisitos necessários, conforme segue:

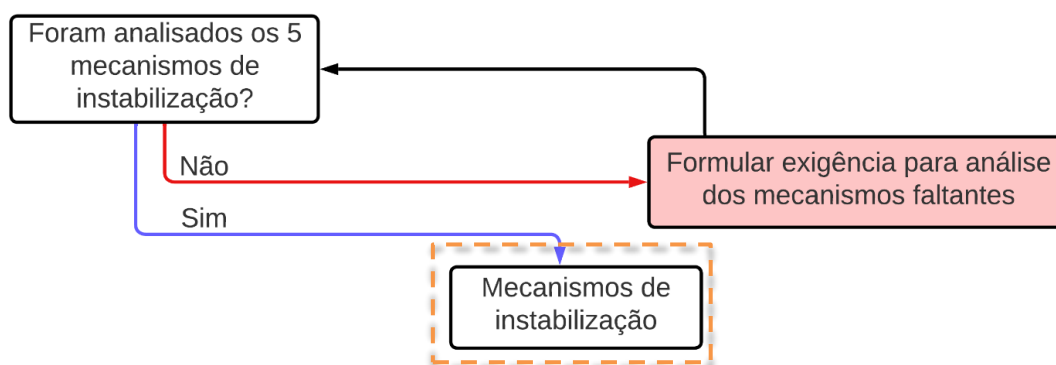
Figura 83: Verificação da apresentação do estudo de estabilidade para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

Foram analisados os 5 mecanismos de instabilização, conforme detalhado na sequência.

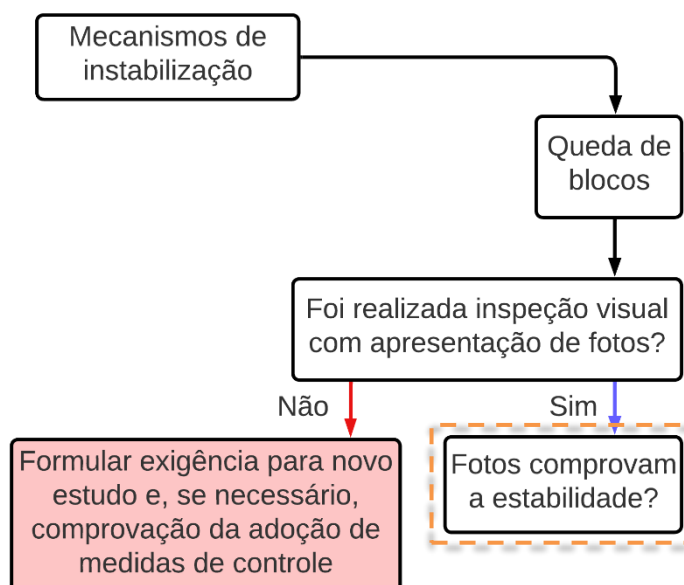
Figura 84: Verificação da apresentação da análise dos 5 mecanismos de instabilização para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

Nesta situação, não se fez necessária a formulação de exigência para apresentação de análise dos tipos faltantes.

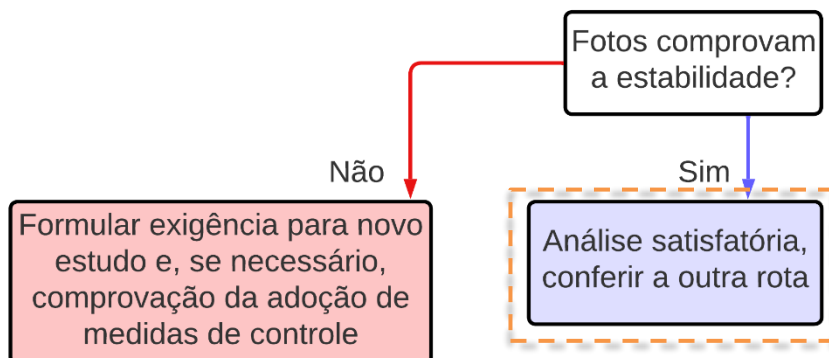
Figura 85: Verificação da realização de inspeção visual com apresentação de fotos para a análise da queda de blocos para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

Para a queda de blocos instáveis foi realizada inspeção visual e apresentada a respectiva análise fotográfica.

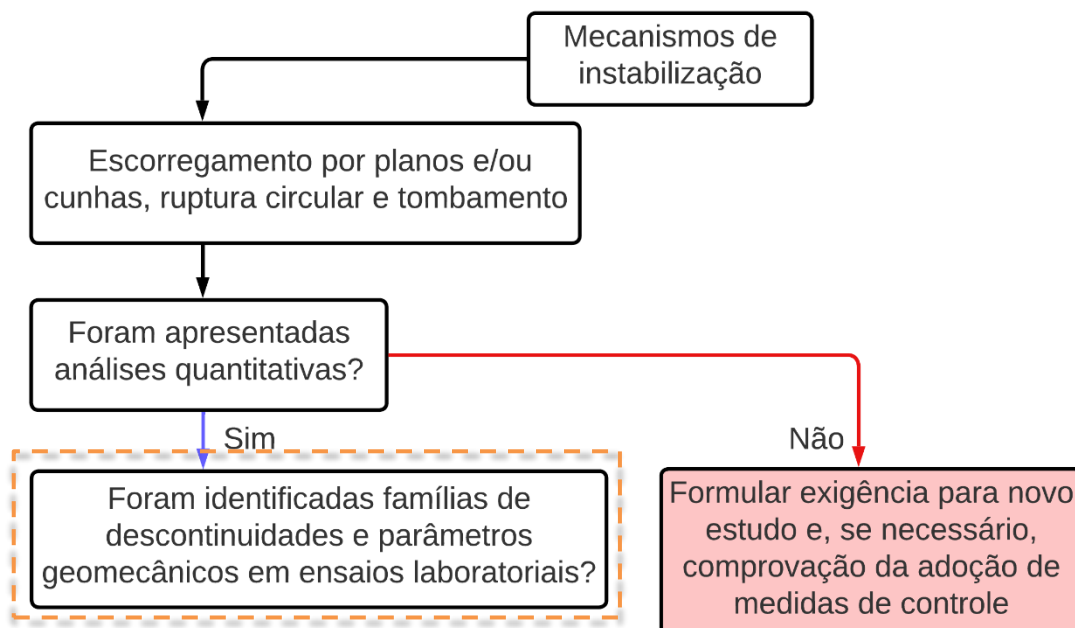
Figura 86: Verificação da comprovação da estabilidade através de fotos para a análise da queda de blocos para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

