

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

EDUARDA DALLA NORA PAULI

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE UTILIZANDO
O MÉTODO DE SCANLINE EM UMA PEDREIRA DE
DIABÁSIO.**

**Caçapava do Sul
2021**

EDUARDA DALLA NORA PAULI

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE UTILIZANDO
O MÉTODO DE SCANLINE EM UMA PEDREIRA DE
DIABÁSIO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: José Waldomiro
Jiménez Rojas.

**Caçapava do Sul
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

P327a Pauli, Eduarda Dalla Nora

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE UTILIZANDO O
MÉTODO DE SCANLINE EM UMA PEDREIRA DE DIABÁSIO. /
Eduarda Dalla Nora Pauli.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2021.

"Orientação: José Waldomiro Jiménez Rojas".

1. Geologia. 2. Geotécnica. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

EDUARDA DALLA NORA PAULI

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE UTILIZANDO O
MÉTODO DE SCANLINE EM UMA PEDREIRA DE DIABÁSIO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Geologia da Universidade Federal
do Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 07 de maio de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Waldomiro Jiménez Rojas Orientador

UNIPAMPA

Prof. Msc. Diogo Peixoto Cordova

UNIPAMPA

Prof. Esp. Renan Rauber

UNIVEL



Assinado eletronicamente por **DIOGO PEIXOTO CORDOVA**,
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 13/05/2021, às 09:14,



conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

Assinado eletronicamente por **JOSE WALDOMIRO JIMENEZ ROJAS**, **Diretor(a) Campus Caçapava do Sul**, em 13/05/2021, às 09:18, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Renan Rauber, Usuário Externo**, em 13/05/2021, às 17:36, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0524011** eo código CRC **26508017**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, por todo o esforço e apoio durante esses anos de faculdade, em especial Mãe, Pai, Mano, Gorda e Vó Helena. Agradeço ao meu avô Tarso, que infelizmente não está mais aqui para me ver realizando esse sonho, mas que mesmo distante se manteve sempre perto me ajudando e me iluminando nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador professor Jose Rojas, por ter me acolhido de última hora e por ter me orientado durante o decorrer do trabalho.

Aos amigos que fiz durante essa jornada e que levarei para a vida, em especial Gabi, Zoio, Greisi, Jorge, Rhaissa, Camila, Gio, Paula, Neto, Dudinha, Carol. Muito obrigada a todos do fundo do meu coração, jamais esquecerei os momentos vividos.

Ao Bruno, meu companheiro de vida, que não mediu esforços para me ajudar no desenvolvimento do trabalho e contribuiu muito para a conclusão do mesmo. Te amo Bru.

Ao Sheri (*in memoriam*), a Melissa e a Kyra. Meus três amores de quatro patas.

Finalmente agradeço a Deus e ao universo por terem traçado o meu caminho na UNIPAMPA, onde conheci o amor da minha vida, fiz amigos que se tornaram irmãos e pude realizar o sonho de obter o título de bacharel em geologia.

RESUMO

A geotecnia compreende a dinâmica das rochas, dos solos e construções através da análise de suas características físicas e mecânicas. O presente trabalho, consiste no estudo de estabilidade de taludes em um empreendimento mineiro de extração de diabásio. Na realização do trabalho foi aplicada a metodologia *Scanline*, para coleta de dados, a fim de obter a classificação do maciço rochoso através do RQD e RMR. Posteriormente, por meio de análise cinemática com projeção estereográfica, utilizando o software *Dips Rocscience*, foram definidas as possibilidades de ruptura planar, em cunha e tombamento. Subsequentemente, foi calculado fator de segurança, através do software *Slide Rocscience*, aplicando o critério de Hoek-Brown Generalizado. Como resultado das metodologias empregadas, notou-se que o maciço é classificado como de boa qualidade, apresentando baixo risco de ruptura, com um fator de segurança considerado satisfatório de acordo com as normas brasileiras de estabilidade de taludes.

Palavras-chave: Geotecnia, *scanline*, estabilidade de taludes, análise cinemática, fator de segurança.

ABSTRACT

Geotechnics understand the dynamics of rocks, soils and buildings through the analysis of their physical and mechanical characteristics. The present work consists of the study of slope stability in a diabase mining project. In carrying out the work, the Scanline methodology was applied, for data collection, in order to obtain the classification of the rock mass through RQD (Rock Quality Designation) and RMR (Rock Mass Rating). Later, through kinematic analysis with stereographic projection, using the Dips Rocscience software, the possibilities of planar failure, wedge and toppling were defined. Subsequently, a safety factor was generated through the Slide Rocscience software, applying the Generalized Hoek-Brown criterion. As a result of the methodologies employed, it was noted that the rockmass is classified as of good quality, presenting a low risk of failure and a satisfactory safety factor according to the Brazilian standards for slope stability.

Keywords: Geotechnics, scanline, slope stability, kinematic analysis, safety factor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de Localização.....	20
Figura 2: Cava da pedreira em operação.....	21
Figura 3: Local de aplicação dos métodos.....	21
Figura 4 - Mapa geológico da área de estudo.....	22
Figura 5 - Amostra coletada em campo.	29
Figura 6 - Porção da cava de exploração de diabásio.	29
Figura 7 - Mapa geológico local.....	30
Figura 8 - Mapa de solos.	31
Figura 9 - Exemplo de cambissolo.....	32
Figura 10 - Exemplo de gleissolo.....	33
Figura 11 - Mapa de bacias hidrográficas.	37
Figura 12- Representação do método <i>Scanline</i> com as principais descontinuidades marcadas.....	42
Figura 13 - Representação de propriedades geológico-geotécnicas.....	43
Figura 14 - Representação de orientação de talude.	44
Figura 15 - Representação de espaçamento.	45
Figura 16 - Classificação de rugosidade.	46
Figura 17 - Exemplos de abertura.....	47
Figura 18 - Exemplo de preenchimento em juntas.	48
Figura 19 - Demonstração do Tilt Test para obtenção do ângulo de fricção.	49
Figura 20 - Representação de ruptura circular.....	53
Figura 21 - Representação de ruptura planar.	54
Figura 22 - Representação de ruptura em cunha.....	55
Figura 23: Representação de tombamento.....	56
Figura 24 - Esterograma representando graficamente planos e polos de fraturas e talude.	60
Figura 25- Análise cinemática de ruptura planar.....	61
Figura 26 - Análise cinemática de Ruptura em Cunha.	62
Figura 27 - Análise cinemática de Tombamento.	63
Figura 28 - Perfil do talude estudado.	64

Figura 29 - Determinação do parâmetro de resistência a compressão uniaxial.....	66
Figura 30: Teste de estimativa de resistência a compressão uniaxial realizado em campo.....	66
Figura 31 - Orientação para definição do parâmetro D.	67
Figura 32 - Fator de segurança calculado através do software Slide Rocscience.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de persistência.	46
Tabela 2 - Classificação RQD.	50
Tabela 3 - Qualificação do maciço rochoso através de RMR.	51
Tabela 4 - Ajuste RMR.	52
Tabela 5 - Tabela para classificação de maciço a partir de valores totais	52
Tabela 6: Classificação geomecânica RMR.	59
Tabela 7- Fator corretivo do RMR.	59
Tabela 8 - Classes dos maciços rochosos.	59
Tabela 9 - Estimativa dos parâmetros GSI.	65
Tabela 10 - Grau de segurança de acordo com seu fator mínimo.	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RQD- *Rock Quality Designation*

RMR- *Rock Mass Rating*

ISRM- *International Society of Rock Mechanics*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS	17
3. JUSTIFICATIVA	18
4. AREA DE ESTUDO	19
5. CONTEXTO GEOLÓGICO	22
5.1 Geologia Regional.....	22
5.1.1. Bacia do Paraná	23
5.1.2. Formação Rio do Rasto	24
5.1.3. Formação Botucatu.....	24
5.1.4. Formação Teresina	25
5.1.5. Formação Serra Geral.....	26
5.1.6. Depósitos Colúvio Aluvionares.....	27
5.2. Geologia Local	27
6. PEDOLOGIA.....	31
6.1. Cambissolos.....	31
6.2. Gleissolos.....	32
7. HIDROGRAFIA.....	35
7.1 A Região hidrográfica do Atlântico Sul	35
7.2 Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá.....	35
8. METODOLOGIA.....	41
8.1. Scanline.....	41
8.2. Características geomecânicas	43
8.2.1. Orientação e atitude.....	43
8.2.2. Espaçamento.....	44
8.2.3. Persistência.....	45
8.2.4. Rugosidade.....	46
8.2.5. Abertura.....	46
8.2.6. Preenchimento	47
8.2.7. Tilt Test.....	48

8.3. RQD - ROCK QUALITY DESIGNATION	49
8.4. RMR - ROCK MASS RATING	50
8.5. Análise cinemática de taludes rochosos.....	52
8.5.1. Ruptura circular	53
8.5.2. Ruptura planar.....	54
8.5.3. Ruptura em cunha.....	55
8.5.4. Tombamento.....	56
8.6. Fator de segurança	56
8.7. Software Dips	57
8.8. Software Slide	57
9. RESULTADOS.....	58
9.1. RQD - ROCK QUALITY DESIGNATION	58
9.2. RMR - ROCK MASS RATING	58
9.3. Análise Cinemática	60
9.3.1. Ruptura Planar	61
9.3.2. Ruptura em Cunha	61
9.3.3. Tombamento.....	62
9.4. Fator de Segurança.....	63
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS	70

1. INTRODUÇÃO

A geotecnia em sua praticabilidade, consiste no estudo e na aplicação dos princípios básicos da mecânica de solos, rochas e enrrocamentos. Visando a caracterização e resolução de problemas referentes a estruturas rochas geradas na mineração, pilhas de rejeitos ou solos intemperizados, que possam gerar risco tanto para a população quanto para o empreendimento.

De acordo com Gerscovich (2016), a questão de segurança envolvendo taludes em materiais geotécnicos como solos, alteração de rocha, fraturamento e descontinuidades, é um problema recorrente em geotécnica e na engenharia, seja envolvendo encostas naturais, seja envolvendo taludes de áreas de extração, ou aterros e pilhas de rejeito. Em muitas situações nos mais diversos tipos de obras e outras intervenções humanas, a avaliação da segurança de taludes é o fator controlador de projetos, normalmente expresso sob a forma de um coeficiente de segurança mínimo a ser estabelecido como critério de projeto/implantação ou sob outras formas de expressar a segurança, como por exemplo a probabilidade de ruptura.

Deste modo, a descrição da qualidade de um maciço, especialmente de um maciço rochoso, inclui por sistema, a análise das características das descontinuidades ocorrentes nesses locais. Em termos práticos uma descontinuidade é qualquer entidade geológica que interrompe a continuidade física de uma dada formação, em que a resistência é nula ou muito baixa (Freitas, 2011).

A resistência dos maciços rochosos é afetada diretamente pela frequência e orientação de famílias de descontinuidades ou das fraturas. A grande importância das descontinuidades é que elas irão influenciar as propriedades geomecânicas dos maciços rochosos relativos à resistência, deformabilidade e permeabilidade (Freitas, 2011). É necessário conhecer a natureza e as características das formações geológicas, bem como os mecanismos que levam à instabilidade dos taludes, a fim de poder adotar medidas de estabilização que garantam as condições de segurança dos mesmos (Ortigão et al., 2004).

O desenvolvimento desse estudo consistiu nas observações em campo, no reconhecimento e caracterização geológica de feições geométricas e estruturais do maciço rochoso exposto na face do talude em questão, para em conjunto com o conhecimento adquirido através da revisão bibliográfica fosse gerado um banco de dados para aplicação dos métodos pré-definidos.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho consiste na caracterização geológico-geotécnica de uma pedreira de diabásio, com a realização de um estudo de estabilidade de taludes através de dados obtidos em campo e processados em laboratório.

Os objetivos específicos são:

- 1) Aplicar a metodologia *Scanline*;
- 2) Classificar o maciço rochoso através de RQD e RMR
- 3) Realizar análise cinemática através de projeção estereográfica
- 4) Gerar e interpretar de fator de segurança através do método empírico Hoek-Brown Generalizado.

3. JUSTIFICATIVA

O trabalho se justifica pelo fato de ser importante para o desenvolvimento de empreendimentos minerários como é o caso da mineradora localizada na área de estudo, pois também o estudo de estabilidades de taludes é exigido para obtenção de licença ambiental.

Através da geotecnia é possível reduzir potencialmente os riscos de acidentes durante as fases de instalação, operação e fechamento da mina, como por exemplo o rompimento ou desabamento de taludes. Dentro deste contexto, também se pode observar a importância dos estudos geotécnicos para recuperação ambiental das áreas mineradas, como é o caso da revegetação da superfície dos taludes para manter a sua estabilidade.

4. AREA DE ESTUDO

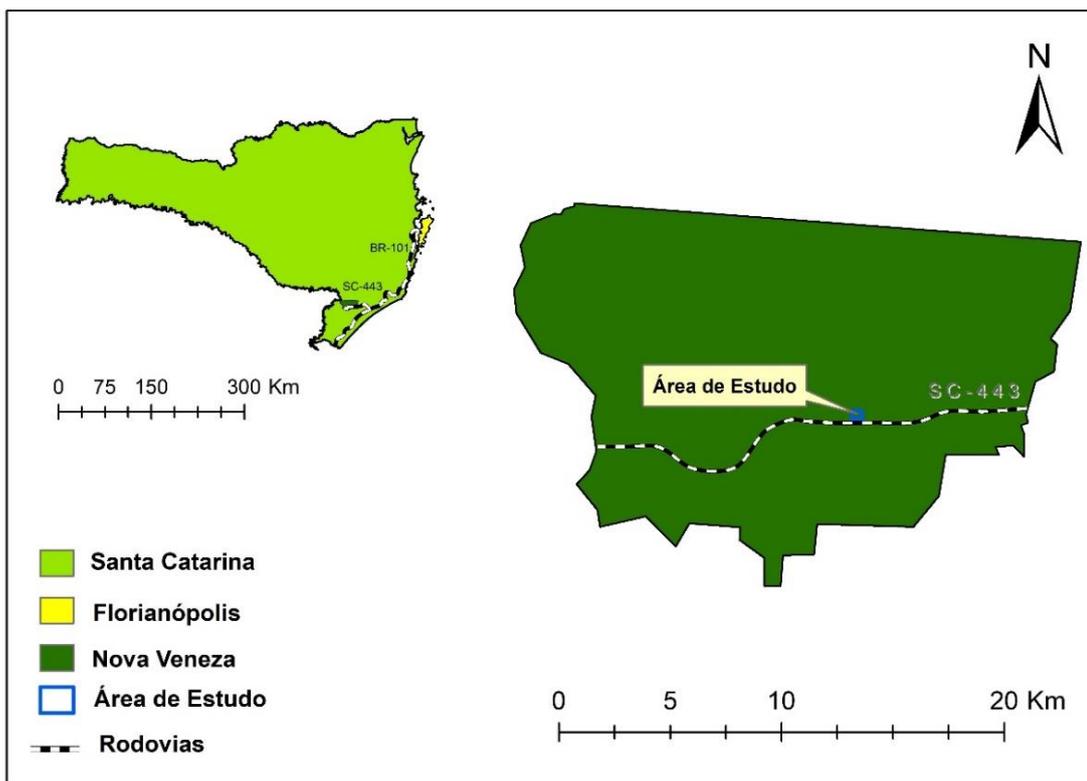
A área em estudo localiza-se a aproximadamente 300 metros na direção norte da rodovia SC-443 no bairro Rio Cedro Médio, na cidade de Nova Veneza em Santa Catarina. A área em questão (poligonal em azul da figura 1) se encontra a aproximadamente 230 km da capital do estado Florianópolis e a 24 km do centro da cidade de Criciúma. O acesso à área pode ser feito saindo da capital Florianópolis na direção sul, percorrendo aproximadamente 206 Km até a cidade de Criciúma a Rodovia SC-443, partindo de Criciúma no sentido oeste por 19 km até o distrito de São Bento Baixo, seguindo ainda pela SC-443 por 5 km no sentido oeste, o local se encontra a aproximadamente 300 m na direção norte podendo ser acessada através de uma estrada vicinal.

