

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

GABRIEL PINHEIRO MAURICIO DOS SANTOS

AVALIAÇÃO GEOMECÂNICA EM JAZIDA DE ROCHA ORNAMENTAL

Caçapava do Sul

2023

GABRIEL PINHEIRO MAURICIO DOS SANTOS

AVALIAÇÃO GEOMECÂNICA EM JAZIDA DE ROCHA ORNAMENTAL

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.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova

Caçapava do Sul

2023

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) .

S237a Santos, Gabriel Pinheiro Mauricio dos
Avaliação geomecânica em jazida de rocha ornamental /
Gabriel Pinheiro Mauricio dos Santos.
59 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2023.
"Orientação: Diogo Peixoto Cordova".

1. Geotécnica. 2. Rocha ornamental. 3. Classificação
geomecânica. I. Título.

GABRIEL PINHEIRO MAURICIO DOS SANTOS

AVALIAÇÃO GEOMECÂNICA EM JAZIDA DE ROCHA ORNAMENTAL

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 15 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Diogo Córdova

Orientador

Universidade Federal do Pampa

Prof. Dr. José Waldomiro Jiménez Rojas

Universidade Federal do Pampa

Geólogo Bruno Nunes Machado



Assinado eletronicamente por **JOSE WALDOMIRO JIMENEZ ROJAS, Diretor(a) Campus Caçapava do Sul**, em 20/12/2023, às 09:20, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **DIOGO PEIXOTO CORDOVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/12/2023, às 16:04, 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 **1336161** e o código CRC **0B3FA095**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

RESUMO

O Brasil configura-se como um dos principais pólos de produção e exportação de rochas ornamentais no âmbito global, devido a uma vasta e singular ocorrência litológica, no entanto, o estado do Rio Grande do Sul apresenta produção limitada neste setor. O presente trabalho, pautado no potencial de desenvolvimento regional, visa desempenhar uma análise geotécnica em jazida de rocha ornamental localizada no município de Lavras do Sul, RS. O estudo compreende ao mapeamento do comportamento geomecânico da área, a partir da investigação do grau de fraturamento e análise das descontinuidades presentes no maciço rochoso através da descrição de testemunhos obtidos por furos de sondagem. Neste contexto, o trabalho fornecerá subsídios para a otimização do empreendimento, no que se refere a determinação de tamanhos de blocos, bem como a qualidade em que estes se encontram, podendo assim auxiliar a definição de áreas com maior potencial exploratório, e também a orientação da frente de lavra - já que pode ser aplicado nos estágios pré, sin e pós extração e possui baixo custo para o seu desenvolvimento. A caracterização da área de estudo será obtida através dos métodos *Rock Quality Designation* (RQD), *Rock Mass Rating* (RMR) e o Sistema Q, os quais estão entre os principais métodos de classificação de maciços rochosos, somados à integração de dados relativos ao arcabouço estrutural das rochas. Os resultados obtidos por cada método foram confrontados, a fim de minimizar potenciais inconsistências dos dados, possibilitando uma maior exatidão à interpretação do padrão geomecânico do maciço. Foi possível determinar áreas de maior potencial através do emprego dos métodos propostos, bem como perceber que a medida que há um aumento de profundidade a rocha apresenta-se menos fraturada e, conseqüentemente, blocos com maiores dimensões. Dentre as sondagens analisadas, destaca-se o furo 03 o qual demonstrou que em sua localização há maior potencial para uso ornamental em virtude do tamanho dos blocos considerados.

Palavras-Chave: rocha ornamental; geotecnia; classificação geomecânica.