Tendo em vista que as fotos apresentadas atestam a estabilidade dos taludes em relação à presença de blocos, a análise por esta rota é considerada satisfatória, prosseguindo então para escorregamento por planos e cunhas, ruptura circular e tombamento de blocos para o processo minerário nº 169

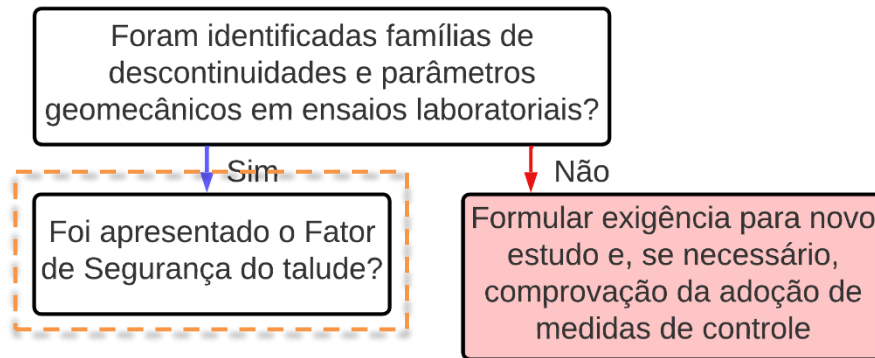
Figura 87: Verificação da apresentação de análises quantitativas para escorregamentos por planos e cunhas, ruptura circular e tombamento de blocos para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

Para o escorregamento por planos e cunhas, ruptura circular e tombamento de blocos foram apresentadas as análises quantitativas utilizando os *softwares* Stable e Rockplane.

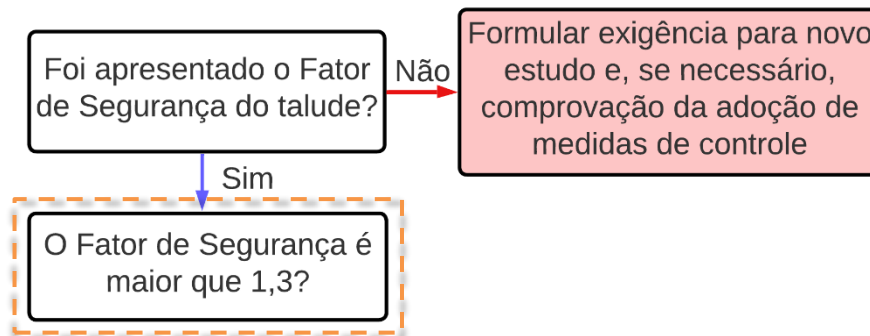
Figura 88: Verificação da identificação de famílias de descontinuidades e parâmetros geomecânicos em ensaios laboratoriais para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

Constata-se que foram identificadas as famílias de descontinuidades, bem como, os parâmetros geomecânicos em ensaios laboratoriais e processados nos *softwares* anteriormente citados.

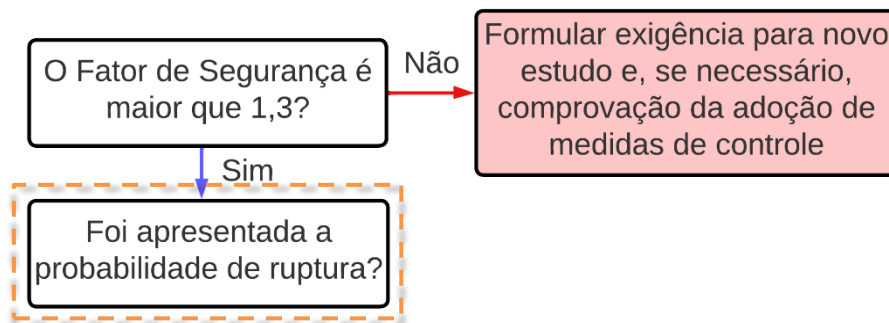
Figura 89: Verificação da apresentação do Fator de Segurança para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

Dentre os Fatores de Segurança reportados, foi considerado como global o de menor valor, isto é, aquele mais crítico, com valor de 5,08. Estes valores foram calculados por meio das metodologias GSI, RQD, SMR e Hoek e Brown.

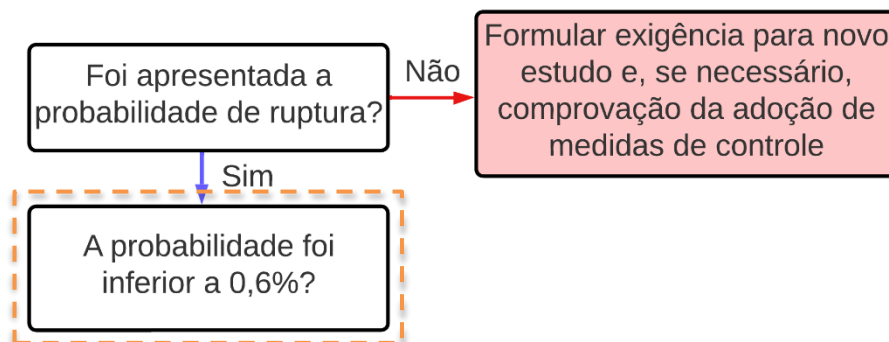
Figura 90: Verificação se o Fator de Segurança foi superior a 1,3 para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

O Fator de Segurança calculado foi superior ao recomendado, não sendo necessárias medidas de controle segundo este critério.