A figura 02 apresenta uma imagem geral da jazida em estudo. O local em questão é uma pedreira de diabásio, de propriedade privada da empresa Construtora Nunes. Sua área total compreende aproximadamente 15 hectares e atualmente a cava encontra-se sendo explorada em 5 hectares. O método de lavra é em bancadas com desmonte através de explosivos. A exploração e venda é destinada para fins de construção civil.

A figura 03 apresenta o local de aplicação dos métodos, o qual foi selecionado por apresentar uma melhor representatividade em relação as características dos demais taludes, situando-se no primeiro patamar da mina.

O relevo é plano, com vegetação predominante composta por plantações de arroz destinadas para agricultura.

Figura 1- Mapa de Localização.



Fonte: Autora.

Figura 2: Cava da pedra em operação.



Fonte: Autora.

Figura 3: Local de aplicação dos métodos



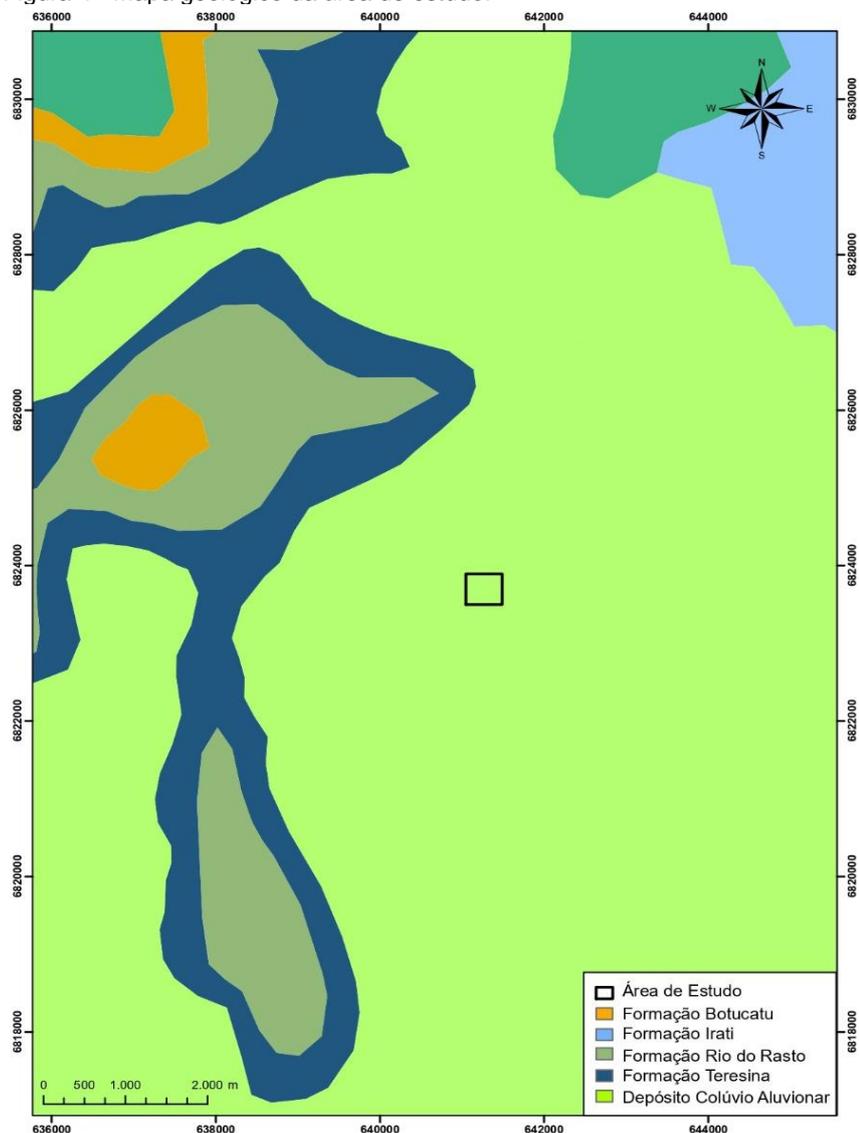
Fonte: Autora.

5. CONTEXTO GEOLÓGICO

5.1 Geologia Regional

A área em estudo está situada na região sul do estado de Santa Catarina onde há a ocorrência de rochas pertencentes aos domínios da Bacia do Paraná, dentre estas podem se destacar as coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas representadas na região pelas formações Rio do Rasto, Teresina, Botucatu e Serra Geral, conforme citadas abaixo. O mapa geológico regional, apresentado pela figura 4, apresenta a disposição das rochas vulcânicas, sedimentares e sedimentos inconsolidados na área de estudo.

Figura 4 - Mapa geológico da área de estudo.



Fonte: Autora.

5.1.1. Bacia do Paraná

De acordo com Kaul (1990), o domínio da Bacia do Paraná é o mais amplo domínio geológico do Sul do Brasil, pertencente à grande estrutura, de dimensões continentais, extensiva a outros países, implantada em terrenos pré-cambriânicos a partir do Siluriano Inferior. Pode ser subdividido em duas porções ou áreas: a das formações sedimentares, acumuladas desde tal período geológico até o Triássico, e a dos colossais derrames de lavas, de composição predominantemente básica, que cobriam as referidas formações a partir do Jurássico Superior. O domínio da Cobertura de Sedimentos Cenozóicos corresponde aos sedimentos de idade predominantemente holocênica, que se concentraram em diferentes áreas do Estado, notadamente na área costeira. Segundo Horbach et al. pud Kaul (1990), o vulcanismo fissural da Bacia do Paraná (Derrames Vulcânicos Juracretácicos e Manifestações Associadas) representa uma das maiores manifestações de vulcanismo continental do globo. Está representado por espessos e extensos derrames de lavas, bem como por dique e soleiras, com pequenos e eventuais corpos de rochas sedimentares associados. Tal conjunto de litologias constitui a Formação Serra Geral, aqui dividida em duas porções: a Sequência Básica e a Sequências Ácida. A Sequência Básica da Formação Serra Geral, que predomina grandemente em área e volume sobre a ácida, compreende derrames de basalto, andesito e basalto com vidro, além de brechas vulcânicas e sedimentares, diques e soleiras de diabásio e corpos de arenitos interderrames. Essa sequência originou-se, fundamentalmente, de um magma básico de filiação toleítica, gerado no Manto Superior.

Os arenitos interderrames, sob a forma de camadas descontínuas de arenitos eólicos, mais raramente fluviais, representam a persistência, à época Serra Geral, de condições desérticas semelhantes àquelas que perduravam por ocasião da deposição da Formação Botucatu. A Sequência Ácida da Formação Serra Geral, que corresponde a áreas de relevo menos dissecado e menos arrasado, compreende derrames de dacitos pórfiros, dacitos felsíticos, riolitos felsíticos, riodacitos felsíticos, basaltos pórfiros e fenobasaltos vítreos. A Formação Serra geral tem idade de aproximadamente 110 a 160 milhões de

anos, indicando que essa formação se originou em tempos juracretácicos (Kaul 1990).

5.1.2. Formação Rio do Rasto

De acordo com a CPRM (2014), a Formação Rio do Rasto constitui uma faixa contínua na encosta média da escarpa da Serra Geral. Nos municípios de Turvo, Meleiro e Timbé do Sul, aflora na porção superior dos morros-testemunhos, os quais constituem divisores de água. Ocorre de maneira subordinada no topo do Morro da Cruz, no município de Maracajá e nas proximidades da foz do rio Araranguá, onde forma um pequeno morro, cercado por sedimentos arenosos. Compreende uma sequência inferior constituída por arenitos finos, bem selecionados, intercalados com siltitos e argilitos cinza esverdeado, castanhos, bordôs e avermelhados, podendo localmente conter lentes ou horizontes de calcário margoso.

Os arenitos e siltitos são maciços e com laminação cruzada, ondulada, *climbing* e *flaser*, sendo, às vezes, maciços. As camadas silticoargilosas mostram laminação plano-paralela, *wavy* e *linsen*. Os siltitos e argilitos exibem foliação esferoidal bastante desenvolvida. A sequência superior constitui-se de lentes de arenitos finos, avermelhados, intercalados em siltitos e argilitos arroxeados. Possuem estratificação cruzada acanalada, laminação plano-paralela, cruzada, e estruturas de corte e preenchimento. As camadas de arenitos apresentam geometria sigmoidal a tabular.

A alteração das rochas pelíticas que constituem a sua sequência inferior dão origem a um solo avermelhado, predominantemente, argiloso, muito utilizado para suprir a demanda da indústria de cerâmica vermelha.

5.1.3. Formação Botucatu

A denominação de Arenito São Bento foi definida, inicialmente, por White (1908) para as rochas da Formação Botucatu. Aflora de maneira contínua ao longo da porção superior da encosta do planalto, onde constitui escarpas de arenitos capeadas por rochas ígneas extrusivas da Formação Serra Geral. Nesta mesma porção, ocorre localmente, capeando morros alongados que devido à erosão diferencial tem relevo uniforme. É constituída por arenitos bimodais, médios a finos, localmente, grossos e conglomeráticos, com grãos arredondados

ou subarredondados, bem selecionados. Possui cor cinza-avermelhada e é frequente a presença de cimento silicoso ou ferruginoso. Constitui um expressivo pacote arenoso, com camadas de geometria tabular ou lenticular, espessas, que podem ser acompanhadas por grandes distâncias. Na porção inferior possui finas intercalações de pelitos, sendo comuns interlaminas areia-silte-argila, ocorrendo frequentes variações laterais de fácies. À medida que se dirige para a porção intermediária desaparecem as intercalações pelíticas, predominando espessas camadas de arenitos bimodais, com estratificação cruzada acanalada de grande porte indicando que as condições climáticas se tornavam, gradativamente, mais áridas.

A persistência de estruturas sedimentares, como estratificação cruzada acanalada de grande porte, estratificação cruzada tabular tangencial e estratificação plano-paralela, a bimodalidade dos arenitos, evidenciada por processos de *grain fall* e *grain flow* e, ainda, as frequentes intercalações pelíticas, ripples de adesão e marcas onduladas de baixo-relevo, sugerem um ambiente desértico com a formação de depósitos de dunas e interdunas. Sua idade é atribuída ao Jurássico Superior/Cretáceo Inferior, através de correlações estratigráficas com as formações que lhe são subjacentes, como mostra a Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani; França; Schneider, 1994).

5.1.4. Formação Teresina

Moraes Rego (1930) foi quem empregou pela primeira vez o termo Teresina, sob a designação de Grupo Teresina, aos sedimentos encontrados na seção-tipo, expostos na margem direita do rio Ivaí, próximo à localidade de Teresa Cristina (antiga Teresina), no Paraná. Schneider et al. (1974), denominou esta sequência de Formação Teresina.

Segundo a CPRM (2014), a Formação Teresina é constituída por argilitos, folhelhos e siltitos cinzaescuros e esverdeados, ritmicamente intercalados com arenitos muito finos, cinza-claros. Quando alterada, esta unidade mostra cores diversificadas em tons cremes, violáceos, bordôs e avermelhados. Comumente apresenta lentes e concreções carbonáticas, com formas elípticas e dimensões que podem atingir 2 m de comprimento por 80 cm de largura.

As principais estruturas sedimentares encontradas nesta sequência são a laminação "flaser", plano-paralela, ondulada e convoluta, estratificação "hummocky", marcas onduladas e gretas de contração. As características litológicas e estruturas sedimentares exibidas por esta formação indicam uma deposição em ambiente marinho de águas rasas e agitadas, dominado por ondas e pela ação de marés (infra-maré a supra-maré).

Os contatos da Formação Teresina com a Formação Rio do Rastro, que lhe sobrepõe, e com a Formação Serra Alta, subjacente, são transicionais. Seu conteúdo fóssilífero é representado por restos de plantas, lamelibrânquios e palinóforos, permitindo situá-la no Permiano Superior, no andar Tatariano.

5.1.5. Formação Serra Geral

A denominação Serra Geral foi utilizada pela primeira vez por White (1908) para indicar, como seção-tipo, as exposições que ocorrem na Serra Geral, ao longo da estrada que liga as cidades de Lauro Müller a São Joaquim (SC438), em Santa Catarina. Leinz (1949) estabelece um perfil clássico e individualiza a estruturação interna de um derrame em zona vítrea basal, com disjunção horizontal; zona intermediária, com juntas verticais; zona superior, com disjunção vertical e horizontal; e basalto vesicular no topo.

No mapa geológico do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Wildner (2000) separaram um conjunto de derrames cujas características petrográficas permitem uma correlação com a divisão litoquímica, na categoria de fácies. Peate; Hawkesworth; Mantovani (1992) utilizaram esta divisão litoquímica das rochas da Formação Serra Geral, nos dois estados, em Fácies Gramado, Fácies Caxias, Fácies Paranapanema-Pitanga, Fácies Esmeralda e Fácies Chapecó. As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral constituem a escarpa superior do planalto gonduânico. No Roteiro Geológico da Coluna White (1994) elaborado por Krebs; Caruso Jr., estas rochas afloram a partir da cota 760 m. No topo do planalto ocorrem cotas de 1.450 m, indicando uma espessura de até 690 m. Ocorrem também sob a forma de *sills*, capeando morros testemunhos que afloram em diferentes porções do município de Jacinto Machado. Do ponto de vista litológico, estas rochas abrangem uma sucessão de derrames de lavas, predominantemente, básicas, contendo domínios subordinados intermediários e

ácidos, principalmente, em sua porção intermediária a superior. Nas observações de campo foram identificados termos básicos a intermediários, de cor cinza-escuro a preto, granulação fina à afanítica, amigdaloidal a maciços. Geralmente, são bastante fraturados, exibindo fraturas conchoidais características. O contato da Formação Serra Geral com as unidades sedimentares da Bacia do Paraná ocorre por discordância. Mühlmann et al. (1974), através de datações radiométricas, situam a Formação Serra Geral no Cretáceo Inferior (entre 120 e 130 milhões de anos).

5.1.6. Depósitos Colúvio Aluvionares

Segundo a CPRM (2014), os Depósitos Colúvio Aluvionares são constituídos por sedimentos arenosíltico-argilosos, seixos, blocos e matacões e estão, geneticamente, relacionados à natureza de sua área-fonte. De acordo com Krebs (2004), na encosta do platô Gonduânico os vales são encaixados e têm gradientes acentuados onde esses depósitos são pouco expressivos e se constituem, geralmente, de material conglomerático ou areno-conglomerático que se concentram nas calhas dos cursos d'água, formando barras transversais ou longitudinais e barras em pontal.

5.2. Geologia Local

Litoestratigraficamente, de acordo com a CPRM (2014), afloram na região da área de pesquisa, rochas pertencentes as formações Rio do Rasto, Teresina e Botucatu, juntamente com ocorrências de depósitos quaternários de sedimentos inconsolidados. A formação Rio do Rasto apresenta domínio de coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas, se mostram pouco a moderadamente consolidadas e associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise. Nota-se na formação afloramentos com intercalações de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e folhelhos. A formação Botucatu apresenta domínio de coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas, se mostram pouco a moderadamente consolidadas e associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise. É possível observar na formação o predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica. A formação Teresina apresenta domínio de coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas, se mostram pouco a moderadamente consolidadas

e associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise. Nota-se predomínio de sedimentos síltico-argilosos e calcários com intercalações arenosas subordinadas.