ABSTRACT

Brazil is one of the main centers of production and export of ornamental rocks on a global scale, due to a vast and unique lithological occurrence. However, the state of Rio Grande do Sul has limited production in this sector. The current study, based on the potential for regional development, aims to perform a geotechnical analysis in an ornamental rock deposit located in the city of Lavras do Sul, RS. The research includes mapping the geomechanical behavior of the area by investigating the degree of fracturing and analyzing the discontinuities present in the rock mass through the description of core samples obtained from drillholes. In this context, the study will provide insights for optimizing the project, particularly in determining block sizes and assessing their quality, this information can aid in identifying areas with greater exploratory potential and guiding the mining front, as the analysis can be applied in pre-extraction, during extraction, and post-extraction stages, with a relatively low cost for its implementation. The characterization of the study area will be achieved through the Rock Quality Designation (RQD), Rock Mass Rating (RMR), and the Q System, which are among the main methods for classifying rock masses. These methods will be complemented by integrating data related to the structural framework of the rocks. The results obtained by each method were compared in order to minimize potential data inconsistencies, allowing for greater accuracy in the interpretation of the geomechanical pattern of the rock mass. It was possible to determine areas of greater potential through the application of the proposed methods, as well as to observe that as depth increases, the rock appears less fractured, and consequently, blocks with larger dimensions are present. Among the analyzed drillholes, drillhole 03 stands out, demonstrating that in its location, there is greater potential for ornamental use due to the size of the considered blocks.

Keywords: ornamental rocks; geotechnics; geomechanical classification; slope stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	17
Figura 2: Mapa geotectônico do Escudo Sul-rio-grandense.....	18
Figura 3: Diagrama de efeito escala, desde a escala de rocha intacta até a escala considerada como maciço rochoso.....	23
Figura 4: Diagrama destacando os parâmetros geomecânicos de descontinuidade.....	24
Figura 5: Perfis de rugosidade e seus respectivos coeficientes de rugosidade JRC.....	26
Figura 6: Exemplo de furo de sondagem com representação do cálculo do RQD.....	28
Figura 7: RQD vs Frequência de fraturas.....	29
Figura 8: Gráfico com correlações entre medidas de densidade de juntas.....	36
Figura 9: Pente de Barton, utilizado para medir o perfil de rugosidade das descontinuidades.....	38
Figura 10: Fluxograma da metodologia de trabalho.....	40
Figura 11: Caixas de testemunho do Furo-02.....	42
Figura 12: Caixas de testemunho do Furo-03.....	44
Figura 13: Caixas de testemunhos do Furo-05.....	48
Figura 14: Caixas de testemunhos do Furo-06.....	51
Figura 15: Mapa de detalhe da área de estudo.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do espaçamento entre as descontinuidades.....	25
Tabela 2: Classificação da persistência da descontinuidade.....	25
Tabela 3: Classificação da abertura das descontinuidades.....	26
Tabela 4: Qualidade do maciço rochoso conforme RQD.....	28
Tabela 5: Classificação do RMR segundo os parâmetros de entrada.....	30
Tabela 6: Qualidade da rocha segundo o valor do RQD.....	32
Tabela 7: Índice das famílias de juntas (Jn).....	32
Tabela 8: Índice de rugosidade (Jr).....	33
Tabela 9: Grau de alteração das descontinuidades (Ja).....	33
Tabela 10: Fator de redução de água (Jw).....	34
Tabela 11: Estado de tensão do maciço (SRF).....	34
Tabela 12: Classificação do maciço rochoso de acordo com o Sistema Q.....	35
Tabela 13: Classificação RQD, Volume e diâmetro de bloco - Furo-02.....	43
Tabela 14: Pesos atribuídos para o RMR - Furo-02.....	43
Tabela 15: Sistema Q - Furo 02.....	44
Tabela 16: Classificação RQD, Volume e diâmetro de bloco - Furo-03.....	46
Tabela 17: Pesos atribuídos para o RMR - Furo-03.....	47
Tabela 18: Sistema Q - Furo-03.....	47
Tabela 19: Classificação RQD, Volume e diâmetro de bloco - Furo-05.....	49
Tabela 20: Pesos atribuídos para o RMR - Furo-05.....	50
Tabela 21: Sistema Q - Furo-05.....	50
Tabela 22: Classificação RQD, Volume e diâmetro de bloco - Furo-06.....	52

Tabela 23: Pesos atribuídos para o RMR - Furo-06.....53

Tabela 24: Sistema Q - Furo 06.....53

LISTA DE SÍMBOLO, SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Cm - Centímetros