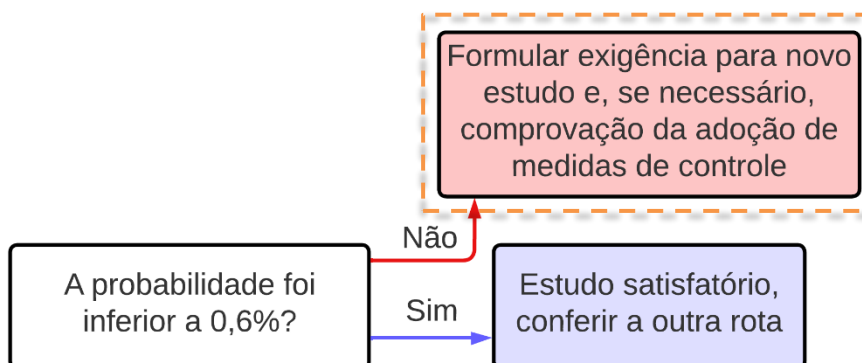
Figura 91: Verificação da apresentação da probabilidade de ruptura para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

Foi reportada uma probabilidade de ruptura de cerca de 5%, valor considerado de ruim a insatisfatório, segundo *U.S. Army Corps of Engineers* (1997).

Figura 92: Verificação se a probabilidade de ruptura foi inferior a 0,6% para o processo minerário nº 169



Fonte: Arquivo pessoal

Nesta situação a metodologia proposta recomenda a formulação de uma exigência para a adoção de medidas de controle, bem como, a apresentação de nova análise de estabilidade que aponte uma probabilidade de ruptura inferior a 0,6%.

5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa objetivou inicialmente, avaliar os estudos de estabilidade de cavas de mineração em rocha do Estado de São Paulo apresentados em cumprimento ao ofício circular nº 001/2012 da ANM e compilar as informações reportadas em uma base de dados, de forma a permitir uma análise, até então inédita, sobre a condição de segurança na qual estas minas operam.

Filtrando os dados não repetidos e de cavas diferentes foi possível obter valores para o número de empresas que receberam o ofício dentre aquelas que o deveriam ter recebido, a porcentagem de titulares de direito de lavra que realizaram seu cumprimento e os que apresentaram em suas análises ART (Anotação de Responsabilidade Técnica).

Foi realizada uma análise para cada substância mineral produzida, identificando os valores reportados para espessura de capeamento, altura e número de bancadas, largura de berma, ângulos de bancada, ângulos gerais dos taludes das cavas e valores para o Fator de Segurança e a probabilidade de ruptura dos taludes das cavas. Destaca-se que os dados reportados apresentaram alto nível de heterogeneidade em relação a estas informações, bem como aos métodos adotados para as análises de estabilidade.

Neste sentido, o número reduzido de análises que reportou os dados de forma satisfatória, aliado às faixas de valores verificadas para os parâmetros geométricos adotados para as cavas, sugere um nível de segurança precário adotado nas cavas de mineração do estado de São Paulo.

O segundo objetivo da pesquisa foi a proposição de uma metodologia para avaliação de estudos de estabilidade dos taludes de cavas de mineração, na forma de um fluxograma. Uma vez definido o procedimento, o mesmo foi aplicado a 6 casos selecionados da base de dados com graus de complexidade variados, demonstrando o processo de aplicação da metodologia em diferentes situações.

Desta forma, é possível concluir que a pesquisa cumpriu seus objetivos, apresentando uma análise de dados não usual e de importância para o conhecimento das condições de

operação de minas no estado de São Paulo e propondo uma metodologia para balizar a avaliação de estudos de estabilidade em taludes de cavas de mineração em rocha, visando auxiliar o órgão fiscalizador na avaliação de futuros estudos.

Destaca-se que a metodologia foi desenvolvida da perspectiva do órgão fiscalizador, tendo em vista a falta de uma sistematização para análise dos estudos de estabilidade de cavas de mineração em rocha e que é de interesse social que esta fiscalização ocorra da forma mais ágil e eficaz. Entretanto, é possível apontar que a metodologia também beneficia o minerador, pois na medida em que este conheça o procedimento a ser empregado pelo órgão fiscalizador, poderá ter um roteiro que balizará a realização do seu projeto de cava segundo os melhores métodos e critérios de engenharia disponíveis.

Neste sentido, um trabalho futuro poderá se propor a sistematizar a elaboração de projetos de cavas de mineração e estudos de sua condição de estabilidade segundo agora a perspectiva do minerador. Há, ainda, a possibilidade da adoção de outros critérios para aprovação dos valores do Fator de Segurança e da probabilidade de ruptura que diverjam daqueles adotados neste trabalho e que diverjam entre si dependendo da metodologia de análise adotada, o que requer um estudo mais aprofundado.

REFERÊNCIAS

AGENCIA ESTADO. Corpos de soterrados são localizados em Santos após quatro meses.

G1: Reportagem de 13/08/2011b. Disponível em: < <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2011/08/corpos-de-soterrados-sao-localizados-em-santos-apos-quatro-meses.html>>. Acesso em: 09 set. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Cadastro mineiro**. Disponível em: <<https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/extra/site/admin/Default.aspx>>. Acesso em: 7 ago. 2022.

APAZA, M. A. F.; BARROS, J. M. C. Análise probabilística de estabilidade de taludes pelo método Monte Carlo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17., 2014, Goiânia. **Anais**. São Paulo: ABMS, 2014. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682: estabilidade de taludes**. Rio de Janeiro, 2009.

BARTON, N.; LIEN, R.; LUND, J. **Engineering Classification of Rock Masses for Design of Tunnel Support**. *Rock Mechanics*, n. 6, p. 189-236, 1974.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Mineropar. **Plano diretor de mineração para a região metropolitana de Curitiba**. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/>>. Acesso em: 17 set. 2018.

CANDIA, R. C. **Uma contribuição ao estudo de acidentes fatais por quedas de rochas: o caso da mineração peruana**. 2011. 139 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CAO, Z; WANG, Y; Li, D. **Probabilistic approaches for geotechnical site characterization and slope stability analysis**. Berlin/Heidelberg: Zhejiang University Press/Springer-Verlag, 2017.