Os Depósitos Colúvio-Aluvionares são constituídos por sedimentos areno-síltico-argilosos, seixos, blocos e matacões e estão, geneticamente, relacionados à natureza de sua área-fonte. Morfologicamente observa-se na encosta do platô Gonduânico que os vales são encaixados e têm gradientes acentuados onde esses depósitos são pouco expressivos e se constituem, geralmente, de material conglomerático ou areno-conglomerático que se concentra nas calhas dos cursos d'água, formando barras transversais ou longitudinais e barras em pontal.

Através do levantamento geológico de campo foram detectadas rochas vulcânicas intrusivas, classificadas como diabásio (figura 5). A rocha se mostra moderadamente fraturada, com mineralogia composta por minerais máficos e plagioclásio. Sua textura se mostra fanerítica muito fina a muito fina, e os minerais se mostram subédricos. É possível observar a ocorrência de fraturas preenchidas por calcita com presença de moscovita. De acordo com a campanha de sondagem (dados fornecidos pela empresa) o corpo intrusivo de diabásio apresenta espessura variando de 30 a 35 metros, sendo detectado o contato em sua base com rochas sedimentares classificadas como siltitos. Através desse contato, pode-se classificar o corpo de diabásio aflorante como tabular horizontalizado, ou soleira. A figura 6 demonstra parcialmente a rocha intrusiva exposta.

Figura 5 - Amostra coletada em campo.



Fonte: Autora.

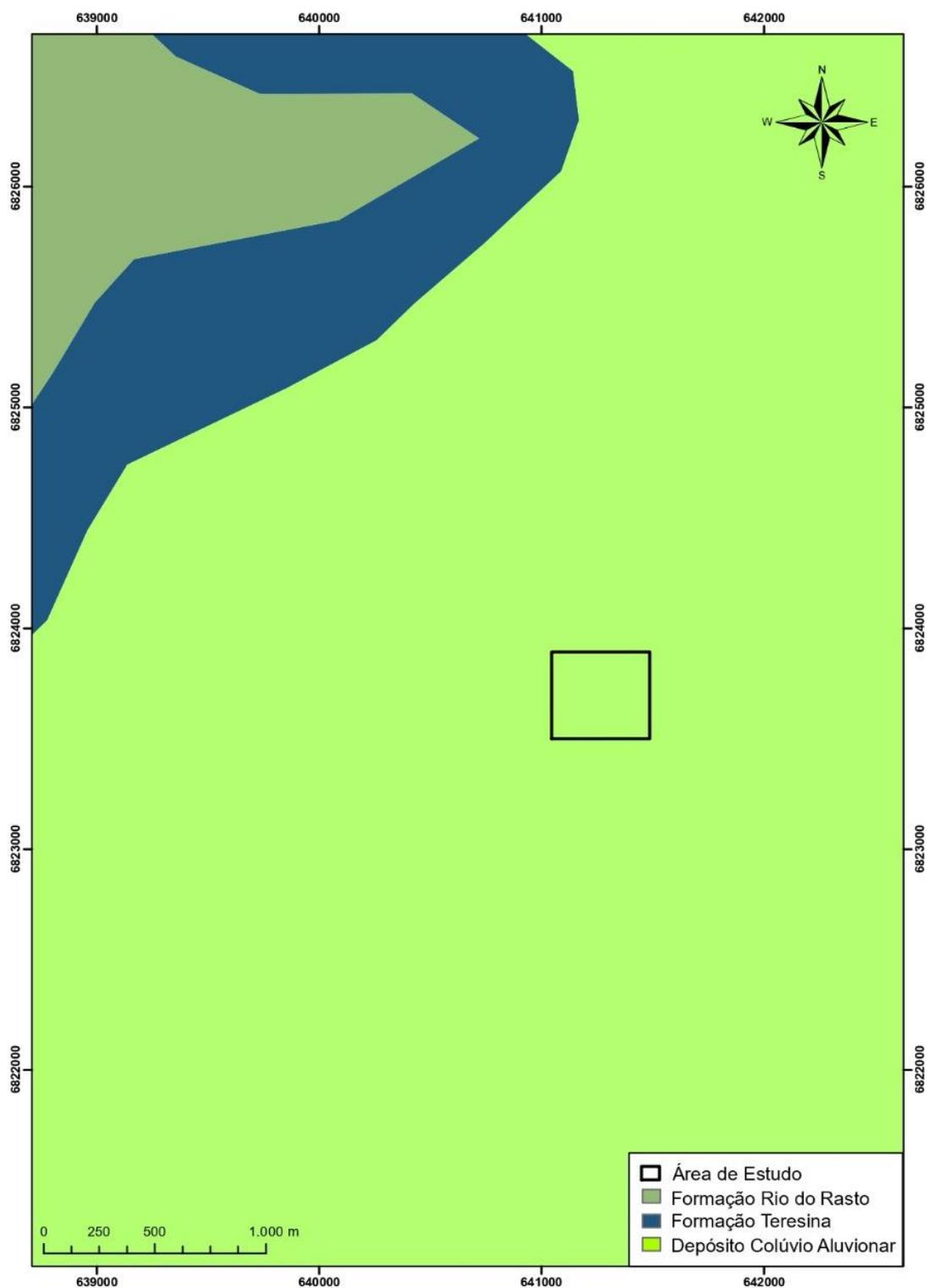
Figura 6 - Porção da cava de exploração de diabásio.



Fonte: Autora.

A figura 7 ilustra o mapa geológico local da área de estudo, evidenciando as três principais litologias encontradas na região.

Figura 7 - Mapa geológico local.

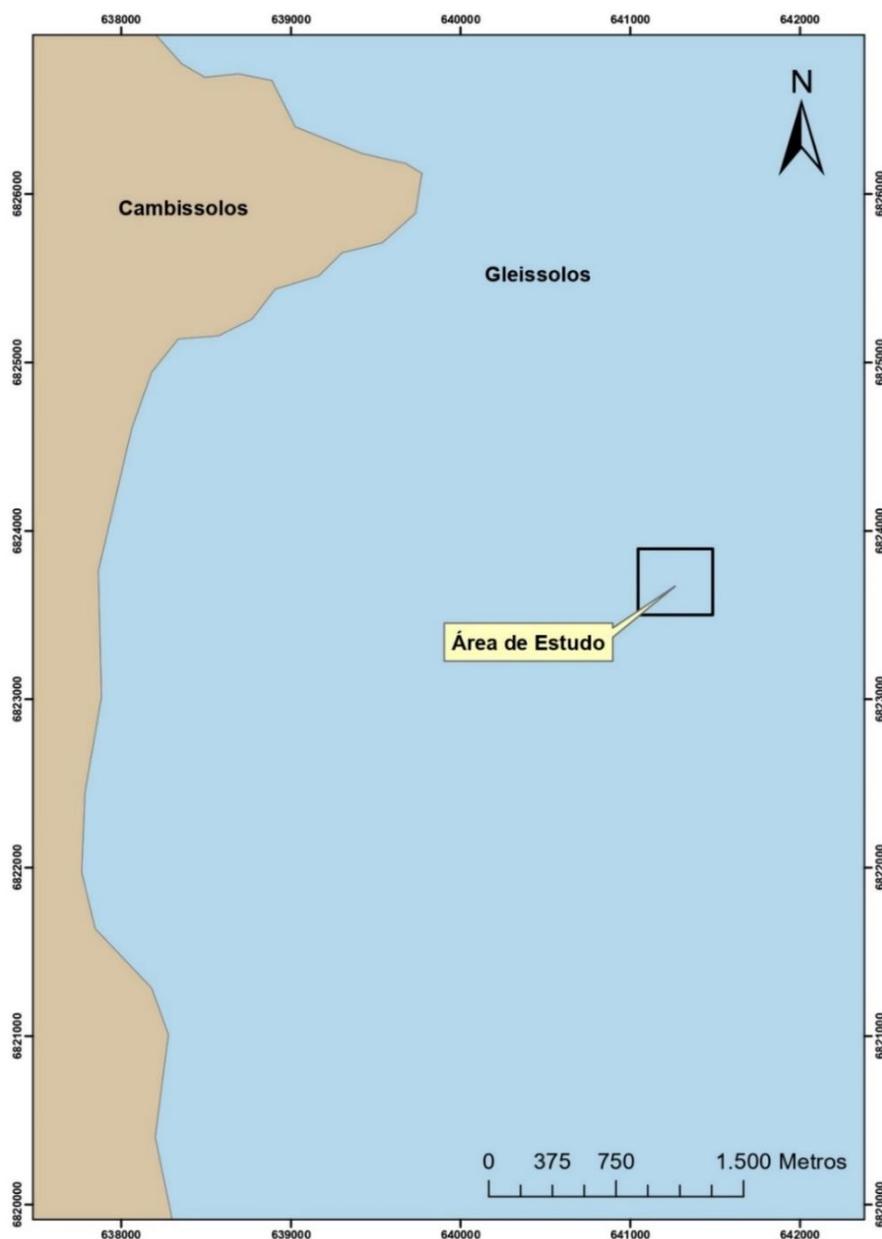


Fonte: Autora.

6. PEDOLOGIA

Na área de estudo os tipos de solos encontrados foram definidos de acordo com revisão bibliográfica obtida através do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS/EMBRAPA) e banco de dados disponibilizados pelo portal (GeoSGB) do Serviço Geológico do Brasil. Foram então definidos os tipos de solo como Cambissolos e Gleissolos, como representados na figura 8.

Figura 8 - Mapa de solos.



Fonte: Autora.

6.1. Cambissolos

Os cambissolos (figura 9), compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte

superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam aos requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos e Organossolos. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruno ou brunoamarelada até vermelho-escura, de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila.

Horizonte com presença de plintita ou com gleização pode estar presente em solos desta classe, desde que não satisfaça aos requisitos exigidos para ser incluído nas classes dos Plintossolos ou Gleissolos.

Figura 9 - Exemplo de cambissolo.



Fonte: Embrapa (2021)

6.2. Gleissolos

Os gleissolos, ilustrados na figura 10, compreendem solos minerais, hidromórficos, que apresentam horizonte glei dentro de 50 cm a partir da superfície ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização) ou de

horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos.

Figura 10 - Exemplo de gleissolo.



Fonte: Embrapa (2021)

Não apresentam textura exclusivamente arenosa em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico ou lítico fragmentário, tampouco horizonte vértico em posição diagnóstica para Vertissolos. Horizonte plânico, horizonte plíntico, horizonte concrecionário ou horizonte litoplíntico, se presentes, devem estar à profundidade superior a 200 cm a partir da superfície do solo. Os solos desta classe se encontram permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente ou a saturação ocorre por fluxo lateral no solo. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície. Caracterizam-se pela forte gleização em decorrência do ambiente redutor virtualmente livre de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água durante todo o ano ou pelo menos por um longo período. O processo de gleização implica a manifestação de cores

acinzentadas, azuladas ou esverdeadas devido à redução e solubilização do ferro, permitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila ou ainda a precipitação de compostos ferrosos.

7. HIDROGRAFIA

7.1 A Região hidrográfica do Atlântico Sul

A Região Hidrográfica Atlântico Sul, representa a área de drenagem da margem Atlântica dos estados do sul do Brasil, compreendendo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e um pequeno trecho do litoral de São Paulo (Loitzenbauer et al., 2014).

A Região Hidrográfica Atlântico Sul, destaca-se por abrigar um expressivo contingente populacional, pelo desenvolvimento econômico e por sua importância para o turismo. A região se inicia ao norte, próximo à divisa dos estados de São Paulo e Paraná, e se estende até o arroio Chuí, ao Sul. Possui uma área total de 186.080km², o equivalente a 2,2% do País, e abriga 6,8% da população nacional. A região detém 2,6% da disponibilidade hídrica do país e exerce 14,6% da demanda total por recursos hídricos (MMA, 2006).

7.2 Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá

A área de estudo encontra-se inserida nos domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, representada na figura 11.

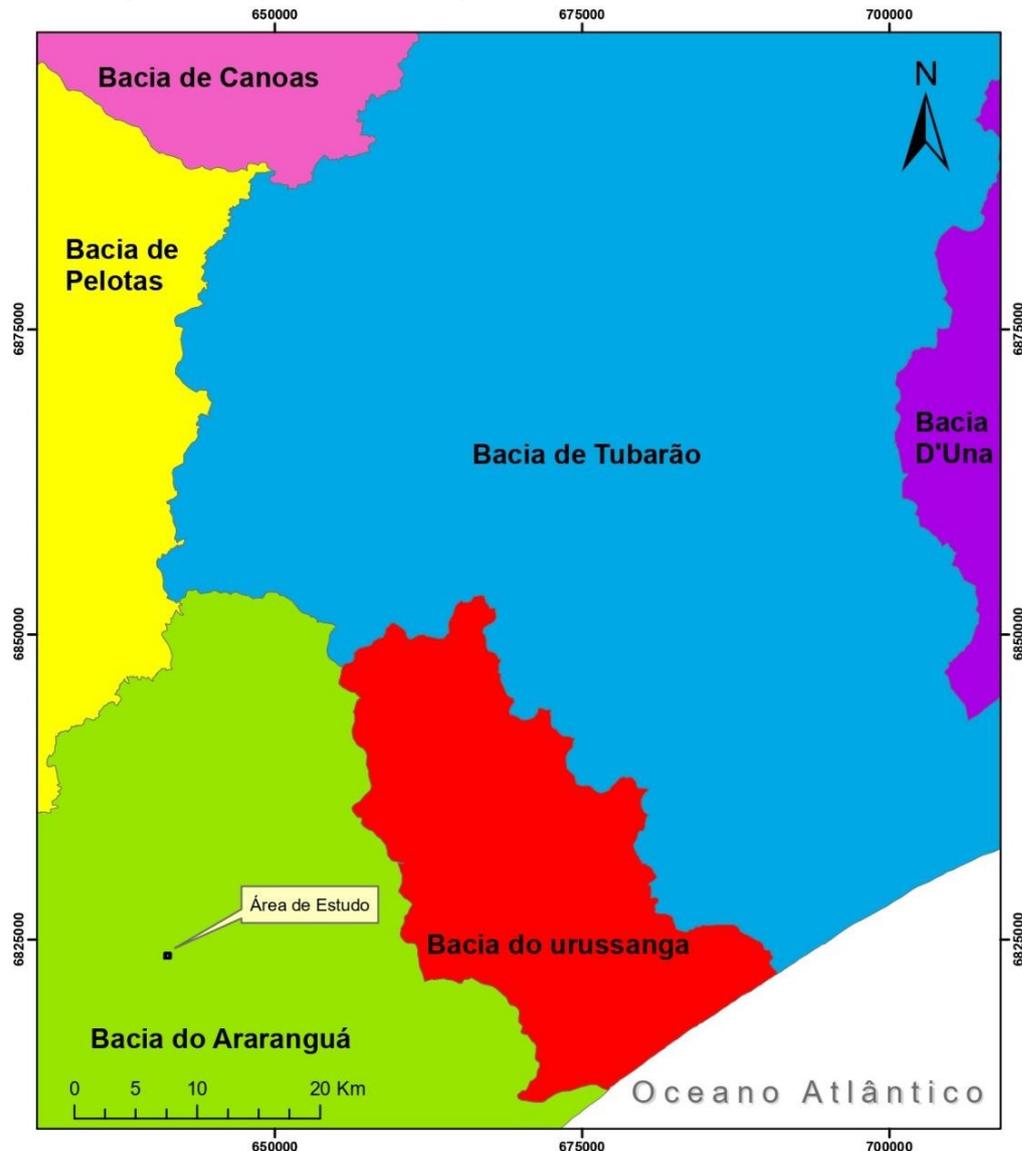
A bacia do rio Araranguá apresenta uma área de drenagem de 3.020 Km² e o comprimento dos cursos hídricos chega a 5.916 Km, com densidade de drenagem de 1,95 Km/Km², drenando os territórios de 16 municípios, entre os quais estão inseridos, Araranguá, Criciúma, e Nova Veneza. Como as demais vertentes do Atlântico, a do rio Araranguá possui suas nascentes localizadas junto à Serra Geral, tendo como formadores os rios Itoupava e Mãe Luzia. Cerca de 15 cursos d'água principais compõem o seu sistema hídrico, dentre os quais se destacam os rios Mãe Luzia, Amola Faca, Itoupava, Jundiá, dos Porcos, Turvo, das Pedras, Araranguá e São Bento (Krebs, 1997).