ESrg - Escudo Sul-rio-grandense

Ga - Bilhão de anos

HCl - Ácido clorídrico

Ja - grau de alteração das discontinuidades

Jn - Número de famílias de discontinuidades

Jr - Índice de rugosidade das discontinuidades

JRC - Coeficiente de rugosidade

Jv - Índice volumétrico

Jw - Fator de redução de água

Km - Quilômetro

Km² - Quilômetros quadrados

M - Metro

M³ - Metros cúbicos

Ma - Milhão de anos

Mm - Milímetro

Mt - Megatonelada

NNE - Nor-nordeste

NW - Noroeste

RQD - Rock Quality Designation

RMR - Rock Mass Rating

Si - Espaçamento médio

Sistema Q - Tunneling Quality Index

SRF - Estado de tensão do maciço

SSW - Sul-suldoeste

TTG - Tonalito-trondhjemito-granodiorito

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	15
3 JUSTIFICATIVA	16
4 ÁREA DE ESTUDO	17
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	17
4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	18
4.3 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL	20
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
5.1 TEORIA DOS MÉTODOS E TÉCNICAS	23
5.1.1 MACIÇO ROCHOSO	23
5.1.2 DESCONTINUIDADES	24
5.1.3 CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS	27
5.1.3.1 RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION)	27
5.1.3.2 RMR (ROCK MASS RATING)	30
5.1.3.3 SISTEMA Q	31
5.1.4 TAMANHO DE BLOCO	35
5.2 TRABALHOS ANTERIORES APLICADOS	36
6 MATERIAIS E MÉTODOS	38
6.1 ETAPA PRÉ-CAMPO	38
6.2 ETAPA DE CAMPO	38
6.3 ETAPA PÓS-CAMPO	39
7 PLANEJAMENTO	39
7.1 FLUXOGRAMA	39
8 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
8.1.1 FURO DE SONDA GEM 02	41
8.1.2 FURO DE SONDA GEM 03	44
8.1.3 FURO DE SONDA GEM 05	48
8.1.4 FURO DE SONDA GEM 06	51
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A utilização de rochas de maneira rústica para suprir as necessidades dos seres humanos é datada do período Paleolítico. Contudo credita-se o emprego de rochas para fins ornamentais ao período Neolítico, evidenciada no Templo de Gobekli Tepe, atual Turquia, este com datação de aproximadamente 12.000 anos, sendo assim a construção em rocha mais antiga que se tem registro (SCHMIDT, 2010).

Posteriormente, com o desenvolvimento tecnológico e sobretudo com a sedentarização da espécie humana, civilizações por todo o mundo passaram a utilizar de forma sistêmica, rochas para fins ornamentais - como os sumérios, egípcios e mesopotâmios, na edificação de pirâmides e monumentos artísticos (IZA, 2019).

Segundo Brandão *et al* (1995), emprega-se o termo rocha ornamental para rochas as quais são passíveis de polimento e utilização na construção civil como revestimento de piso, paredes e na confecção de pias e outros objetos assemelhados. Para tanto, consideram-se fatores estéticos, técnicos e mercadológicos para este aproveitamento.

Rocha ornamental é um material rochoso natural empregado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária, conforme definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 15012/2013.

Subdivide-se as rochas ornamentais e de revestimento em granitos - rochas silicáticas de forma geral -, e mármores - os quais são enquadrados como rochas carbonáticas, na perspectiva comercial. Também consideram-se rochas ornamentais os quartzitos, serpentinitos, travertinos, calcários e ardósias. Ainda sob o prisma mercadológico, rochas isotropas, ou seja, sem orientação preferencial dos constituintes mineralógicos são classificadas como homogêneas e utilizadas em revestimento, enquanto rochas anisotropas (marcadas pela orientação mineralógica e desenhos) denominam-se movimentada. (ABIROCHAS, 2009)

Segundo a ABIROCHAS, da década de 1920 à 2019 a produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento progrediu de 1,8 Mt/ano para 154,5 Mt. A Índia foi a maior exportadora mundial de rochas, em volume físico, enquanto a China foi a principal produtora e importadora, além de maior exportadora de rochas de processamento simples.