CITIZENS COAL COUNCIL. **Strip mining**. 2013. Disponível em: <<http://www.citizenscoalcouncil.org>>. Acesso em: 15 out. 2015.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas & SIG. Brasília, 2003. 692 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Itaimbezinho e Fortaleza - Excursão virtual aos Aparados da Serra - RS**. 2004. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geoparques/Aparados/ap_creditos.htm>. Acesso em: 05 out. 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Roteiro geológico sobre a Coluna White (Santa Catarina)**. 2009. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geoparques/coluna_white/grupopassadois.html>. Acesso em: 05 out. 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Rochas**. 2015 . Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Rochas-1107.html>>. Acesso em: 05 out. 2018.

CÔRTEZ, A. R. P.; PERINOTTO, J. A. J. Fácies e associação de fácies da Formação Piramboia na região de Descalvado (SP). **Revista do Instituto de Geociências-USP**, São Paulo, v. 15, n. 3-4, p. 23-40, Dez. 2015.

COUTINHO, R. Q; SEVERO, R. N. F. **Investigação geotécnica para projeto de estabilidade de encostas**. São Paulo: ABMS, 2019. Disponível em : <<http://www.abms.com.br>>. Acesso em: 18 set. 2019.

CULSHAW, M. G. The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007-2014; ed. by R. Ulusay. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 74, n. 4, p. 1499-1500, Nov. 2015.

CURI, A. **Minas a céu aberto**: planejamento de lavra. São Paulo: Editora Oficina de Textos; 1ª edição, 2014.

DAMASCENO, C. S. R. **Modelagem geológica e geomecânica 3D e análises de estabilidade 2D dos taludes da Mina de Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil.** Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica, 2018.

DNPM (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL); MINEROPAR (Minerais do Paraná S.A.) **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba.** 2004. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/>>. Acesso em 17 set. 2018.

DOMINGOS, R. Após 60 dias de sumiço em pedreira de Santos, família diz: 'Só um milagre'. **G1-SP:** Reportagem de 12/06/2011a. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2011/06/apos-60-dias-de-sumico-em-pedreira-de-santos-familia-diz-so-um-milagre.html>>. Acesso em: 09 set. 2018.

DUNCAN, C. W. **Rock slope engineering:** civil applications. 5. ed. London: The Institution of Mining and Metallurgy, 2017.

DUNCAN, J. M.; WRIGHT, S. G.; BRANDON, T. L. **Soil strength and slope stability.** 2nd. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **A indústria mineral paulista:** síntese setorial do mercado produtor. São Paulo, 2017. 127 p.

FERNANDES, L.A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru.** 1998. 216 p. Tese(Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FERNANDES L. A.; COIMBRA A.M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, v.30, n.4, p. 717-728, 2000.

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

FREITAS, M. H.D.; WATTERS, R. J. Some field examples of toppling failure. **Geotechnique**, v. 23, n. 4, p. 495-513, Dec. 1973.

GIRODO, A. C. **Mineração**. Belo Horizonte, SEMAD/CPRM, 2005. (Projeto Apa Sul RMBH – Estudos do Meio Físico, v. 2)

GONZATTI, C. **Proposta para a estimativa a resistencia a compressão uniaxial “in situ” de camadas de carvão com a utilização de geofísica**. 2007. 240 p. Tese(Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.

INSTITUTO GEOLÓGICO E MINEIRO. **Regras de boa prática no desmonte a céu aberto**. 1999. Disponível em: < <http://www.Ineg.pt/CienciaParaTodos>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (ISRM) Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses (ed. E. T. Brown). Pergamon Press, Oxford, UK, 1981, 211 pp.

KRAHN, J. The limits of limit equilibrium analyses. **Canadian Geotechnical Journal**, v.40, p. 643-660, 2003.

LUCIDCHART. **Fluxograma online**. Ferramenta para confecção de fluxogramas. 2022. Disponível em: <<https://www.lucidchart.com/pages/pt/exemplos/fluxograma-online>>. Acesso em: 02 out. 2022.

MACAFERRI. **Sistemas contra a queda de rochas – necessidades e soluções**. 2008. Disponível em: <https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/maccaferri/sistemas_contra_a_queda_de_rochas.pdf>. Acesso em: 02 out. 2022.

MAIA, J.A.C. **Métodos probabilísticos aplicados à estabilidade de taludes e cavidades em rocha**. 2003. 196 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.

MANTESSO-NETO, V.; RIBEIRO, R. R.; GARCIA, M. G. M.; LAMA, E. A.; THEODOROVICZ, A. Patrimônio geológico no estado de São Paulo. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 70, p. 53-76, 2013.

MAPCARTA. **Canaã dos Carajás**. 2014. Disponível em: <<http://mapcarta.com>>. Acesso em: 10 out. 2015.

MARANGON, M. **Tópicos em geotecnia e obras de terra. Unidade 04 – Estabilidade de talude**. 2009. Disponível em: < <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/OT-03-Estabilidade-de-Taludes-2018-1.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2015.

OLIVEIRA, D.; GUERRA, M. D. F. Compartimentos geomorfológicos do estado de São Paulo. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, 2011.

RAWGRAPHS. **Rawgraphs 2.0**. 2022. Disponível em: <<https://app.rawgraphs.io/>>. Acesso em: 02/10/2022.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIA's – RIMAS. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B.(Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 4ª ed. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand- Brasil, 2003. p. 291-366.

SANTOS, C. A. **Geologia, petrografia e geocronologia dos gnaisses e rochas associadas na região entre Carrancas, Minduri e Luminárias (MG)**. 2014. 57 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SILVA, J. P. M. **Os Métodos de Equilíbrio Limite e dos Elementos Finitos na Análise de Estabilidade de Taludes**. 2011. 173 p. Tese (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2011.

SILVA, M. J, F. **Análise de estabilidade de taludes pelo método de equilíbrio limite**. 2013. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório de situação de recursos hídricos do Brasil**. 2000. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 05 out. 2018.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Geologia**. 2001. Disponível em: http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6381/i_2_1geologia.pdf>. Acesso em: 05 out. 2018.

SJOBERG, J. Failure mechanisms for high slopes in hard rock. In: HUSTRULID, W.A.; MCCARTER, M.K; VAN ZYL, D.J.A. (Ed.). **Slope stability in surface mining**. Littleton: SME, 2000.p. 71-80.