De acordo com Dantas, et al., (2005), o Rio Araranguá, principal rio da Bacia, é formado pela confluência dos rios Mãe-Luzia e Itoupava, logo à montante da cidade de Araranguá, abrangendo apenas o trecho final da bacia, já próximo a sua foz com o Oceano. O rio Araranguá apresenta um padrão de canal meândrico com trechos retilíneos consiste num típico rio de planície com gradiente do canal extremamente baixo.

Este trecho da bacia abarca uma extensa planície flúvio lagunar mal drenada, ladeada por cordões arenosos e campos de dunas de idades holocênica e pleistocênica e planícies lagunares entre as duas gerações de cordões litorâneos. Nestes cordões marinhos é possível observar, localmente, um padrão de drenagem paralelo em que os pequenos canais se alojam nas depressões intercordões.

A densidade de drenagem deste trecho da bacia é muito baixa, sendo que os terrenos planos da baixada são cortados por poucos canais. Nota-se a ocorrência de fenômenos de avulsão do canal meândrico por meio de vários meandros abandonados no baixo curso do rio, assim como um processo recente de acreção/rompimento da barra do rio Araranguá, junto a sua desembocadura, o que evidencia uma expressiva atividade morfodinâmica do baixo curso da bacia em tempos recentes.

Figura 11 - Mapa de bacias hidrográficas.



Fonte: Autora.

Um dos formadores do rio Araranguá, o rio Itoupava representa um mero prosseguimento a montante desse rio. O rio Itoupava configura-se num dos mais importantes da bacía do rio Araranguá (canal de 7 ordem, segundo Strahler), sendo que sua bacía de drenagem consiste de uma extensa planície de leques aluviais e abrange, nessas áreas baixas, uma expressiva zona de rizicultura. A planura das planícies convertidas em canchas para rizicultura é interrompida apenas pelas colinas e morros isolados dos relevos residuais que emergem da baixada e pelas porções mais baixas dos espigões da serra Geral (Dantas, et al., 2005).

Situada ainda numa posição de baixo curso da bacia onde ainda se observa, em parte, o fenômeno de refluxo de maré, o rio Itoupava apresenta um padrão de drenagem muito similar ao do rio Araranguá, apresentando também um típico padrão meândrico sendo que, localmente, apresenta seções de canal retilíneas, notadamente junto à localidade de Ermo, o que pode implicar num controle estrutural do atual traçado de parte da rede de drenagem. Este rio é formado pela confluência dos rios da Pedra e Amola-Faca.

O rio Itoupava é um típico rio de planície, sendo que seu vale é preenchido por extensas planícies fluviais e ladeado por amplos terrenos aplainados resultantes do retrabalhamento de antigos depósitos de leques aluviais de idade plio-pleistocênica. No seu baixo curso, próximo à confluência com o rio Mãe Luzia observa-se ainda uma sedimentação fluviolagunar, demonstrando influência marinha pretérita até a referida confluência. A densidade de drenagem deste trecho da bacia é muito baixa, sendo que seus principais tributários são os rios Turvo e Jundiá, ambos da margem esquerda. Estes dois rios nascem da base dos contrafortes (sob forma de espigões) da escarpa da Serra Geral e percorrem os amplos terrenos planos dos leques aluviais até desembocar no rio Itoupava.

Apresentam padrão de canal meândrico de alta sinuosidade e restrita sedimentação aluvial. Curiosamente, esses canais mais importantes da bacia do rio Itoupava seguem uma direção preferencial NWSE, mesmo estão sobre depósitos de leques aluviais aplainados. A pujante localidade de Turvo, novo polo de rizicultura do Sul de Santa Catarina, desenvolve-se junto ao vale do rio homônimo. Já as localidades de Morro Chato, Boa Vista Grande, Alto Rio Jundiá e Saporanga assentam-se junto ao vale do rio Jundiá (Dantas, et al., 2005).

O Rio Mãe Luzia, outro principal que forma o Rio Araranguá, configura-se num dos mais importantes da bacia do rio Araranguá (canal de 7ª ordem, segundo Strahler), sendo que sua bacia de drenagem abrange grande parte da Bacia Carbonífera de Criciúma. O rio Mãe Luzia tem como afluentes principais os rios Manuel Alves, Sangão, do Cedro, Guarapari/São Bento, Jordão, Manim, do Pio e Fiorita. Apresenta um típico padrão de canal meândrico, sujeito às variações locais ao longo do perfil longitudinal do canal:

No seu baixo curso entre a desembocadura e a localidade de Nova Veneza, o rio Mãe-Luzia exibe padrão meândrico intercalado com seções de canal retilíneas e notáveis cotovelos de drenagem, como observado junto à localidade de Maracajá, sugerindo um ajuste do traçado do canal a planos de fraturas e/ou falhas. Neste trecho, a bacia de drenagem apresenta um padrão dendrítico com baixa densidade de drenagem, percorrendo os amplos terrenos aplainados dos leques aluviais, e um gradiente do canal extremamente baixo, da ordem de 0,4m/km. O baixo curso do rio Mãe-Luzia caracteriza-se pelo desenvolvimento de uma extensa planície aluvial, sendo que, próximo à confluência com o rio Itoupava observa-se ainda uma sedimentação fluviolagunar.

À montante da localidade de Nova Veneza, o rio Mãe-Luzia apresenta em um curto trecho (aproximadamente 7 km) meândrico estrangulado, encaixado nas ombreiras de colinas e morros, resultantes do desmonte de um sill de diabásio, sem apresentar sedimentação fluvial. A direção do rio, que segue um eixo predominante N-S, passa a correr, neste segmento do perfil longitudinal, sob orientação NE-SW. Neste trecho, a bacia de drenagem apresenta ainda um padrão dendrítico com média densidade de drenagem, onde o rio Mãe-Luzia serpenteia por entre um ambiente de colinas e morros com desnivelamentos que variam entre 50 e 120 metros. Todavia, o gradiente do canal, neste segmento, também é muito baixo, da ordem de 1,4m/km, não apresentando níveis de base locais expressivos.

O médio curso do rio Mãe-Luzia, entre a confluência do rio Fiorita e a localidade Treviso, bastante poluído e assoreado, demonstra o marcante impacto da atividade de mineração de carvão neste trecho da bacia de drenagem. Imensas pilhas de rejeito de minério, amontoadas nas cercanias das cidades de Siderópolis, Rio Fiorita e Treviso intervêm, de forma irreversível, na morfologia dos fundos de vales dos rios Fiorita, do Pio e médio rio Mãe-Luzia.

Lagos de decantação associados barram tributários menores e alteram a trajetória dos canais principais. A intervenção humana advinda do impacto da atividade mineira nos lega um cenário de grande degradação ambiental de complexa recomposição, tanto paisagística quanto da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

A despeito das derivações antropogênicas acima relatadas, a bacia do médio rio Mãe-Luzia apresenta um padrão dendrítico com média a alta densidade de drenagem, num ambiente de pequenas colinas arrasadas e expressiva sedimentação aluvial, possivelmente com importante contribuição antrópica. O baixo gradiente do canal, da ordem de 2,3m/km e o estrangulamento à jusante deste segmento do perfil longitudinal do rio Mãe-Luzia pode contribuir com uma maior estocagem de sedimentos, localmente.

À montante de Treviso, no seu alto curso, o rio Mãe Luzia perde seu padrão de canal meândrico e passa a exibir um padrão mais retilíneo, devido ao aumento do gradiente do canal (da ordem de 39,4m/km). Mesmo assim, nota-se uma importante sedimentação aluvial junto à calha do coletor principal, entre Treviso e o sopé da escarpa. Neste trecho, a bacia de drenagem apresenta um padrão dendrítico a subdendrítico com alta densidade de drenagem, drenando uma pequena porção da escarpa da Serra Geral. Considerando apenas as cabeceiras do rio Mãe-Luzia, que drena a escarpa, o gradiente do canal muito elevado, semelhante ao calculado para o alto curso do rio Amola-Faca, da ordem de 107m/km (Dantas, et al., 2005).

Os rios descritos anteriormente são apenas alguns dos principais da bacia do Rio Araranguá. Os demais afluentes foram todos citados acima.

8. METODOLOGIA

Os estudos e as determinações das propriedades geomecânicas em maciços rochosos, assim como a caracterização geológica estrutural da região, são fatores de extrema importância para o planejamento e projeção de taludes em minas a céu aberto, uma vez que a heterogeneidade do maciço rochoso é uma complicação para a mineração, que deve compensar o processo de projeção entre a estabilidade dos taludes e seu impacto econômico.

Devido à praticidade, opta-se em realizar os estudos das propriedades geomecânicas a partir de uma amostragem linear (*scanline*), que é uma técnica amplamente utilizada em contextos geológicos e geotécnicos (Priest e Hudson, 1991).

Para a etapa de processamento de dados foram utilizados os *softwares*, Dips e Slide.

8.1 Scanline

O método de amostragem de *Scanline*, consiste na colocação de uma fita graduada em faces expostas do maciço e no registo de algumas características de todas as discontinuidades por ela intersectadas. Uma descrição pormenorizada da técnica encontra-se em Lamas (1989), Chaminé e Gaspar (1995) e Brady e Brown (2005).

Na sua aplicação à área do estudo, para o maciço da pedreira optou-se pela demarcação na face do talude com tinta em spray um segmento de 10 metros de comprimento, aferido com uma fita métrica no talude a ser estudado (figura 12). Para o talude analisado, foram cartografadas de uma forma sistemática, todas as discontinuidades (diaclases, falhas, fraturas e/ou foliações) que intersectavam essa linha de amostragem.

Cada uma das discontinuidades foi descrita e registada em fichas de levantamento geotécnico.

Figura 12- Representação do método *Scanline* com as principais descontinuidades marcadas.

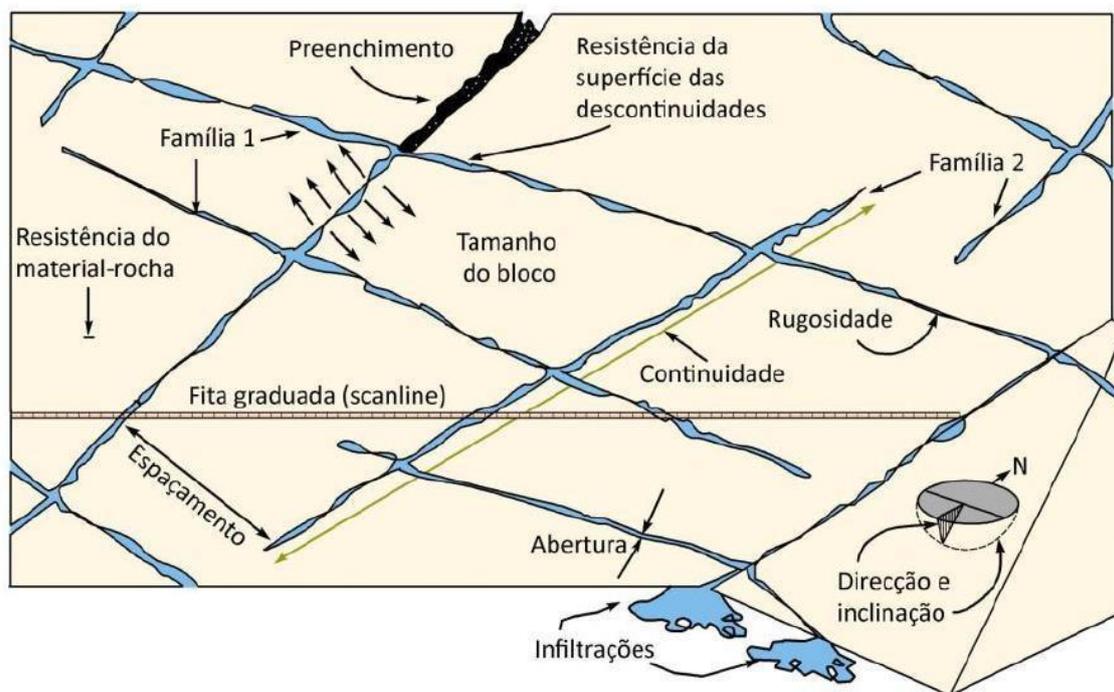


Fonte: Autora.

Na *scanline* delineada, foram determinadas as seguintes propriedades físicas do maciço: número de juntas e falhas, análise do contato de fraturas, escoamento de água, rugosidade da superfície de contato, espaçamentos entre juntas e fraturas, estado de alteração da rocha, direção e mergulho das fraturas, espaçamento entre juntas e falhas e forma característica das falhas ao longo de sua direção.

Alguns desses parâmetros são tabelados, como mostra a figura 13, são eles: espaçamentos entre fraturas, presença de água, persistência, rugosidade e grau de alteração das rochas.

Figura 13 - Representação de propriedades geológico-geotécnicas.



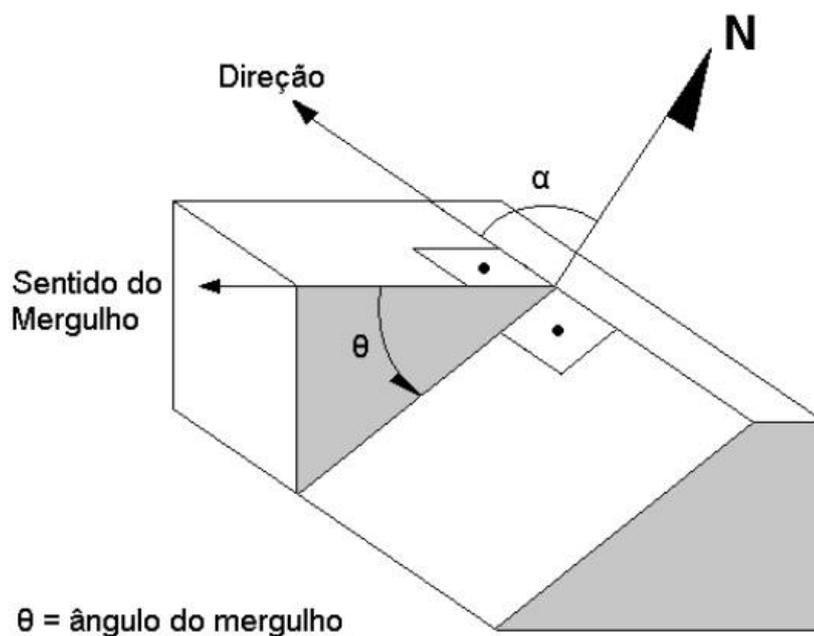
Fonte: Adaptado de Vallejo et al. (2002)

8.2 Características geomecânicas

8.2.1 Orientação e atitude

A orientação e atitude das descontinuidades é descrita pela direção do mergulho e pelo mergulho da linha de máxima inclinação na superfície de descontinuidade. A direção de mergulho ou *dip direction* é medida a partir do Norte, no sentido dos ponteiros da bússola. Essa metodologia é utilizada para representar e analisar as relações tridimensionais entre planos e linhas num diagrama bidimensional (Brady e Brown, 2005), conforme ilustrado na figura 14.

Figura 14 - Representação de orientação de talude.