O Brasil, em 2019, foi o 5º produtor e exportador mundial de rochas (8,2 Mt, equivalente a 5,3% da produção global). Em 2020, a produção brasileira estimada foi de 9 Mt - 45% Granito e similares; 25% Mármore e Travertino; 16% Quartzito Maciço; 5% Ardósia; 2% Quartzito Foliado; 2% Pedra Miracema; 5% Outros.

A região sudeste contempla o maior polo nacional do setor de rochas ornamentais e de revestimento, com o estado do Espírito Santo detendo a maior produtor com 2,8 Mt, cerca de 31% do total produzido pelo país. O estado do Rio Grande do Sul produz (majoritariamente Basalto e Granito) aproximadamente 1,5%, correspondendo a 140.000 toneladas. (ABIROCHAS, 2019).

Conforme Mendes *et al* (2014), o estudo de rochas ornamentais propriamente dito efetua-se, primeiramente, a partir de aspectos geológicos, seguidamente de critérios de decisão. Isso só é possível com a utilização de duas ferramentas indispensáveis: a cartografia e o levantamento do estado de fraturamento.

A cartografia geológica fornece dados a respeito do dimensionamento e homogeneidade, enquanto o levantamento do estado de fraturamento considera o próprio levantamento *in-situ* referente ao depósito.

A compreensão da geologia regional vinculada ao posterior aumento do grau de detalhamento, valendo-se de dados a respeito do arcabouço tectônico, estrutural e dos ambientes geológicos ocorrentes, possibilita à atividade de prospecção a avaliação do potencial geológico e a elaboração de uma carta geológica voltada a exploração de rochas ornamentais. (Mendes *et al*, 2014).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho visa mapear o comportamento geomecânico de uma jazida de rocha ornamental, valendo-se de análise e descrição de testemunhos obtidos por furos de sondagem rotativa diamantada, além da investigação do grau de fraturamento do maciço rochoso com objetivo de avaliar a qualidade dos blocos existentes do ponto de vista comercial.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Neste contexto, a compreensão das descontinuidades a partir dos sistemas de classificação de maciços rochosos RQD, RMR e Sistema Q, além de estimar a qualidade da jazida em função do volume de blocos visando destacar os pontos mais promissores a serem aproveitados na jazida.

3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho busca contribuir com uma análise geotécnica de jazidas na região do pampa gaúcho, considerando a crescente consolidação do setor de rochas ornamentais no Brasil. O país é um dos principais polos produtores e exportadores do mundo, sendo assim, o trabalho se justifica considerando a possibilidade de crescimento regional - uma vez que o estado do Rio Grande do Sul possui contribuição incipiente na produção nacional de rochas ornamentais.

Neste cenário, abre-se precedente para o desenvolvimento pautado, também, em parâmetros geotécnicos, com o propósito de otimização dos custos pré, sin e pós extração, bem como na prevenção de acidentes devido a movimentação imprevista do maciço rochoso a ser analisado.