STATDISK. **Data**. 2022. Disponível em: <<https://www.statdisk.com/>>. Acesso em: 02 out. 2022.

TIME MAGAZINE. **Open pit mining** 2013. Trad. “Lavra por Bancadas”. Disponível em: <http://content.time.com/time/photogallery/0,29307,1715316_1538084,00.html >. Acesso em: 14/09/19.

TORCISÃO. **Sistemas de protensão**. São Paulo, 2019.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Engineering and design: introduction to probability and reliability methods for use in geotechnical engineering**. Washington, D.C.: Department of the Army, 1997. (Engineer Technical Letter 1110-2-547).

VIAGEM LADO B. **Baía dos Golfinhos na Praia de Pipa, Centro e Amor – RN**. 2013. Disponível em: <<https://viagemlادob.com/praiade-pipa-centro-amor-e-baia-dos-golfinhos-rn/>>. Acesso em: 14 set. 2019.

ZEA HUALLANCA, R. E. Z. **Mecanismos de ruptura em taludes altos de mineração a céu aberto**. 2004. 104 p. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004.

APÊNDICE

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
1	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
2	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
3	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
4	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
5	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
6	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
10	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
12	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
13	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
14	Calcário	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
15	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
16	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
17	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
19	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
20	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
21	Calcário	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
22	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
23	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
24	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
25	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
26	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
27	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
28	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
29	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
30	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
31	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
32	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
33	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
34	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
35	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
36	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
37	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
38	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
39	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
40	Calcário	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
41	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
42	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
43	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
44	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
45	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
46	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
47	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
48	Calcário	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
49	Calcário	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
50	Calcário	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
51	Calcário	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
52	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
53	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
54	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
55	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
56	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
57	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
58	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
59	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
60	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
61	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
62	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
63	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
64	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
65	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
66	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
67	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
68	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
69	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
70	Calcário	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não
71	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
72	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
73	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
74	Calcário	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
75	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
76	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
77	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
78	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
79	Calcário	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
80	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
81	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
82	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
83	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
84	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
85	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
86	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
87	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
88	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
89	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
90	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
91	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
92	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
93	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
94	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
95	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
96	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
97	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
98	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
99	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
100	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
101	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
102	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
103	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
104	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
105	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
106	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
107	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
108	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
109	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
110	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
111	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
112	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
113	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
114	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
115	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
116	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
117	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
118	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
119	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
120	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
121	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
122	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
123	Calcário dolomítico	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
124	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
125	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
126	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
127	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
128	Calcário dolomítico	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
129	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
130	Calcário dolomítico	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
131	Calcário dolomítico	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
132	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
133	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
134	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
135	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
136	Calcário dolomítico	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
137	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
138	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
139	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
140	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
141	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
142	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
143	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
144	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
145	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
146	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
147	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
148	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
149	Calcário Dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
150	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
151	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
152	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
153	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
154	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
155	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
156	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
157	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
158	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
159	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
160	Calcário dolomítico	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
161	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
162	Calcário Dolomítico	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
163	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
164	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
165	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
166	Dolomito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
167	Calcário	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
168	Dolomito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
169	Dolomito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
170	Diabásio	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
171	Diabásio	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
172	Diabásio	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
173	Diabásio	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
174	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
175	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
176	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
177	Dolomito	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
178	Dolomito	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
179	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
180	Dolomito	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
181	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
182	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
183	Dolomito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
184	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
185	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
186	Dolomito	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
187	Dolomito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
188	Dolomito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
189	Dolomito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
190	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
191	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
192	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
193	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
194	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
195	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
196	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
197	Granito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
198	Granito	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
199	Granito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
200	Granito	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
201	Granito	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
202	Granito	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
203	Granito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
204	Gnaisse	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
205	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
206	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
207	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
208	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
209	Gnaisse	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
210	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
211	Gnaisse	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
212	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
213	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
214	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
215	Gnaisse	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
216	Gnaisse	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
217	Gnaisse	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
218	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
219	Gnaisse	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
220	Gnaisse	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
221	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
222	Gnaisse	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
223	Gnaisse	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
224	Gnaisse	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
225	Gnaisse	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
226	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
227	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
228	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
229	Basalto	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
230	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
231	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
232	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
233	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
234	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
235	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
236	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
237	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
238	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
239	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
240	Basalto	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
241	Basalto	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não
242	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
243	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
244	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
245	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
246	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
247	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
248	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
249	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
250	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
251	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
252	Basalto	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
253	Basalto	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não
254	Basalto	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
255	Basalto	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
256	Basalto	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
257	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
258	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
259	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
260	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	Circular	Planar	Cunha	Tombamento	Queda de blocos	Stable	Geoslope	WinStable	Slide	Slope	OpenStereo	Stereonet	SWEDGW	DIPS	Rocklab	Rocplane
261	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
262	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
263	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
264	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
265	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
266	Basalto	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
267	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
268	Basalto	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
269	Basalto	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim
270	Basalto	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim
271	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
272	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
273	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
274	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
275	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
276	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
277	Basalto	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
278	Basalto	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
279	Água mineral	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
1	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
2	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
3	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
4	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
5	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
6	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
8	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
10	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
12	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
13	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
14	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
15	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
16	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
17	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
19	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
20	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
21	Calcário	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
22	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
23	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
24	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
25	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
26	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
27	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
28	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
29	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
30	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
31	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
32	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
33	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
34	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
35	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
36	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
37	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
38	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
39	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
40	Calcário	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
41	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
42	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
43	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
44	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
45	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
46	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
47	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
48	Calcário	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
49	Calcário	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
50	Calcário	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
51	Calcário	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
52	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
53	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
54	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
55	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
56	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
57	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
58	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
59	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
60	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
61	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
62	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
63	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
64	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
65	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
66	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