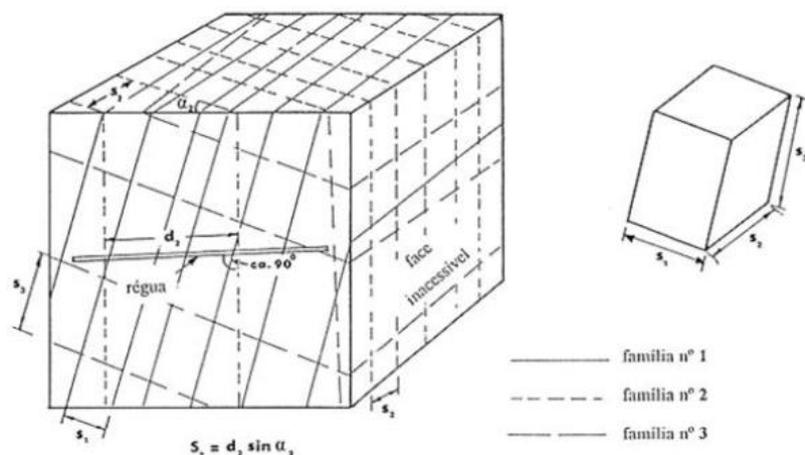
Fonte: Adaptado de Pinotti (2015)

8.2.2 Espaçamento

De acordo com Brady e Brown (2005), o espaçamento é definido como a distância entre descontinuidades que pertençam a uma mesma família, sendo que esta distância é medida ao longo de uma linha, a qual pode ser da face de um talude, da parede de um túnel, ou do eixo de um testemunho de uma sondagem. De acordo com Priest e Hudson (1976), o espaçamento é o inverso da frequência, que pode ser definida como o número de descontinuidades por metro.

A figura 15 representa o espaçamento, que consiste na medição do espaço entre as descontinuidades e possui como meta a determinação do tamanho dos blocos em que o talude se encontra compartimentalizado. Esse parâmetro é relacionado com a sua estabilidade, pois as forças que atuam na desestabilização dos blocos são dependentes dos seus volumes.

Figura 15 - Representação de espaçamento.



Fonte: Adaptado de Brady e Brown (2005)

8.2.3 Persistência

A persistência é o termo utilizado para descrever a extensão ou tamanho de uma descontinuidade em um determinado plano. Pode ser quantificada pela observação do comprimento do traço da mesma, ao longo de uma superfície.

É definida como a extensão de uma linha irregular inserida em um plano, sendo um dos parâmetros de maior predomínio no comportamento hidráulico e mecânico do maciço. Está relacionada com os processos de desestabilização, influenciando assim os valores da permeabilidade (Hoek e Bray, 1981).

É imperativo a caracterização dos diferentes tamanhos e tipos de descontinuidades, uma vez que estas controlam os principais planos de movimentos de blocos do maciço rochoso. Seus valores são adquiridos através de medições *in situ*. Os valores da persistência são obtidos utilizando uma fita graduada, medindo o comprimento do traço da superfície das irregularidades em zonas expostas do maciço (Brady e Brown, 2005).

Por padrão, utiliza-se a classificação sugerida pela ISRM (1981) que as caracteriza em cinco classes distintas, como mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Tabela 1: Classificação de persistência.

Persistência	Comprimento
Muito pouco persistente	Menor que 1 metro
Pouco persistente	Entre 1 e 3 metros
Persistência média	Entre 3 e 10 metros
Persistência elevada	Entre 10 e 20 metros
Persistência muito elevada	Maior que 20 metros

Fonte: Adaptado, ISRM (1981).

8.2.4 Rugosidade

A rugosidade é a medida das irregularidades que ocorrem na superfície de um plano médio de descontinuidade. A rugosidade das paredes de uma descontinuidade tem potencialmente grande influência na sua resistência ao cisalhamento.

A importância da rugosidade decresce com o aumento da abertura, espessura de enchimento, ou prévios deslocamentos por cisalhamento (Brady e Brown, 2005). Pode ser quantificada em uma escala arbitrária, contudo o ISRM sugere a adoção dos termos representados na figura 16.

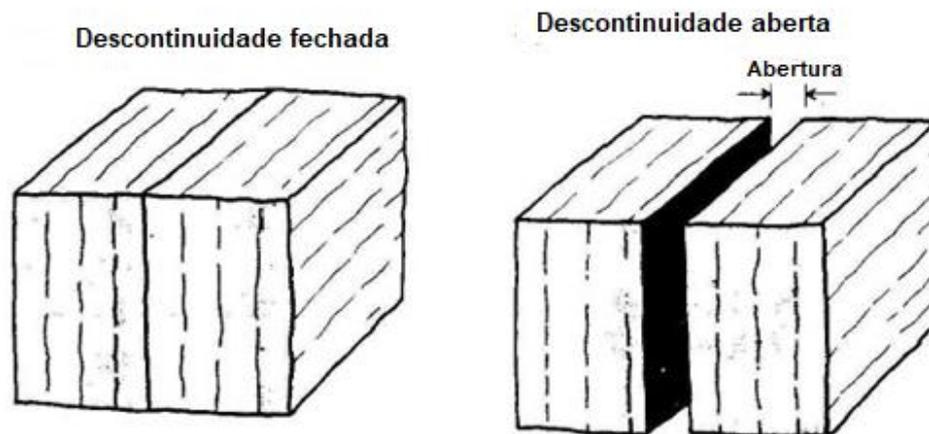


Fonte: Adaptado de Brady e Brown (2005).

8.2.5 Abertura

A abertura é a distância perpendicular que separa planos adjacentes de uma descontinuidade aberta (Figura 17), cujo espaço está preenchido por ar ou água (Brady e Brown, 2005).

Figura 17 - Exemplos de abertura.



Fonte: Adaptado de Brady e Brown (2005).

8.2.6. Preenchimento

O preenchimento é o termo usado para o material presente em planos de descontinuidade que separam as paredes laterais. Os materiais compreendem argilas, calcitas, sílica, silte, brecha e outros. Dependendo do tipo de material do preenchimento, sérios problemas de resistência podem ocorrer, afetando a estabilidade do maciço. As propriedades destes materiais de preenchimentos (mineralogia, granulometria, humidade, permeabilidade, rugosidade das paredes, espessura do preenchimento, deslocamentos prévios, alteração da rocha) influenciarão no comportamento mecânico da descontinuidade (Brady e Brown, 2005).

A figura 18 mostra um testemunho de sondagem com fraturas preenchidas por calcita.

Figura 18 - Exemplo de preenchimento em juntas.



Fonte: Autora.

8.2.7 Tilt Test

De acordo com Fiori e Carmignani (2015), o *Tilt Test* é um método simples de campo, que baseia-se em estimar parâmetros de resistência ao cisalhamento de uma fratura. O teste manual consiste na sobreposição de duas amostras com aproximadamente 20 centímetros cada uma, e posteriormente a inclinação de uma das laterais da rocha sobreposta até que a superior deslize sobre ela.

O ângulo de atrito pode ser obtido através do ângulo que é formado com a horizontal no início do movimento de deslizamento. O procedimento, representado na figura 19, foi realizado 10 vezes.

Figura 19 - Demonstração do Tilt Test para obtenção do ângulo de fricção.



Fonte: Autora.

8.3. RQD - ROCK QUALITY DESIGNATION

O RQD (Índice de Qualidade da Rocha), desenvolvido por Deere em 1967, baseia-se na quantidade de fraturas, sendo verificado por meio de testemunho de sondagem, velocidade sísmica ou coleta em afloramento.

O índice calculado a partir de testemunhos de sondagem, consiste no somatório dos fragmentos que possuem comprimento igual ou maior a 10 cm, divididos pelo comprimento total do testemunho, com diâmetro NX (54 mm).

Para as medidas em afloramento Priest e Hudson (1976, apud Brady e Brown, 2005) apresentam uma maneira de se encontrar o valor de RQD, esta se dá através da medida do espaçamento das discontinuidades em face rochosa exposta e posteriormente, como representado na equação 1, a aplicação fórmula.

Equação 1 - Cálculo do RQD.

$$RQD' = 100e^{-1\lambda} \times (0,1\lambda + 1)$$

Fonte: Adaptado, Brady e Brown (2005).

Onde:

RQD: Índice teórico de qualidade da rocha.

λ : Número de descontinuidades dividido pelo comprimento total da *scanline* em metros.

A partir do resultado obtido tem-se a classificação RQD para os maciços rochosos, proposta por Deere (1967), que varia de muito fraco até excelente (tabela 2), dependendo do valor obtido através dos cálculos.

Tabela 2 - Classificação RQD.

RQD	Classificação
0 – 25 %	Muito Fraco
25 – 50 %	Fraco
50 – 75 %	Razoável
75 – 90 %	Bom
90 – 100 %	Excelente

Fonte: Adaptado, Deere (1967).

8.4. RMR - ROCK MASS RATING

O sistema *Rock Mass Rating* (RMR), foi desenvolvido em 1973 na África do Sul pelo Prof. Z.T. Bieniawski. A vantagem do seu sistema foi que somente alguns parâmetros básicos relacionados a geometria e condições mecânicas do maciço rochoso fossem necessários.

O sistema de classificação sofreu posteriores complementações, sendo a versão de 1989 (Bieniawski, 1989) amplamente utilizada na atualidade. A versão inicial focava escavações de túneis a grande profundidade e a versão de 1989 já contemplava outras áreas de aplicação. A classificação RMR é baseada em cinco parâmetros (tabela 3) e um ajuste:

Parâmetros:

1. Resistência à compressão uniaxial;
2. Índice de qualidade da rocha (RQD);

3. Espaçamento das descontinuidades;

4. Condição das descontinuidades;

5. Condição da água subterrânea;

Ajuste:

1. Orientação das descontinuidades

Tabela 3 - Qualificação do maciço rochoso através de RMR.

Classificação de Parâmetros RMR Scanline							
Parâmetros		Range de Valores					
1	Resistência à compressão simples (MPa)	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	1 - 5	0 - 1
	Avaliação	15	12	7	4	2	1
2	RQD	90/100	75/90	50/75	25/50	<25	x
	Avaliação	20	17	13	8	3	x
3	Espaçamento (m)	> 2	0,6 - 2	0,2 - 0,6	0,06 - 0,2	<0,6	x
	Avaliação	20	15	10	8	5	x
4	Rugosidade	Muito rugosa sem abertura	Levemente rugosa abertura < 1 mm	Levemente rugosa abertura < 1 mm alterado	Lisa	Lisa e friável	x
	Avaliação	30	25	20	10	0	x
5	Presença de Água	Completamente seco	Úmido	Molhado	Gotejando	Fluindo	x
	Avaliação	15	10	7	4	0	x

Fonte: Adaptado, Bieniawski (1989).

Em cada um dos 5 parâmetros, é fornecida uma característica específica para o material, onde cada item é determinado por um valor que deverá ser somado ao parâmetro subsequente. Após o somatório dos valores referentes aos 5 parâmetros é descontado o valor do ajuste (tabela 4), e assim obtém-se o valor do RMR.

Tabela 4 - Ajuste RMR.

Orientação das descontinuidades	Obras ou empreendimentos	Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Ajuste RMR	Túneis	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	x

Fonte: Adaptado, Bieniawski (1989).

A partir do valor RMR obtido, o maciço pode ser classificado em 5 classes diferentes, como representado abaixo na tabela 5.

Tabela 5 - Tabela para classificação de maciço a partir de valores totais.

CLASSIFICAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO A PARTIR DOS VALORES TOTAIS					
VALOR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIÇÃO	Muito Boa	Boa	Razoável	Pobre	Muito Pobre

Fonte: Adaptado, Bieniawski (1989).

8.5. Análise cinemática de taludes rochosos

A análise cinemática é caracterizada graficamente através da projeção estereográfica, que pode ser definida como uma rede circular utilizada para a representação dos planos das descontinuidades. Estes planos podem ser retratados em uma rede estereográfica como polos ou vetores, e desta forma é possível definir as famílias das descontinuidades que compartimentam o talude, a partir das orientações das diversas descontinuidades medidas.

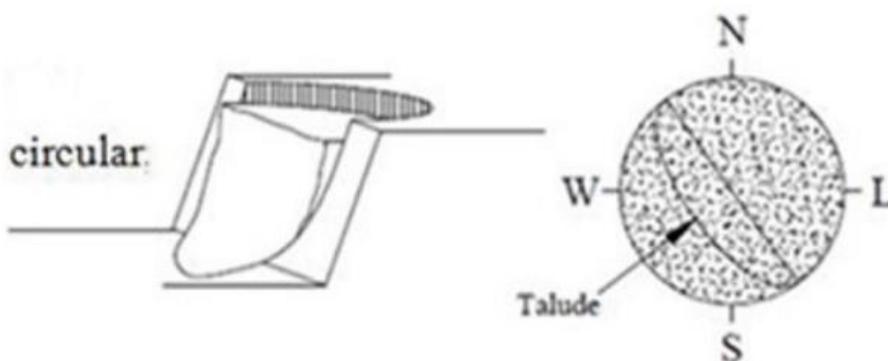
Uma família é representada através de uma nuvem de pontos, cada um representando o polo de uma descontinuidade (Fontinhas, 2012). A intersecção do plano com a superfície da esfera é um círculo maior, a reta é perpendicular ao plano que, passando pelo centro da esfera intersecta esta em dois pontos diametralmente opostos, designados por polos do plano (Carmignani & Fiori 2009).

Os tipos de rupturas são definidos de acordo com a geometria com que estas ocorrem nos maciços rochosos, desta forma estão condicionadas ao grau das fraturas e suas atitudes e distribuição das descontinuidades em relação ao talude. Assim os parâmetros de resistência das descontinuidades influenciam na

estabilidade do talude. A maneira mais simples de buscar essas informações é fazendo a medida da orientação através de uma bússola na face do talude. Realizando essa análise de distribuição das discontinuidades num maciço rochoso, pode-se verificar se existem conjuntos com orientações distintas, se estas representarem certa regularidade, pode-se assim, recorrer ao auxílio de redes de projeção estereográfica e agrupar as discontinuidades em famílias (Fontinhas 2012 apud ISRM, 1978). Essa análise ajuda na identificação de diferentes tipos de rupturas: circular, planar, cunha e tombamento.

8.5.1. Ruptura circular

Figura 20 - Representação de ruptura circular.

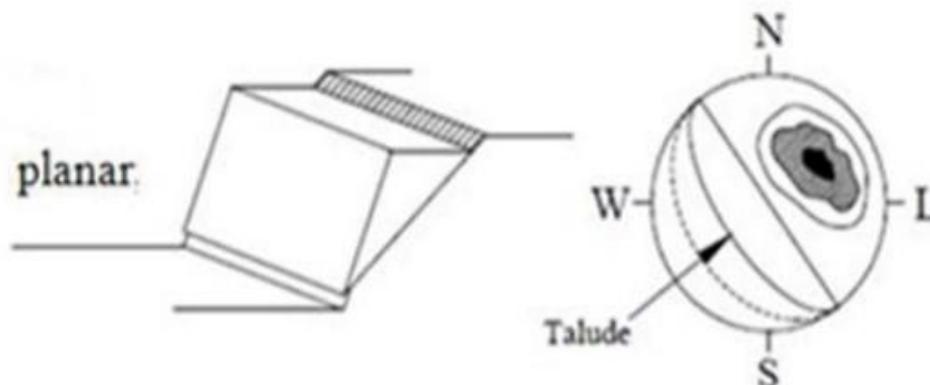


Fonte: Adaptado de Pinotti, 2015.

A ruptura circular (figura 20), pode ocorrer em maciços rochosos muito fraturados, mas é mais frequente em solos. Segundo (Fontinhas 2012 apud Hoek & Bray 1981) uma fratura pouco espaçada, com pressões intersticiais suficientemente elevadas, assim como uma meteorização intensa no caso dos maciços rochosos, pode causar este tipo de movimento. Nas rupturas circulares as superfícies de deslizamento são muitas vezes visíveis ou podem ser inferidas pela prospecção *in situ*. As dimensões destas rupturas variam muito e podem movimentar desde poucos metros de material até vários hectares de terra.

8.5.2. Ruptura planar

Figura 21 - Representação de ruptura planar.