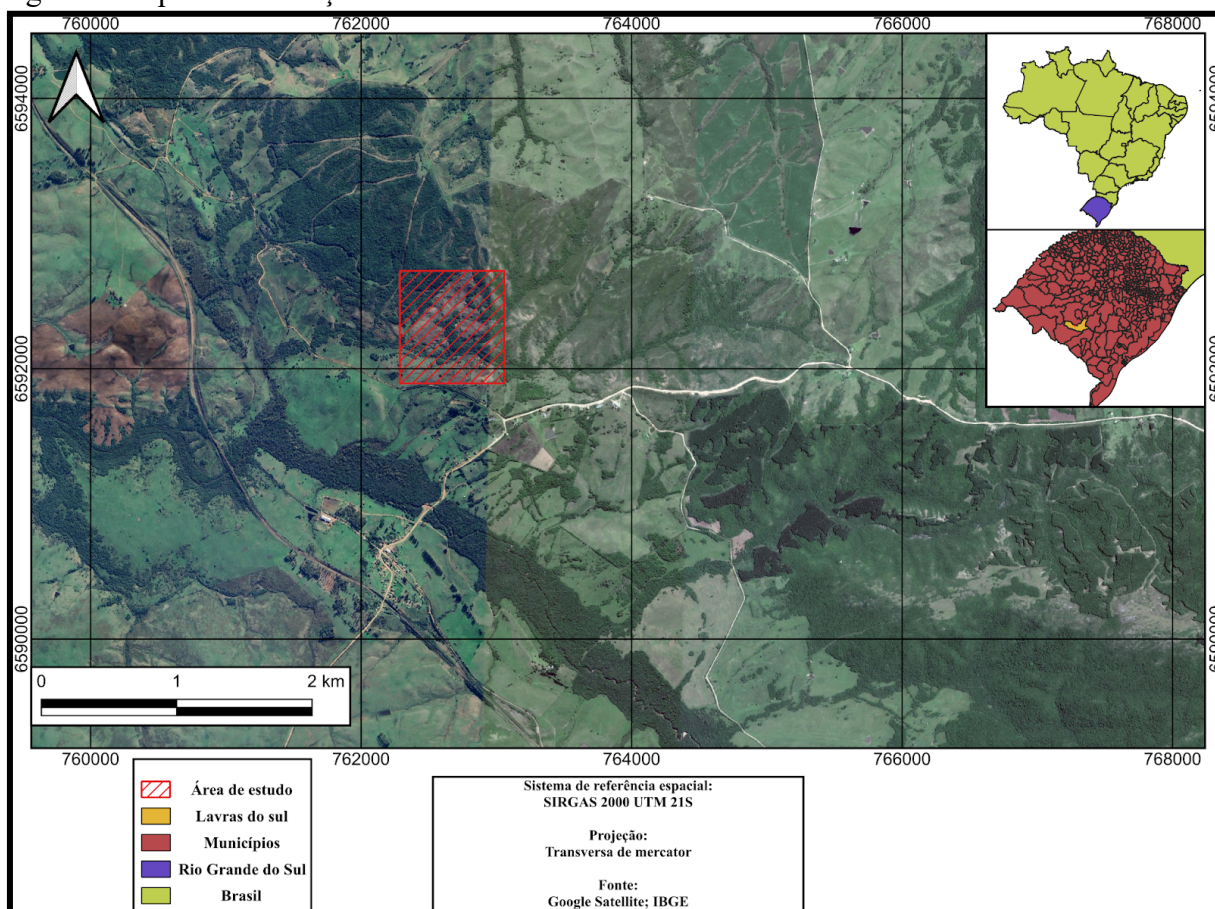
4 ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo abordará os aspectos da região onde o estudo será executado. Destacando a localização e o acesso à área, além das características geológicas tanto em escala regional quanto local.

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo localiza-se no distrito de Ibaré, município de Lavras do Sul, no estado do Rio Grande do Sul. Encontra-se a cerca de 371 km da capital Porto Alegre, a 45 km da sede municipal de Lavras do Sul e a 104 km de Caçapava do Sul. O local pode ser acessado, a partir de Porto Alegre, pela BR-290 sentido sudoeste por 242 km até a intersecção com a BR-392, onde se toma o sentido sul por aproximadamente 16 km até a intersecção com a RS-357, toma-se o sentido sudoeste por cerca de 60 km, posteriormente segue-se em estrada vicinal à oeste por cerca de 47km.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