67	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
68	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
69	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
70	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
71	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
72	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
73	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
74	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
75	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
76	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
77	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
78	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
79	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
80	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
81	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
82	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
83	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
84	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
85	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
86	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
87	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
88	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
89	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
90	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
91	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
92	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
93	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
94	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
95	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
96	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
97	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
98	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
99	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
100	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
101	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
102	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
103	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
104	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
105	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
106	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
107	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
108	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
109	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
110	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
111	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
112	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
113	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
114	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
115	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
116	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
117	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
118	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
119	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
120	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
121	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
122	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
123	Calcário dolomítico	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
124	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
125	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
126	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
127	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
128	Calcário dolomítico	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
129	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
130	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
131	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
132	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
133	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
134	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
135	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
136	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
137	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
138	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
139	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
140	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
141	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
142	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
143	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
144	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
145	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
146	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
147	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
148	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
149	Calcário Dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
150	Calcário	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
151	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
152	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
153	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
154	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
155	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
156	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
157	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
158	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
159	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
160	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
161	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
162	Calcário Dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
163	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
164	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
165	Calcário dolomítico	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
166	Dolomito	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
167	Calcário	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
168	Dolomito	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
169	Dolomito	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
170	Diabásio	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
171	Diabásio	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
172	Diabásio	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
173	Diabásio	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
174	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
175	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
176	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
177	Dolomito	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
178	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
179	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
180	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
181	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
182	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
183	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
184	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
185	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
186	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
187	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
188	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
189	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
190	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
191	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
192	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
193	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
194	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
195	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
196	Dolomito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
197	Granito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
198	Granito	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
199	Granito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
200	Granito	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
201	Granito	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
202	Granito	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
203	Granito	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
204	Gnaiss	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
205	Gnaiss	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
206	Gnaiss	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
207	Gnaiss	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
208	Gnaiss	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
209	Gnaiss	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
210	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
211	Gnaisse	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
212	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
213	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
214	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
215	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
216	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
217	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
218	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
219	Gnaisse	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
220	Gnaisse	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
221	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
222	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
223	Gnaisse	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
224	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
225	Gnaisse	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
226	Basalto	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
227	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
228	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
229	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
230	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
231	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
232	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
233	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
234	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
235	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
236	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
237	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
238	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
239	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
240	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
241	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
242	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
243	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
244	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
245	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
246	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
247	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
248	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
249	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
250	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
251	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
252	Basalto	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
253	Basalto	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
254	Basalto	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
255	Basalto	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
256	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
257	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
258	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
259	Basalto	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
260	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
261	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
262	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
263	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
264	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
265	Basalto	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
266	Basalto	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Processo	Substância mineral	GSI	RQD	RMR	SMR	Mohr-Coulomb	Hoek e Brown	Jambu	Bishop Simplificado	Fellenius	Morgerstern-Prince	Ábacos de Hoek e Bray	Método de Hoek e Bray (cunha)	Diagrama de igual área	Ábaco de Taylor	Monitoramentos quinzenais com marcos
267	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
268	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
269	Basalto	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
270	Basalto	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
271	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
272	Basalto	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
273	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
274	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
275	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
276	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
277	Basalto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
278	Basalto	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
279	Água mineral	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
1	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Calcário	6	8	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Calcário	-	-	15	15	1	1	-	-	50	70	-	-	1.77	11.31	-	-
14	Calcário	-	-	15	15	3	3	5	5	-	-	-	-	5.85	5.85	-	-
15	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Calcário	-	-	15	25	1	12	10	10	70	90	62	62	0.61	56.59	-	-
20	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma de berma	Largura máxima de berma de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
21	Calcário	-	15	10	15	2	5	5	5	50	75	44	61	1.63	1.92	-	-
22	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	65	65	-	-	-	-	-	-
28	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	65	65	-	-	-	-	-	-
29	Calcário	9	9	15	30	4	4	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
30	Calcário	9	9	15	30	4	4	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
31	Calcário	-	-	15	15	4	4	8	8	75	75	-	-	-	-	-	-
32	Calcário	9	9	15	30	4	4	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
33	Calcário	-	-	15	15	4	4	8	8	75	75	-	-	-	-	-	-
34	Calcário	-	-	10	15	5	5	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-
35	Calcário	-	-	15	15	4	4	8	8	75	75	-	-	-	-	-	-
36	Calcário	-	-	15	15	5	5	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-
37	Calcário	-	-	15	15	5	5	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-
38	Calcário	-	-	15	15	5	5	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-
39	Calcário	-	-	15	15	5	5	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-
40	Calcário	-	-	12	12	4	4	5	10	82	85	-	-	1.722	3.087	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
41	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	Calcário	-	-	15	18	1	3	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-
43	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	Calcário	-	-	15	18	1	3	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-
45	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	Calcário	-	-	10	10	-	-	5	5	75	75	52	52	-	-	-	-
49	Calcário	-	-	10	10	-	-	6	6	75	75	52	52	-	-	-	-
50	Calcário	-	-	10	10	-	-	5	5	74	74	50	50	-	-	-	-
51	Calcário	-	-	10	20	8	8	10	10	60	65	33	39	2.19	3.3	-	-
52	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	Calcário	6	6	-	-	3	3	-	-	47	71	-	-	-	-	-	-
54	Calcário	-	-	8	12	-	-	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
55	Calcário	-	-	16	20	1	1	-	-	75	75	75	75	-	-	-	-
56	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	Calcário	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
58	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
61	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
63	Calcário	2	3	15	15	5	5	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
64	Calcário	10	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	Calcário	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	Calcário	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	Calcário	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	Calcário	0	65.28	13	30	3	3	8	8	85	85	48	48	0.23	43.66	-	-
71	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
72	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
73	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	Calcário	-	-	-	-	-	-	15	25	-	-	16	40	1.7	1.7	-	-
75	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
77	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
78	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
79	Calcário	-	-	-	-	1	3	-	-	73	73	-	-	10.54	10.54	-	-
80	Calcário	6	6	4	35	5	5	-	-	35	55	-	-	1.09	1.43	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
81	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
82	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
83	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
84	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85	Calcário	-	-	4	4	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
86	Calcário	-	-	4	4	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
87	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
88	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
89	Calcário	-	-	6	12	-	-	5	6	70	70	36	36	-	-	-	-
90	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91	Calcário	-	-	15	15	1	6	5	5	75	75	-	-	3.06	3.45	-	-
92	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
94	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
96	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
97	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
98	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
101	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
102	Calcário	-	-	15	15	1	6	5	5	75	75	-	-	3.06	3.45	-	-
103	Calcário	70	100	15	30	2	12	10	15	75	75	-	-	2.99	3.46	-	-
104	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
105	Calcário	-	-	15	15	1	6	5	5	75	75	-	-	3.06	3.45	-	-
106	Calcário	45	45	15	15	8	8	5	5	75	75	-	-	3.21	3.21	-	-
107	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
108	Calcário	40	75	5	30	6	8	10	15	75	75	-	-	1.52	7.52	-	-
109	Calcário	40	75	5	30	6	8	10	15	75	75	-	-	1.52	7.52	-	-
110	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	Calcário	-	-	15	15	1	6	5	5	75	75	-	-	3.06	3.45	-	-
112	Calcário	40	75	5	30	6	8	10	15	75	75	-	-	1.52	7.52	-	-
113	Calcário	-	-	15	15	1	6	5	5	75	75	-	-	3.06	3.45	-	-
114	Calcário	40	75	5	30	6	8	10	15	75	75	-	-	1.52	7.52	-	-
115	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
117	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
118	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
119	Calcário dolomítico	0	0	14	14	1	1	-	-	90	90	90	90	-	-	-	-
120	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
121	Calcário dolomítico	7	7	9	9	1	1	-	-	90	90	90	90	-	-	-	-
122	Calcário dolomítico	7	7	15	15	1	1	-	-	90	90	90	90	-	-	-	-
123	Calcário dolomítico	-	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	75.4	410.8	-	-
124	Calcário dolomítico	8	66	10	15	9	9	5	5	50	70	45	74	1.02	1.52	-	-
125	Calcário dolomítico	8	66	11	15	10	10	6	6	50	70	45	74	1.02	1.52	-	-
126	Calcário dolomítico	8	66	11	15	10	10	6	6	50	70	45	74	1.02	1.52	-	-
127	Calcário dolomítico	8	66	11	15	10	10	6	6	50	70	45	74	1.02	1.52	-	-
128	Calcário dolomítico	-	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	75.4	410.8	-	-
129	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
130	Calcário dolomítico	0	50	15	15	8	8	10	10	-	-	54	54	1.4	1.4	-	-
131	Calcário dolomítico	0	50	15	15	8	8	10	10	-	-	54	54	1.4	1.4	-	-
132	Calcário dolomítico	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
133	Calcário dolomítico	-	-	10	10	1	1	3	3	75	75	75	75	-	-	-	-
134	Calcário dolomítico	-	-	10	10	1	1	3	3	75	75	75	75	-	-	-	-
135	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
136	Calcário dolomítico	-	-	15	15	1	1	-	-	50	70	-	-	1.77	1.77	-	-
137	Calcário dolomítico	-	-	15	15	3	3	5	5	90	90	72	72	1.5	1.5	1	1
138	Calcário dolomítico	-	-	23	23	1	1	-	-	80	80	80	80	1.89	1.89	1	1
139	Calcário dolomítico	-	-	28	28	1	1	-	-	80	80	80	80	1.6	1.6	1	1
140	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
141	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
142	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
143	Calcário dolomítico	-	-	15	15	4	4	8	8	75	75	-	-	-	-	-	-
144	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
145	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
146	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
147	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
148	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
149	Calcário Dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	Calcário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
151	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
152	Calcário dolomítico	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
153	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
154	Dolomito	-	-	20	20	-	-	4	4	60	60	-	-	-	-	-	-
155	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
156	Calcário dolomítico	-	-	10	15	2	2	-	-	80	80	60	60	1.78	1.78	1.78	1.78
157	Calcário dolomítico	-	-	20	20	1	1	-	-	80	80	80	80	1.51	1.51	1.51	1.51
158	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
159	Calcário dolomítico	-	-	30	30	1	1	-	-	80	80	80	80	1.6	1.6	1	1
160	Calcário dolomítico	-	-	30	30	1	1	-	-	80	80	80	80	1.6	1.6	1	1