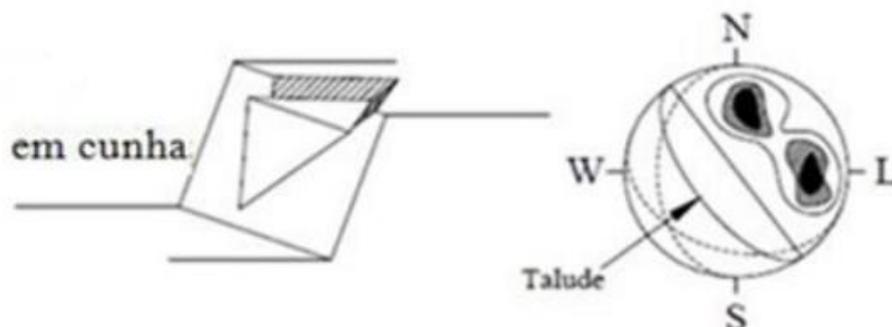


Fonte: Adaptado de Pinotti (2015).

A ruptura planar, ilustrada na figura 21, ocorre quando o *strike* do plano de deslizamento é aproximadamente paralelo à face do talude, tendo uma diferença inferior a 20° , e o ângulo de inclinação da descontinuidade ao longo do qual se dá a ruptura, deve ser menor que o ângulo da face do talude, permitindo que o material acima daquele deslize por gravidade. Este tipo de ruptura ocorre também por ação de forças como a pressão intersticial e acelerações sísmicas, sendo o volume de rocha deslocada ditado pela persistência das descontinuidades (Fontinhas, 2012). Este tipo de ruptura pode movimentar milhares de metros cúbicos de rocha numa só ruptura, mas para isto é necessário que esse bloco se destaque, tornando obrigatória a existência de descontinuidades laterais perpendiculares à face do talude para permitir assim a livre ruptura do bloco. Fiori & Carmignani (2015) dizem que para ocorrer uma ruptura planar é necessário que essas estruturas sejam aflorantes e o ângulo de inclinação do plano de deslizamento tem que ser maior que o ângulo de atrito do mesmo plano.

8.5.3. Ruptura em cunha

Figura 22 - Representação de ruptura em cunha.

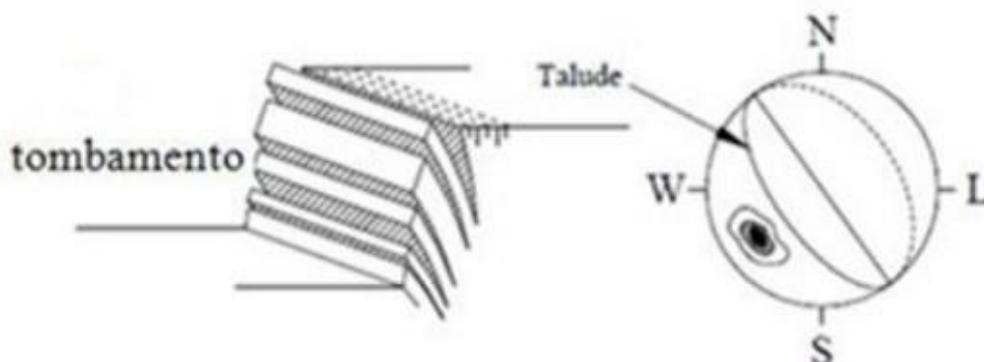


Fonte: Adaptado de Pinotti (2015).

A ruptura em cunha (figura 22), baseia-se na intersecção de dois planos de descontinuidades com direções divergentes e forma um bloco no formato de cunha. Para que este tipo de ruptura ocorra, é necessário que a linha de intersecção dos dois planos aflore na superfície do talude com um ângulo de inclinação maior que o ângulo de atrito das descontinuidades (Fiori & Carmignani 2015). É uma ocorrência de ruptura típica em maciços rochosos com várias famílias de descontinuidades, onde as atitudes, espaçamentos e persistências do maciço vão determinar a forma e volume da cunha. Uma característica deste tipo ruptura é a velocidade com que ocorrem, é extremamente rápida, e causam danos elevados, principalmente quando o bloco se desprende de alturas elevadas.

8.5.4. Tombamento

Figura 23: Representação de tombamento.



Fonte: Adaptado de Pinotti (2015).

Segundo Fontinhas (2012), o tombamento (figura 23), é resultado da rotação de colunas ou blocos de rocha sobre uma base fixa. A família de descontinuidades deve estar paralela ou subparalela à face do talude com desvio máximo de 30° entre ambos strikes. O tombamento de blocos depende da presença de planos estruturais bem definidos, como acamamento, xistosidade, falhas, juntas e outros. Esta situação pode originar também deslizamentos, se existir uma inclinação progressiva do talude sem existir colapso, o bloco pode se desprender do talude e desloca-se para frente, movimentando-se rapidamente pela face do talude, podendo fraturar-se, rolar ou deslizar. As condições mais favoráveis para ocorrer esse tipo de ruptura, é quando uma família mergulha contra a vertente e é inclinada a ângulos superiores a $(90^\circ - \phi)$, e quando mergulha a favor deverá ser inferior ao ângulo de atrito (Fiori & Carmignani 2015).

8.6. Fator de segurança

Para a análise de taludes em rocha é necessário um critério que seja capaz de representar a resistência do maciço rochoso de forma coerente.

No desenvolvimento do fator de segurança, o critério de Hoek-Brown Generalizado estabelece uma série de cálculos para análise de ruptura, determinação de coesão e ângulos de atrito interno de maciços. No critério de Hoek-Brown Generalizado é utilizado o sistema de classificação Geological Strength Index (GSI), onde os valores de cada parâmetro podem ser

determinados através da observação e caracterização do maciço pelo profissional em campo (Hoek e Marinos, 2007).

A partir de dados prévios fornecidos pela empresa responsável pela extração, foi obtido um arquivo no formato DWG do levantamento planialtimétrico da mina em questão. Adequando o arquivo ao *software* utilizado para obter o fator de segurança, foi gerado um arquivo no formato DXF para importação do perfil da cava no *software* Slide *Rocscience*. O método recorrido para calcular o fator de segurança foi o de Hoek-Brown Generalizado. Neste método, a definição dos parâmetros parte da observação e caracterização do maciço rochoso em campo.

8.7. Software Dips

De acordo com o site da *Rocscience*, empresa responsável pelo desenvolvimento do produto, o *software* Dips é um programa muito empregado na projeção estereográfica, utilizado na análise e apresentação de dados baseados em orientação. Através dele é possível determinar conjuntos de juntas e executar análises cinemáticas de estabilidade de taludes, assim como outras atividades.

O programa permite que o usuário analise e visualize dados estruturais seguindo as mesmas técnicas usadas em trabalhos manuais. Além disso, possui muitos recursos computacionais, como contorno estatístico de agrupamento de orientação, orientação média e cálculo de confiança, variabilidade de agrupamento, análise cinemática e análise qualitativa e quantitativa de atributos de recursos.

Muito utilizado para a análise de recursos relacionados à análise de engenharia de estruturas rochosas.

8.8. Software Slide

Também da empresa *Rocscience*, o Slide é o *software* mais abrangente e completo de análise de estabilidade das encostas. O Slide analisa elementos finitos, águas subterrâneas e infiltração, levantamento rápido, sensibilidade, análise probabilística e projeto de apoio. Todos os tipos de solos, rochas, encostas, aterros, barragens de terra e muros de contenção podem ser analisados.

O programa tem capacidades de análise probabilística extensas, é possível atribuir distribuições estatísticas para quase quaisquer parâmetros de entrada, incluindo as propriedades dos materiais, propriedades de apoio, cargas e localização do lençol freático. A probabilidade de falha index / fiabilidade é calculada, e fornece uma medida objetiva do risco de falha associada a um projeto de inclinação. A análise de sensibilidade permite determinar o efeito das variáveis individuais sobre o fator de segurança do talude.

9. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados de RQD, RMR, análise cinemática e o fator de segurança para a *scanline* delimitada em trabalho de campo, no respectivo talude.

9.1. RQD - ROCK QUALITY DESIGNATION

Para a análise do índice de qualidade de rocha RQD os valores foram calculados por meio da medida do espaçamento das descontinuidades em face rochosa exposta coletados em campo.

- *SCANLINE*

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda} \times (0,1\lambda + 1)$$

$$\lambda = 10/10 = 1$$

$$RQD = 99,5321\%$$

De acordo com a Classificação RQD (Deere, 1967), entre as opções, muito fraco, fraco, razoável, bom e excelente, o valor do maciço obtido acima (99, 53%), pode ser classificado com excelente.

9.2. RMR - ROCK MASS RATING

Neste capítulo será apresentada a tabela para o cálculo de RMR, baseado nos parâmetros definidos pelo método e com valores obtidos em campo.

Após a definição dos parâmetros a serem somados será fornecido o valor de classificação do maciço rochoso de acordo com a classificação (tabela 6), definida por Bieniawski, (1989).

Tabela 6: Classificação geomecânica RMR.

Classificação de Parâmetros RMR Scanline						
Parâmetros	Range de Valores					
1 Resistência à compressão simples (MPa)	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	01/mai	0-1
Avaliação	15	12	7	4	2	1
2 RQD	90/100	75/90	50/75	25/50	<25	x
Avaliação	20	17	13	8	3	x
3 Espaçamento (m)	> 2	0,6 - 2	0,2 - 0,6	0,06 - 0,2	<0,6	x
Avaliação	20	15	10	8	5	x
4 Rugosidade	Muito rugosa sem abertura	Levemente rugosa abertura < 1 mm	Levemente rugosa abertura < 1 mm alterado	Lisa	Lisa e friável	x
Avaliação	30	25	20	10	0	x
5 Presença de Água	Completamente seco	Úmido	Molhado	Gotejando	Fluindo	x
Avaliação	15	10	7	4	0	x

Fonte: Adaptado, Bieniawski (1989).

De acordo com a classificação de Bieniawski (1989), o valor RMR do maciço é de 85. Foi considerado um fator corretivo (tabela 7), referente a orientação das descontinuidades de -5 (favorável).

Tabela 7- Fator corretivo do RMR.

Orientação das descontinuidades	Obras ou empreendimentos	Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Ajuste RMR	Túneis	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	x

Fonte: Adaptado, Bieniawski (1989)

Tabela 8 - Classes dos maciços rochosos.

Valor RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	< 21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrição	Maciço rochoso muito boa qualidade	Maciço rochoso boa qualidade	Maciço rochoso qualidade	Maciço rochoso fraca qualidade	Maciço rochoso muito fraca qualidade
Ângulo de atrito do maciço	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°
Coesão do maciço KPa	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100

Fonte: Adaptado, Bieniawski (1989).

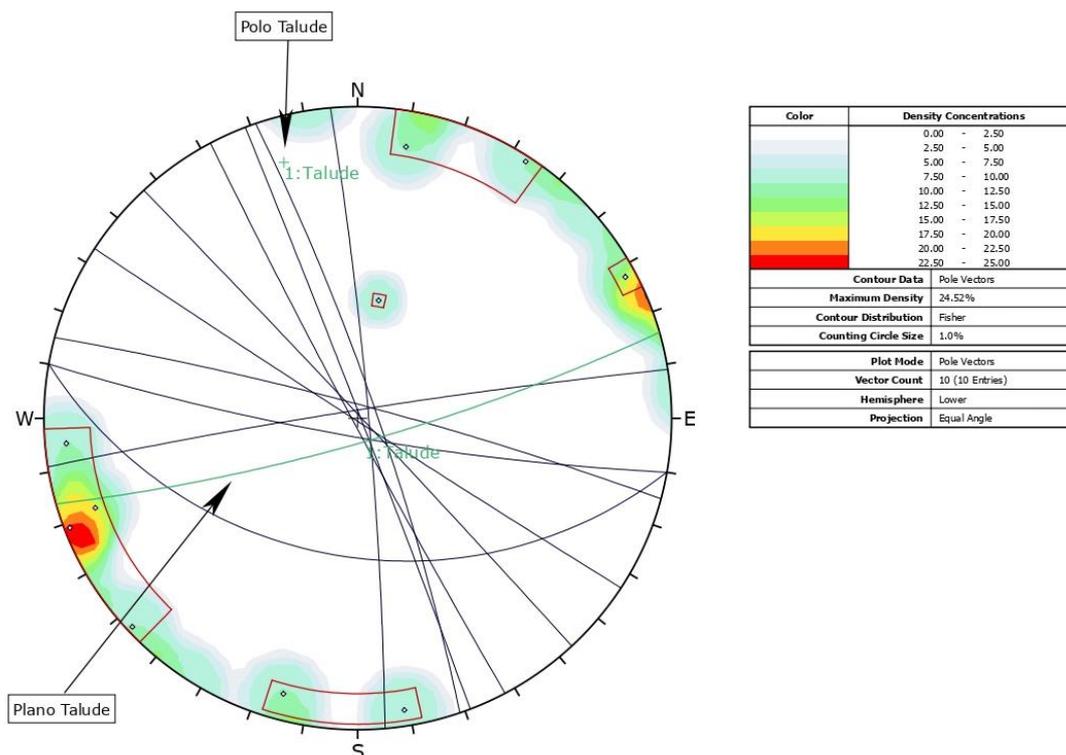
A tabela 8 mostra que o maciço rochoso se enquadra na classe I, como maciço de muito boa qualidade, apresentando ângulo de atrito > 45 graus e coesão > 400 KPa.

9.3. Análise Cinemática

Neste capítulo serão apresentadas as características geomecânicas coletadas em campo e representadas graficamente através de estereogramas e a análise cinemática de ruptura em cunha, planar e tombamento, utilizando o software *Dips Rocscience*.

Na figura 24 é possível observar o talude com orientação de strike E-W, onde foi realizada a *scanline*. Há 10 fraturas principais, divididas em três famílias. É possível observar que as fraturas apresentam-se verticalizadas com valores de inclinação próximos a 90° , que é uma característica comum em basaltos e diabásios.

Figura 24 - Esterograma representando graficamente planos e polos de fraturas e talude.

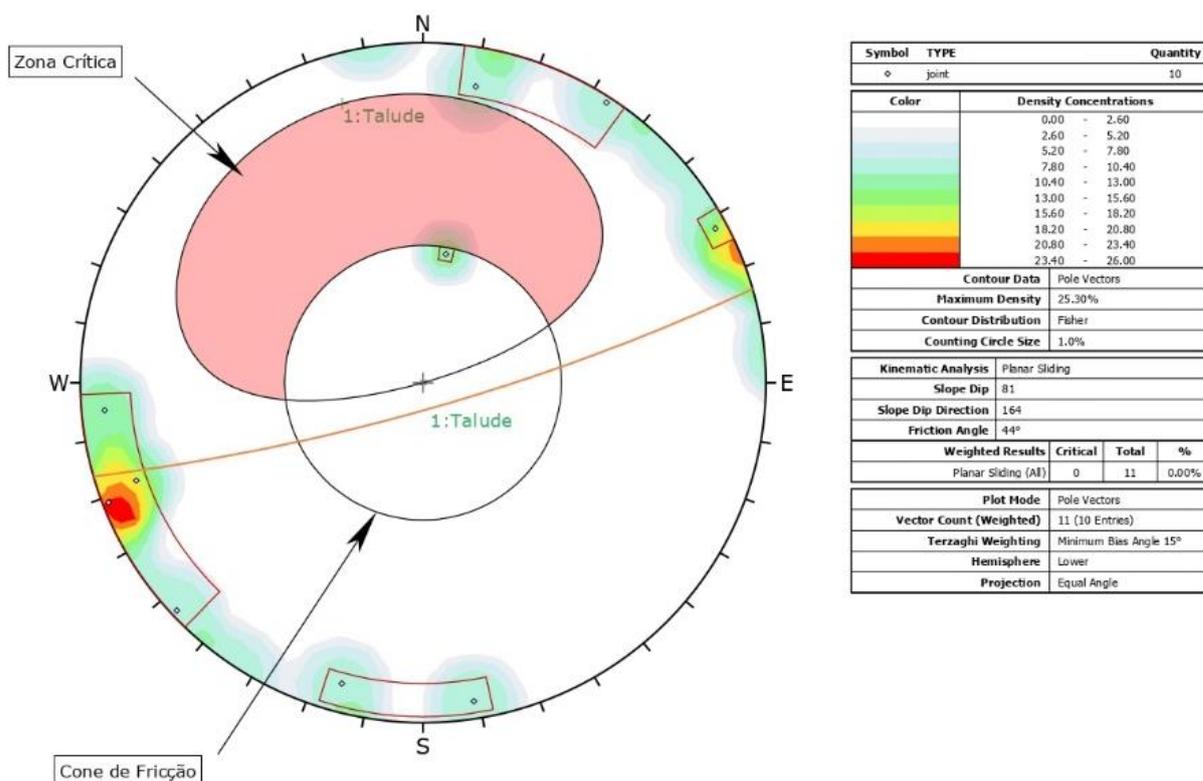


Fonte: Autora.