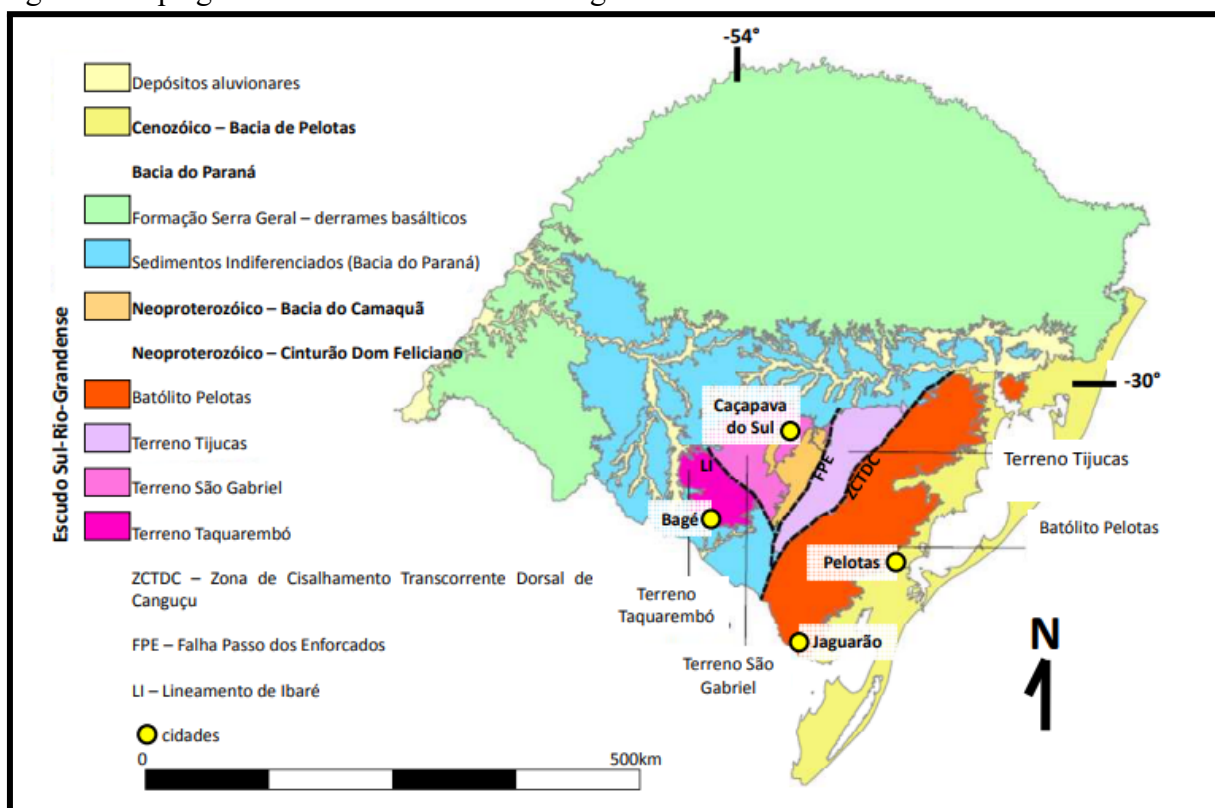


Fonte: Autor.

4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área a qual este trabalho será executado está disposta, sob o contexto geotectônico, na porção meridional da Província Mantiqueira, região denominada Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) que apresenta 65.000 km² de área (Figura 2). É constituído por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares relacionadas aos estágios pré, sin e pós colisionais do ciclo orogênico Brasileiro (900 - 535 Ma), formado no Neoproterozóico (CHEMALE JÚNIOR, 2000).

Figura 2: Mapa geotectônico do Escudo Sul-rio-grandense.



Fonte: TRAVASSOS (2014).

Hartmann *et al.* (2007) por outro lado, sustenta que a origem do Escudo Sul-Rio-grandense associa-se, também, ao ciclo Transamazônico (2,26 - 2 Ga). Subdivide-se o ESrg em quatro unidades tectono-estratigráficas:

Cráton de La Plata (Datação Paleoproterozóica):

- Terreno Taquarembó.

Cinturão Granítico-gnáissico Dom Feliciano (Datação Neoproterozóica):

- Terreno São Gabriel.
- Terreno Tijucas.
- Batólito de Pelotas.

Conforme Almeida (1969), depressões estruturais, associadas a um sistema de Bacias de

Transição, foram geradas na porção oeste do ESrg ao fim do Neoproterozóico, devido a estabilização tectônica observada posteriormente ao Ciclo Brasileiro-Pan-Africano.