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
161	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
162	Calcário Dolomítico	6	6	4	35	5	5	-	-	35	55	-	-	1.09	1.43	-	-
163	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
164	Calcário dolomítico	-	-	4	4	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
165	Calcário dolomítico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
166	Dolomito	10	10	15	15	5	5	20	20	60	75	-	-	-	-	-	-
167	Calcário	10	10	15	15	3	3	20	20	60	75	-	-	-	-	-	-
168	Dolomito	10	10	15	15	5	5	20	20	60	75	-	-	1.2	4.9	-	-
169	Dolomito	10	10	15	15	5	5	20	20	60	75	-	-	5.08	5.08	5.08	5.08
170	Diabásio	30	30	6	18	3	3	-	-	25	65	-	-	1.18	2.04	-	-
171	Diabásio	30	30	6	18	3	3	-	-	25	65	-	-	1.18	2.04	-	-
172	Diabásio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	Diabásio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
174	Dolomito	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
175	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
176	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
177	Dolomito	15	15	15	35	2	2	-	-	-	-	-	-	1.478	1.92	-	-
178	Dolomito	-	-	23	23	1	1	-	-	80	80	80	80	1.89	1.89	1	1
179	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	65	65	-	-	-	-	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
181	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
182	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
183	Dolomito	15	15	10	10	6	6	-	-	25	43	-	-	-	-	-	-
184	Dolomito	-	-	10	20	1	2	-	3	72	80	65	80	-	-	-	-
185	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
186	Dolomito	-	-	-	-	-	-	15	25	-	-	16	40	1.7	1.7	-	-
187	Dolomito	6	6	4	35	5	5	-	-	35	55	-	-	1.09	1.43	-	-
188	Dolomito	6	6	4	35	5	5	-	-	35	55	-	-	1.09	1.43	-	-
189	Dolomito	6	6	4	35	5	5	-	-	35	55	-	-	1.09	1.43	-	-
190	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
191	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
192	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
193	Dolomito	-	-	5	5	-	-	5	5	45	45	27	27	-	-	-	-
194	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
195	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
196	Dolomito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
197	Granito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
198	Granito	-	-	10	10	3	3	4	4	75	75	-	-	1.33	1.47	-	-
199	Granito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	Granito	2	3	20	20	-	-	5	5	-	-	-	-	1.05	5.77	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
201	Granito	-	-	15	15	3	3	6	6	75	75	56	56	1.52	1.52	-	-
202	Granito	-	-	15	15	3	3	6	6	75	75	56	56	1.52	1.52	-	-
203	Granito	-	-	-	-	9	9	-	-	-	-	-	-	1.71	1.71	-	-
204	Gnaisse	-	-	8	40	1	4	5	10	80	85	-	-	-	-	-	-
205	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
206	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
207	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
208	Gnaisse	9	9	15	18	-	-	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
209	Gnaisse	-	-	-	-	3	10	-	-	-	-	-	-	0.290	1.240	-	-
210	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
211	Gnaisse	-	-	12	12	1	4	5	5	80	80	-	-	-	-	-	-
212	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	8	8	75	75	-	-	-	-	-	-
213	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
214	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
215	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.230	2.020	-	-
216	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.200	3.390	-	-
217	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.200	3.390	-	-
218	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
219	Gnaisse	10	10	5	40	-	-	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-
220	Gnaisse	-	-	30	30	1	6	0	12	70	75	75	75	1.300	2.900	3.190	16.520