9.3.1. Ruptura Planar

Na análise cinemática de ruptura planar (figura 25), foi possível observar que no total de 11 planos (10 fraturas e 1 talude), nenhum dos polos se encontra na zona crítica de ruptura e é possível notar a presença de um polo dentro do cone de fricção. Sendo que, o cone de fricção gerado determina que qualquer polo que se encontre fora deste cone representa um plano com a possibilidade de deslizamento.

Figura 25- Análise cinemática de ruptura planar.

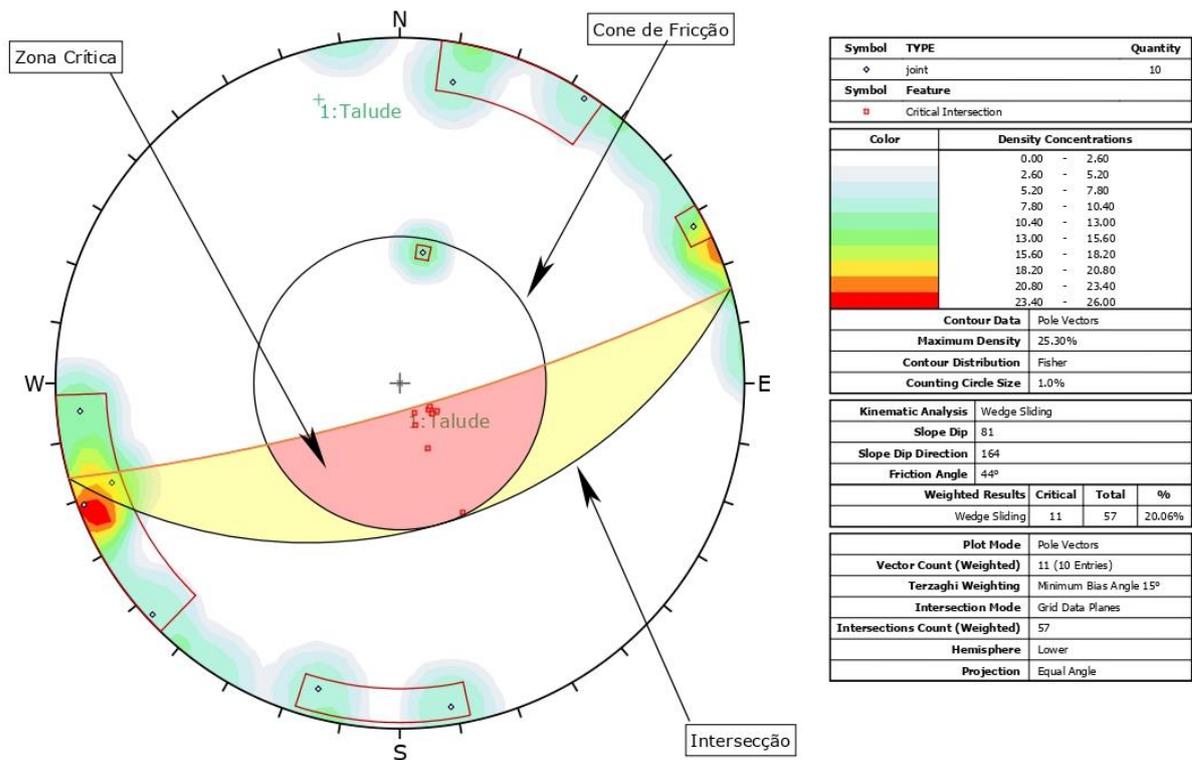


Fonte: Autora.

9.3.2. Ruptura em Cunha

Na análise cinemática de ruptura em cunha (figura 26), foi possível observar que em um total de 57 valores de intersecção de possível deslizamento em cunha, 11 destes valores se encontram dentro da zona crítica, representando 20,06% dos resultados analisados. Os valores com risco de rupturas em cunha se dão devido a verticalidade das descontinuidades e a variação dos valores de *Dip Direction*, possibilitando a intersecção de fraturas com alto ângulo.

Figura 26 - Análise cinemática de Ruptura em Cunha.

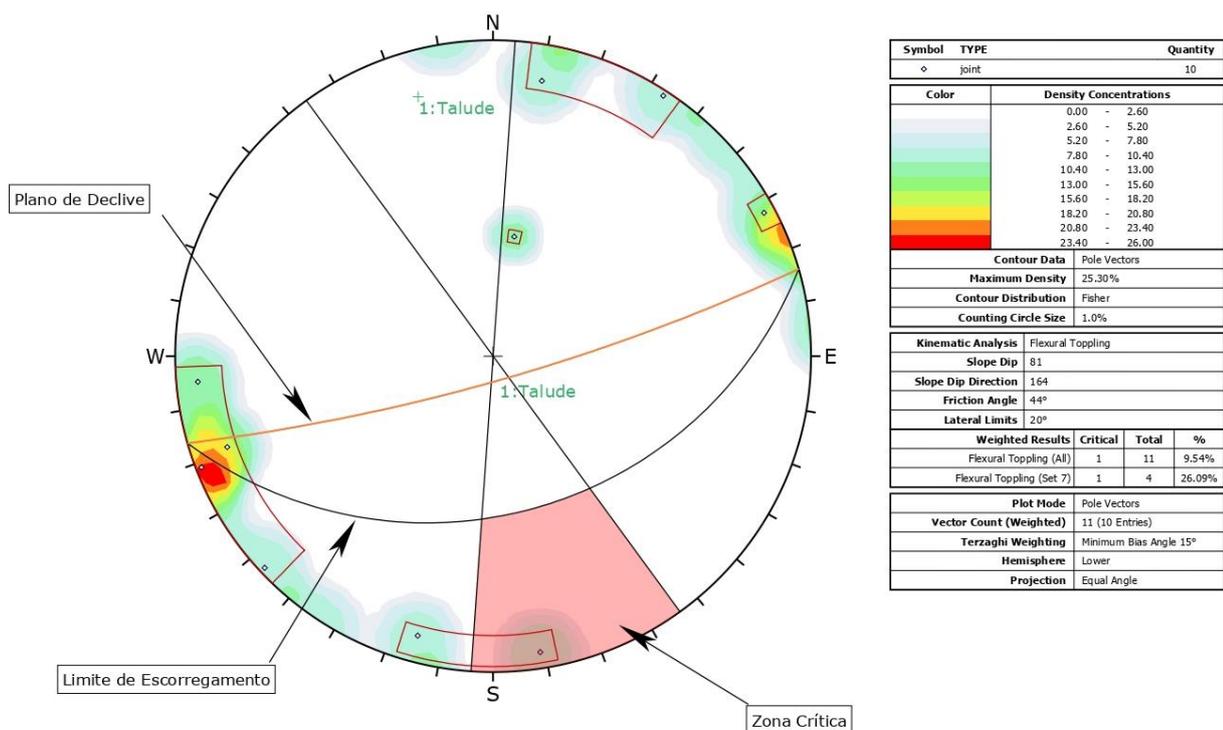


Fonte: Autora.

9.3.3. Tombamento

Na análise cinemática de tombamento (figura 27), foi possível observar que um polo se apresentou dentro da zona crítica, sendo 9,54% dos polos analisados. A baixa presença de polos passíveis de tombamento nessa análise pode ser explicada pela perpendicularidade das fraturas em relação ao strike da face do talude, impossibilitando a ocorrência de rotação de blocos sobre o talude.

Figura 27 - Análise cinemática de Tombamento.



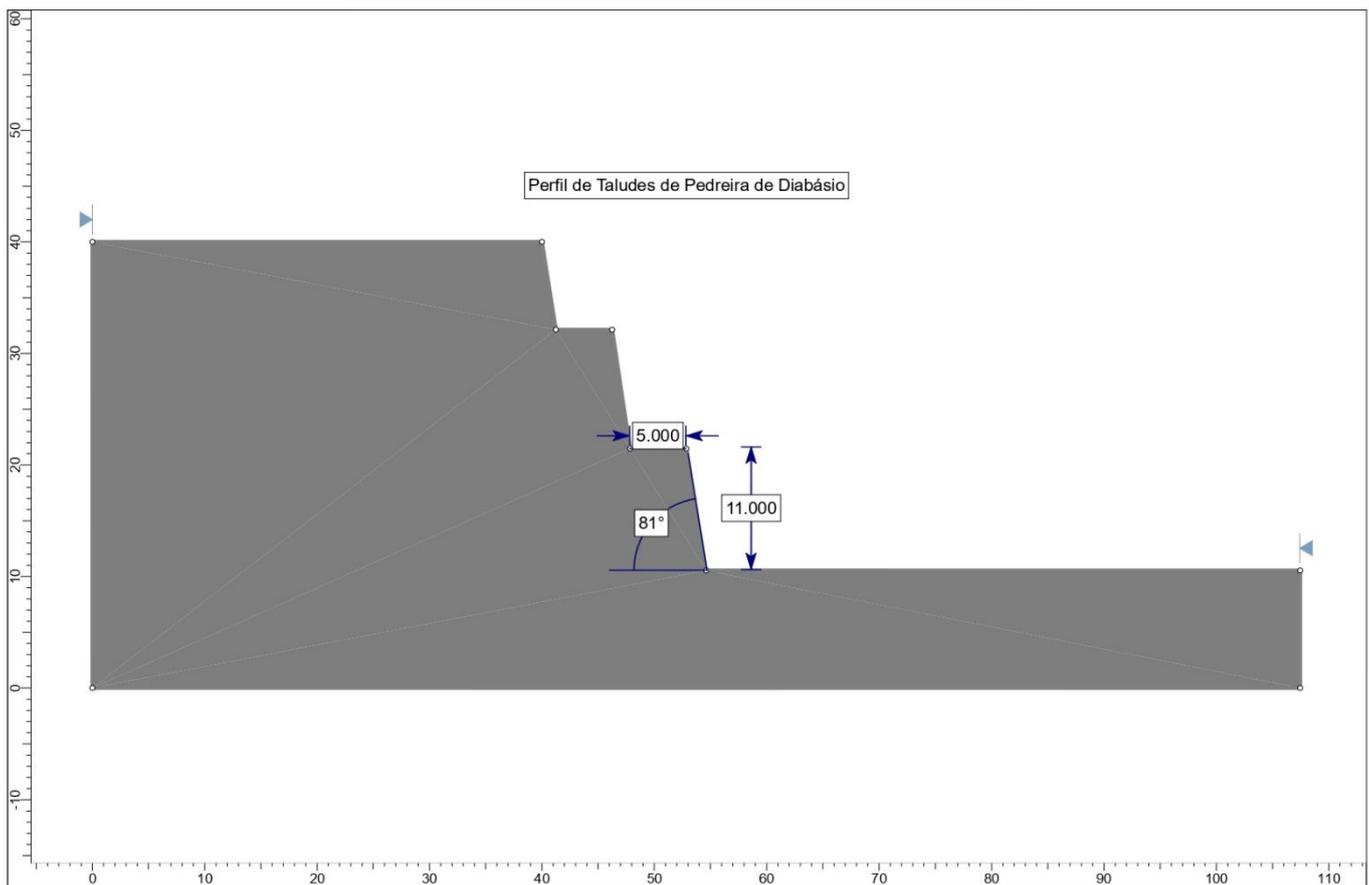
Fonte: Autora.

9.4. Fator de Segurança

Nos métodos de equilíbrio limite, os resultados da análise são geralmente apresentados em termos de um fator de segurança que indica a razão entre a resistência disponível e a resistência mobilizada. Têm-se então que o fator de segurança é a razão entre as forças estabilizantes e forças instabilizantes.

Para o presente estudo foi gerado um fator de segurança para o talude analisado em sua conformação atual com altura de 11 metros, berma com 5 metros e ângulo do talude de 81°. Estes dados foram obtidos através de levantamento planialtimétrico realizado anteriormente no empreendimento mineiro, estes disponibilizados pela empresa. Na figura 28, pode-se observar o perfil dos taludes da cava extraídos da planta planialtimétrica e importados para o software Slide.

Figura 28 - Perfil do talude estudado.



Fonte: Autora.

Na execução do fator de segurança foi utilizado o critério de Hoek-Brown generalizado, onde os parâmetros considerados são a tensão efetiva principal maior e menor, a resistência a compressão uniaxial e a constante m_i do maciço rochoso intacto.

O *software* Slide direciona a determinação dos parâmetros através do índice de resistência GSI, baseado nos estudos de Hoek e Marinos (2007).

Tabela 9 - Estimativa dos parâmetros GSI.

	INTACTA OU MACIÇA – rocha intacta ou maciça com poucas descontinuidades, largamente espaçadas	90			N/A	N/A
	FRATURADA – maciço rochoso bem intertravado não perturbado constituído por blocos cúbicos formados por três famílias de descontinuidades que se interceptam	80	70			
	MUITO FRATURADA – intertravado, maciço parcialmente perturbado com blocos angulares com várias faces formados por quatro ou mais famílias de descontinuidades		60	50		
	FRATURADA/PERTURBADA/“COSTURADA” – dobrada com blocos angulares formados por muitas famílias de descontinuidades interceptadas. Persistência de planos de acamamentos ou xistosidades			40	30	
	DESINTEGRADA – pobremente intertravada, maciço rochoso intensamente quebrado, com uma mistura de pedaços rochosos angulares e arredondados				20	
	LAMINADA/CISALHADA – ausência de blocos devido ao estreito espaçamento de xistosidades fracas ou planos de cisalhamento					10

↓
DECRÉSCIMO DO INTERTRAVAMENTO DE BLOCOS ROCHOSOS

Fonte: Adaptado, Marinós et al. (2005).

Para estimar o valor de resistência a compressão uniaxial além da classificação fornecida pelo *software* Slide (figura 29), foram realizados testes em campo com amostra (figura 30) seguindo a descrição de competência para estimar a resistência a compressão uniaxial de Brown (1981).

Figura 29 - Determinação do parâmetro de resistência a compressão uniaxial.

Grau de Resistência	Descrição	Identificação de Campo	Resistência à compressão uniaxial aproximada (MPa)
R0	Rocha extremamente branda	Pode ser endentada pela unha	0,25 - 1,0
R1	Rocha muito branda	Esmigalha-se com um golpe firme do martelo geológico, pode ser riscada pelo canivete	1,0 - 5,0
R2	Rocha branda	É riscada por canivete com dificuldade, pode ser endentada superficialmente pela ponta do martelo geológico	5,0 - 25
R3	Rocha medianamente resistente	Não pode ser riscada pelo canivete. Amostras quebram-se sob um único impacto firme do martelo geológico	25 - 50
R4	Rocha resistente	Amostras requerem mais de um golpe do martelo geológico para quebrar	50 - 100
R5	Rocha muito resistente	Amostras requerem muitos golpes firmes com o martelo geológico para quebra	100 - 250
R6	Rocha Extremamente resistente	Amostras são apenas lascadas com o martelo geológico	> 250

Fonte: Adaptado, Pires et al., (2016).