A Bacia do Camaquã, segundo Paim *et al.* (2014), é resultado da superimposição de diversas bacias independentes em um mesmo *locus* deposicional entre 630 e 510 Ma. Sendo esta, uma sequência vulcano-sedimentar depositada nas fases tardi-colisionais até pós-colisionais do Ciclo Brasileiro do Cinturão Dom Feliciano. Paim *et al.* (2014), destaca que a Bacia do Camaquã é uma das mais bem preservadas do mundo, sem deformação plástica ou metamorfismo.

Compreende a uma bacia molássica com orientação NE-SW, delimitada pelos cinturões Tijuca e Dom Feliciano, a leste, onde dominam gnaisses granodioríticos a tonalíticos, rochas metavulcano-sedimentares e ultramáficas remanescentes de assoalho oceânico, entendidos como complexos de origem mantélica, correspondendo a uma zona de acreção crustal juvenil (Babinski *et al.*, 1996, *apud* Paim *et al.*, 2014). A oeste, encontra-se disposta sobre o Terreno São Gabriel e Cráton de La Plata, os quais incluem rochas paleoproterozóicas do Complexo Granulítico Santa Maria Chico (Hartmann *et al.*, 1999; Soliani *et al.*, 2000 *apud* Paim, 2014).

Conforme Fragoso Cesar *et al.* (2003), a Bacia do Camaquã é compartimentada em três sub-bacias: Camaquã Ocidental, Central e Oriental, as quais são controladas por altos do embasamento delimitados por um sistema de falha NNE-SSW ou por zonas de falhas geradas em ambiente extensional e reativadas a partir de transcorrência.

Paim *et al.* (2000), ressalta que a Bacia do Camaquã registra quatro pulsos tectono-vulcano-sedimentares consecutivos limitados por discordâncias angulares, que refletem ambientes tectônicos com assinaturas vulcânicas distintas.

Segundo Paim *et al.* (2000), a Bacia do Camaquã contém a sobreposição do registro das bacias de antepaís de retroarco Maricá, Bom Jardim (transcorrentes) Oeste e Leste, Riftes Santa Bárbara Oeste e leste e Rife Guaritas.

Constata-se uma deformação decrescente da base para o topo, onde as unidades mais antigas - Maricá e Bom Jardim - apresentam dobras moderadamente apertadas associadas a falhas transcorrentes, inversas e de empurrão, o que aponta para ambiente dúctil-rúptil em contexto compressivo ou transpressivo (PAIM *ET AL.*, 2000).

Enquanto as unidades mais recentes, Santa Bárbara e Guaritas, apresentam dobras de arraste amplas e suaves associadas a falhas transcorrentes e normais oriundas de ambiente rúptil transtraccional. Estas unidades indicam que a deposição foi controlada pelo final da tectônica transcorrente e ocorreu em ambiente continental ou até mesmo durante a aglutinação final do Gondwana Ocidental em ambiente transtraccional, em estágios finais da tectônica de escape lateral do Cinturão Dom Feliciano (PAIM *ET AL.*, 2014).

Conforme Milani e Zalán (1998) a Bacia do Paraná consiste em uma bacia intracratônica desenvolvida em crosta continental proterozóica, constituída por rochas sedimentares e vulcânicas (Ordoviciano ao Cretáceo, cerca de 385 milhões de anos), atingindo até 7.500 m de espessura. Possui formato alongado na direção NNE-SSW, com cerca de 1.750 por 900 km e área de 1.100.000 km², dispendo-se na porção meridional do Brasil, além de Argentina, Uruguai e Paraguai.

A Bacia do Paraná apresenta embasamento composto por núcleos cratônicos e cinturões móveis, este substrato possui rochas metamórficas e ígneas das províncias Mantiqueira e Tocantins (arqueano ao proterozóico), bem como rochas vulcano-sedimentares das bacias do Camaquã, Itajaí, Castro e Piranhas. (ZALÁN *ET AL.*, 1990).

Milani, (1994), descreve a bacia como seis supersequências separadas por discordâncias erosivas bem marcadas, compostas por ciclos transgressivos-regressivos - sequências Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I, respectivamente, ordoviciano-siluriano, devoniano e carbonífero-permiano - e por sedimentos continentais paleozóicos e mesozóicos das sequências Gondwana II, Gondwana III e Bauru (triássico, neojurássico-eocretáceo e cretáceo, respectivamente).