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
221	Gnaisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
222	Gnaisse	-	-	12	26	2	5	5	5	80	80	55	67	2.000	2.000	-	-
223	Gnaisse	-	-	12	18	-	-	4	4	65	75	39	60	2.190	3.300	-	-
224	Gnaisse	2	3	20	20	-	-	5	8	-	-	-	-	1.050	5.770	-	-
225	Gnaisse	2	3	20	20	-	-	5	5	-	-	-	-	1.050	5.770	-	-
226	Basalto	4	4	8	24	1	1	0	0	45	80	45	80	1.941	1.941	-	-
227	Basalto	-	-	10	10	4	4	-	-	80	80	49	49	1.980	1.980	-	1
228	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
229	Basalto	-	-	18	25	3	6	-	-	-	-	-	-	0.810	1.460	-	-
230	Basalto	-	-	3	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
231	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
232	Basalto	0	2	20	20	1	1	0	0	80	80	80	80	-	-	-	-
233	Basalto	-	-	16	52	1	3	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
234	Basalto	-	-	16	52	1	3	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
235	Basalto	-	-	16	52	1	3	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
236	Basalto	-	-	16	52	1	3	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
237	Basalto	3	6	10	15	1	1	-	-	80	80	80	80	2.800	2.800	-	1
238	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
239	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	Basalto	-	-	12	12	4	6	3	4	60	80	-	-	0.601	2.251	-	-

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
241	Basalto	-	-	12	12	4	6	3	4	60	80	-	-	0.601	2.251	-	-
242	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	75	75	-	-	-	-	-	-
243	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
244	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
245	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
246	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
247	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
248	Basalto	3	5	15	17	-	-	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
249	Basalto	8.53	8.53	11	15	3	3	5	5	75	75	59	59	3.393	3.393	-	1
250	Basalto	-	-	20	28	2	4	-	-	68	68	-	-	1.680	1.680	-	1
251	Basalto	-	-	8	12	-	-	10	10	78	64	49	49	-	-	-	-
252	Basalto	5	10	21	21	1	1	0	0	-	-	-	-	2.200	2.200	-	-
253	Basalto	-	-	10	15	1	2	5	5	75	80	-	-	1.4	1.4	-	-
254	Basalto	-	-	10	15	1	1	5	5	75	80	-	-	1.4	1.4	-	-
255	Basalto	-	-	10	15	1	1	5	5	75	80	-	-	1.4	1.4	-	-
256	Basalto	-	-	40	40	1	1	0	0	75	75	-	-	1.050	1.470	-	-
257	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
258	Basalto	15	15	25	25	1	1	0	0	68	68	60	60	3.661	3.661	-	1
259	Basalto	2	3	8	10	2	2	-	-	80	80	80	80	4.000	4.000	-	-
260	Basalto	-	-	0	10	5	5	-	-	72	72	56	56	1.592	1.592	-	1

Processo	Substância mineral	Espessura do capeamento mínima	Espessura do capeamento máxima	Altura mínima	Altura máxima	Número mínimo de bancadas	Número Máximo de bancadas	Largura mínima de berma	Largura máxima de berma	Ângulo mínimo de talude	Ângulo máximo de talude	Ângulo mínimo geral	Ângulo máximo geral	Fator de segurança a mínimo	Fator de segurança a máximo	Probabilidade de ruptura mínima	Probabilidade de ruptura máxima
261	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
262	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
263	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
264	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
265	Basalto	4	6	6	15	3	3	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
266	Basalto	-	-	10	12	-	-	7	7	75	75	-	-	-	-	-	-
267	Basalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
268	Basalto	-	-	9	27	3	3	-	-	75	57	-	-	-	-	-	-
269	Basalto	4,5	4,5	20	20	1	1	0	0	64	80	64	80	1.780	2.470	-	-
270	Basalto	4,5	4,5	20	20	1	1	0	0	64	80	64	80	1.780	2.470	-	-
271	Basalto	20	20	25	25	1	1	0	0	68	68	60	60	3.661	3.661	-	1
272	Basalto	5	5	18	18	1	1	0	0	-	-	-	-	1.714	2.818	-	-
273	Basalto	2	2	24	24	1	1	0	0	80	80	80	80	-	-	-	-
274	Basalto	-	-	3	9	3	3	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
275	Basalto	-	-	3	9	3	3	-	-	80	80	-	-	-	-	-	-
276	Basalto	2	4	10	15	1	1	0	0	80	80	80	80	2.8	2.8	-	-
277	Basalto	2	4	10	15	1	1	0	0	80	80	80	80	2.8	2.8	-	-
278	Basalto	-	-	12	15	-	-	7	7	70	75	-	-	1.4	1.4	-	-
279	Água mineral	40	40	6	40	1	1	-	-	60	60	60	60	-	-	-	-