Figura 30: Teste de estimativa de resistência a compressão uniaxial realizado em campo.



Fonte: Autora.

Por fim, foi determinado o fator de perturbação D (figura 31), que depende das características específicas do tipo de desmonte, detonação ou mecânico, apresentando valores com variação de 0 a 1 para maciços não perturbados e muito perturbados, respectivamente.

Figura 31 - Orientação para definição do parâmetro D.

	<p>Desmontes por explosivos em pequena escala em taludes da engenharia civil resultam em pequenos danos ao maciço, particularmente se é utilizado desmontes controlados como mostrado na parte da esquerda da fotografia. Contudo, o alívio de tensões promove algum dano.</p>	<p>D=0,7 Desmonte bom</p> <p>D=1,0 Desmonte ruim</p>
	<p>Taludes de cavas a céu aberto muito grandes sofrem distúrbio significativo tanto por grandes desmontes por explosivos para a produção como por alívio de tensões pela remoção do capeamento. Em algumas rochas mais macias, a escavação pode ser feita por escarificação, e o grau de dano ao talude é menor.</p>	<p>D=1,0 Desmonte produtivo</p> <p>D=0,7 Escavação mecânica</p>

Fonte: Adaptado, Hoek et al. (2007).

Após a definição dos parâmetros foi calculado um fator de segurança (figura 32), através do *software* Slide. O cálculo foi realizado de forma determinística, analisando superfícies de escorregamento por meio de métodos de equilíbrio limite, em fatias verticais. O valor obtido para o fator de segurança foi de 3,152.

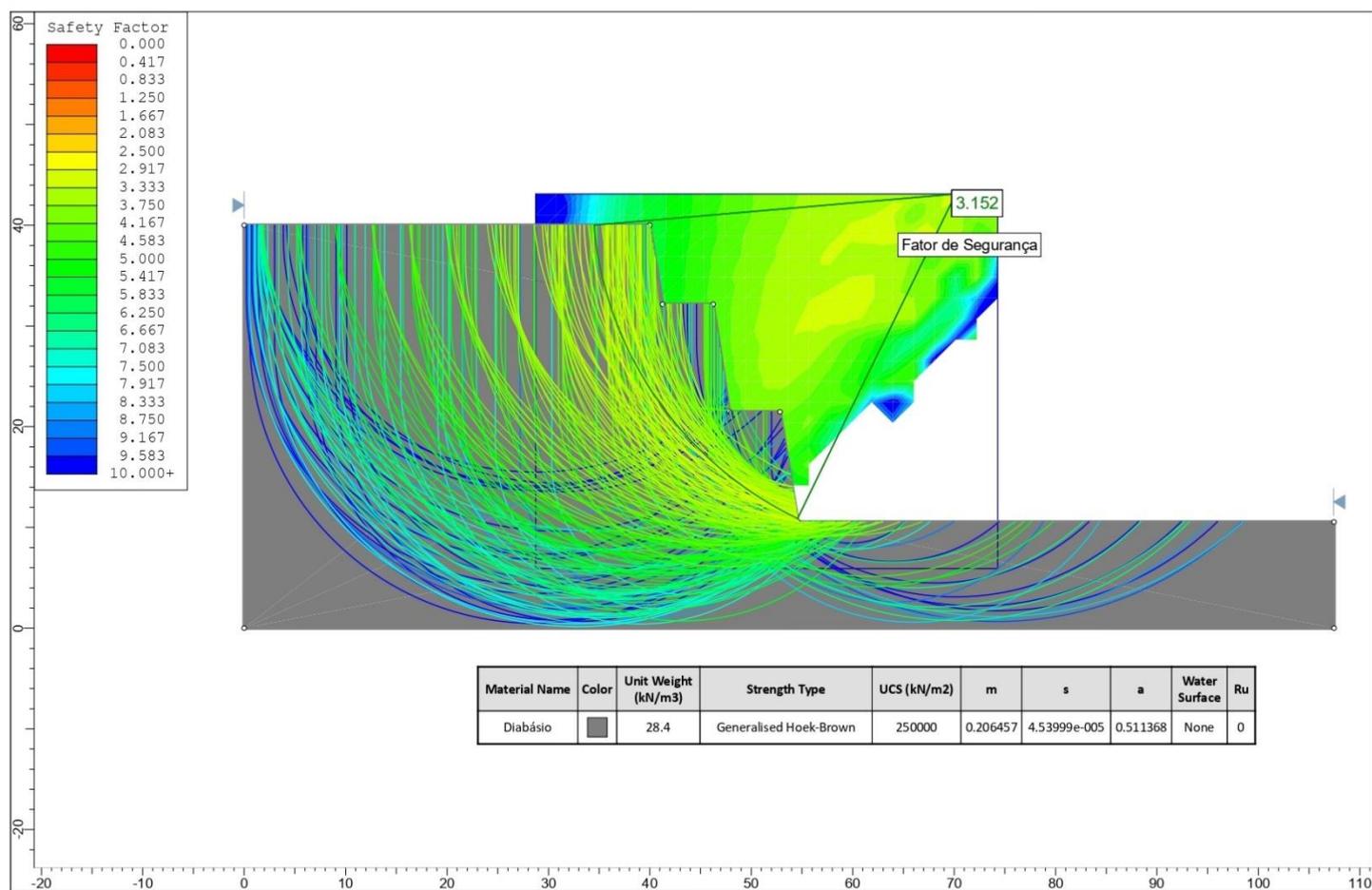
De acordo com parâmetros e índices definidos pela NBR-11682 (2009) de estabilidade de taludes, cada empreendimento necessita de um grau de segurança específico, podendo ser alto, médio e baixo. Para cada grau, é fornecido um valor mínimo de fator de segurança conforme evidenciado na tabela 8. Vale ressaltar que estes valores são meramente sugestivos, tendo em vista que não existe ainda uma norma específica para a mineração.

Tabela 10 - Grau de segurança de acordo com seu fator mínimo.

Grau de segurança	Fator de Segurança
Alto	1,5
Médio	1,4
Baixo	1,3

Fonte: Modificado de NBR- 11682 (2009).

Figura 32 - Fator de segurança calculado através do software Slide Rocscience.



Fonte: Autora.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo de uma análise com as observações e dados coletados em campo através da metodologia *Scanline*, foi possível observar que as principais descontinuidades se apresentam prioritariamente verticalizadas e perpendiculares ao strike da face do talude.

Levando em consideração que a rocha em questão é um diabásio, pode-se inferir que as fraturas principais são provenientes de resfriamento, estruturas estas definidas como disjunções colunares, não se tratando de fraturas provenientes do desmonte por explosivos, sendo estas as fraturas de menor persistência concentradas apenas nas faces próximas as linhas de fogo.

De acordo com as classificações de RMR e RQD o maciço rochoso se mostra com satisfatórios valores de classificação em relação as características geomecânicas. Vale ressaltar que os valores obtidos para ângulo de atrito através do RMR se mostram concordantes ao *Tilt Test* realizado com amostras.

Referente aos resultados de análise cinemática de estabilidade dos taludes, foi possível observar que o talude estudado não apresentou possíveis riscos para ruptura planar e tombamento devido as suas características geométricas, ou seja, as fraturas estão dispostas preferencialmente perpendiculares a face do talude. No caso de ruptura em cunha, é possível observar que ocorrem situações passíveis de ruptura devido a verticalidade constante do Dip das descontinuidades com alto valores de ângulo próximos a 90°, e variação constante no *Dip Direction*.

Para o fator de segurança obtido, com a conformação atual do talude foi possível observar o valor satisfatório de 3,152. Esse valor foi considerado satisfatório levando em conta as determinações previstas na NBR 11682 (2009) para estabilidade de taludes, que para empreendimentos com grau de segurança alto, é no mínimo 1,5.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 11682: **Estabilidade de Taludes**. Rio de Janeiro, 2009. 33p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Hidro Web: sistema de informações hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 22 abril. 2020.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989). **Engineering Rock Mass Classification: Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering**. John Wiley & Sons. New York, 251p.
- BRADY, B.H.G; BROWN, E.T. **Rock mechanics for underground mining, 3rd ed.** London: Klumer Academic Publishers. 2005.
- BROWN ET (ED) (1981) **Rock characterization, testing and monitoring—**ISRM suggested methods. Pergamon, Oxford, pp 171–183.
- CARUSO JR., F. **Mapa geológico e de recursos minerais do sudeste de Santa Catarina. (Texto explicativo e mapa em escala 1:100.000)**. Brasília: DNPM, 52p. 1995a.
- CARMIGNANI, L. & FIORI, A.P. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas. 2a edição ed.** Curitiba: Editora UFPR, 604pp. 2009.
- CPRM. **Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/> Acesso em: março. 2021.
- CHAMINÉ, H. I. & GASPAR, A. F. (1995). **Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear. Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde**. Estudos, Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., Porto,37: 97-111.
- DANTAS, M. E.; GOULART, D. R.; JACQUES, P. D.; ALMEIDA, I. S.; KREBS, A. S. J. **Geomorfologia aplicada à Gestão Integrada de Bacias de Drenagem: Bacia do Rio Araranguá (SC), Zona Carbonífera Sul-Catarinense**. Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20 a 24 de nov. 2005, João Pessoa, PB.
- DEERE, D.U. HENDRON, A.J., PATTON, F.D. E CORDING, E.J. (1967) **“Design of Surface and Near Surface Construction in Rock” In Symp. Rock Mech, Am. Inst. Min. Metall & Pet. Eng., 8, Minneapolis, Minn. Proceedings, p. 237 – 302.**

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: EMBRAPA-SPI, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

FIORI, A.P., CARMIGNANI L. (EDS). 2015. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das rochas - Aplicações na estabilidade de taludes**. São Paulo, Oficina de Textos, 576 p.

FONTINHAS, A. M. P. (2012). **Aplicação do SMR na avaliação da estabilidade de taludes de escavação em grauaques da Formação de Mértola**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica (Geotecnia). FCT-UNL, Monte da Caparica.

FREITAS, SÍLVIO B. N. **Caracterização Geomecânica e Classificações RMR (Bieniawsky) e SMR (Romana) de Maciços Rochosos em Taludes do Funchal**, Tese de Mestrado- UMA, Portugal, 2011.

GERSCOVICH, DENISE M. S. **Estabilidade de taludes**. 2ª ed. SÃO PAULO: Oficina de Textos, 2016. 192 p.

GONZÁLEZ DE VALLEJO L. I.; FERRER M; ORTUÑO L. & OTEO C. [coords.], 2002. *Ingeniería geológica* Prentice Hall, Madrid, 715 pp.

HOEK, E; BRAY, J. **Rock Slope Engineering**. 3º ed. IMM, London, 1981.

HOEK-BROWN CRITERION – 2002 edition. 5th North American Rock Mechanics Symposium. Toronto, Canada. Vol. 1, p.267-273.

HOEK, E. (2007) **Practical Rock Engineering**. Disponível em: <<https://www.rocscience.com>> Acesso em: 24 marc. 2021.

HOEK, E; MARINOS, P. **A brief history of the development of the Hoek-Brown failure criterion**. Soils and Rocks. 2007. No. 2., November.

HORBACH, R. et al. **Geologia**. In: **FOLHA SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 791p. (Levantamento de Recursos Naturais, 33) p.29-312.

INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS – ISRM. (1981). **Rock characterization. Testing and monitoring**. ISRM Suggested Methods. Ed. Brown, E. T. Commission on testing and monitoring. Pergamon Press.

INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS- ISRM. **Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses**, Int. J. Rock Mechanics Min. Sci. Geomech. Abstr., 15 (1978) 319-368.

KAUL, PEDRO F. T. **Geologia**. In: **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 2, 1990.

KREBS, A.S.J. 1997. **Avaliação do potencial hidrogeológico da área correspondente à bacia hidrográfica do rio Araranguá, SC.** Criciúma: UNESC. (Relatório inédito)

KREBS, A.S.J. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da área correspondente à bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC.** 2002. 1 v. proposta de Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

LAMAS, L. N. (1989). **Estudo da compartimentação de maciços rochosos por uma técnica de amostragem linear e dos blocos formados pelas descontinuidades. Aplicação a uma galeria do Alto Lindoso.** 3º Congresso Nacional Geotecnia, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 3: C33-C44.

LEINZ, V. **Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil.** Rio de Janeiro: DNPM, 1949. 52 p. (Boletim DFPM, n. 21).

LOITZENBAUER, ESTER E MENDES, CARLOS ANDRÉ BULHÕES. **A Faixa Terrestre da Zona Costeira e os Recursos Hídricos na Região Hidrográfica do Atlântico Sul, Brasil.** *RGC/* [online]. 2014, vol.14, n.1, pp.81-94. ISSN 1646-8872. <<http://dx.doi.org/10.5894/rgci448>>.

MARINOS V., MARINOS P., HOEK, E. (2005). **The geological strength index: applications and limitations.** Bull. Eng. Geol.Env., 64:55-65.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. **Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da PETROBRÁS,** Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82, jan./mar. 1994.

MMA (2006) – **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Sul.** 128p., Ministério do Meio Ambiente, Secretaria dos Recursos Hídricos, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 85-7738-062-9.

MORAES REGO, L.F. **A geologia do petróleo no Estado de São Paulo. B. Serv. Geol. Mineral Bras.** Rio de Janeiro: Serv. Geol. Mineral. Brasil., 1930. 110 p. (Boletim nº 46).

MÜHLMANN, H.; SCHNEIDER, R. L.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. **Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. Ponta Grossa: PETROBRÁS/DESUL,** 1974. 186 p. (Relatório DESUL, 444).

ORLANDI FILHO, V.; KREBS, A. S. J. E GIFFONI, L.E. **Coluna White, Serra do Rio do Rastro, SC.** Seção Geológica Clássica do Continente Gondwana no Brasil. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil 024.

ORTIGÃO, J. & SAYÃO, A. 2004. **Handbook of slope stabilisation**. Nova Iorque: Springer-Verlag, 2004. p. 478. ISBN 3-540-41646-3.

PEATE D.W., HAWKESWORTH C., MANTOVANI M.M.S. 1992. **Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (S. America): classification of magma types and their spatial distribution**. Bull. Volc., 55:119-139.

PRIEST, S. D.; HUDSON, J. A. (1976). **Discontinuity spacings in rock**. Journal rock mechanics, mining and geomechanics, vol. 13, 00 135-148. Pergamon Press. Great Britain

PRIEST, S.D.; HUDSON, J.A. 1981. **Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys**. Int. Journal Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr., v.18, p.183-197.

PINOTTI, ALEXANDRE & CARNEIRO, CELSO. (2015). **Geologia estrutural na previsão e contenção de queda de blocos em encostas: aplicação no Granito Santos, SP**. Terrae Didactica. 9. 132. 10.20396/td.v9i2.8637402.

PIRES, B.H.G.; VIANA, C.D.; CAMPANHA, G.A.C. (2016). **Classificação geomecânica e análise de estabilidade de taludes da mina VAU Novo (SP) com ênfase na análise de descontinuidades**. Instituto de Geociências, USP. São Paulo, 2016.

SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. Anais ... Porto Alegre : SBG , 1974. v. 1, p.41-65.

SOFTWARE DIPS ROCSCIENCE. **Rocscience**, 2021. Disponível em <<https://www.rocscience.com/software/dips>> Acesso em: 18 abr. 2021.

SOFTWARE SLIDE ROCSCIENCE. **Rocscience**, 2021. Disponível em <<https://l3software.com.br/rocscience-slide/>> Acesso em: 18 abr. 2021.

WHITE, I.C. (1908) **Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, 1988. Parte I, p.1-300; Parte II, p. 301-617. (ed. Fac-similar).

WILDNER, WILSON et al. **Faciologia da Associação Vulcano-Plutônica Taquarém, Cambriano do Escudo Sul-rio-grandense, RS - Brasil**. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v. 27, n. 1, p. 51-68, jun. 2000.