O Lineamento de Ibaré ocorre entre os Terrenos Taquarembó e São Gabriel, na porção sudoeste do ESrg. Luzardo e Fernandes (1990), consideram o lineamento como uma zona de cisalhamento rúptil-dúctil transcorrente subvertical dextral, reativada sucessivamente por eventos crustais rasos posteriores com cinemática sinistral. As reativações são evidenciadas uma vez que o lineamento afeta tanto o Complexo Metamórfico Santa Maria Chico como a Bacia do Paraná.

Ainda conforme os autores, ocorrem estruturas dobradas com eixos sub-horizontais, paralelizados progressivamente à direção do lineamento, além da presença de clivagem ardósiana paralela ao lineamento, bem como milonitos e ocorrência de lineação de estiramento em seixos alongados.

4.3 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

A região de estudo está inserida entre os Terrenos Taquarembó e São Gabriel. Conforme Wildner (2008), abrange uma Unidade Vulcano-sedimentar referente ao Complexo Metamórfico Vacacaí, limitada a norte pelo Monzogranito Santa Rita, a oeste por rochas da Formação Taciba, Grupo Itararé da Bacia do Paraná, apresenta também contato a leste com o Granito Jaguari.

Conforme Hartmann *et al.* (2007), o Terreno São Gabriel limita-se com o Terreno Taquarembó, pelo Lineamento Ibaré, e com a Bacia do Camaquã, respectivamente a sudoeste e leste. Chemale Jr (2000), cita que o Terreno São Gabriel compõe-se de associações de ambientes de retro-arco e margem passiva e ofiolitos, bem como arcos magmáticos vulcano-sedimentares e

plutônicos relativos ao orógeno São Gabriel (860-680 Ma).

O Complexo metamórfico Vacacaí é descrito por Chemale Jr *et al.*, 1995, como unidades máfico-ultramáficas justapostas à sequência de rochas supracrustais metamorizadas. Compreende a uma faixa metavulcano sedimentar relacionada ao Terreno São Gabriel, o qual pode ser interpretada como uma associação de bacia neoproterozóica com arcos juvenis do Terreno São Gabriel. Consiste em um arco vulcânico, iniciado em margem do tipo rift e gradualmente evolui para uma margem passiva.

A Unidade Vulcano-sedimentar do Complexo Metamórfico Vacacaí, conforme Wildner, 2008, compreende a xistos metamorizados na fácies xisto verde superior a anfíbolito, provenientes de metapelito, anfíbolito, grafita xisto, quartzitos, além de rochas metavulcânicas intermediárias.

De acordo com Hartmann *et al.* (2007), o Terreno Taquarembó é composto majoritariamente por associações TTGs com datação magmática de 2250 a 2350 Ma e metamorfismo transamazônico (2000 Ma) com metamorfismo em fácies granulito, além de associações máficas-ultramáficas, e também por rochas integrantes do Complexo Santa Maria Chico.

O Complexo Santa Maria Chico, de acordo com Nardi e Hartmann (1979), compreende rochas metamórficas de composição variada, inseridas no domínio tectônico Taquarembó. Situado a sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense, limitando-se a nordeste com o Cinturão Vila Nova e também com os Complexos Ibaré e Batovi, e Formações Itararé, Rio Bonito e Maricá, a oeste com Formação Acampamento Velho (rochas vulcânicas intermediárias e ácidas) e com o Monzogranito Santo Antônio, a sudoeste é sobreposto pela Bacia do Paraná.

Constitui-se de rochas isotrópicas à bandadas com foliações de alto mergulho de direção NW e dobramentos dispersos. Apresenta, predominantemente, gnaisses quartzo-feldspáticos, gnaisses básicos, ultramafitos e anortositos, além de metapelitos e mármore (NARDI & HARTMANN, 1979). Hartmann (1987), cita que intrusões de granitóides distintos de origem brasileira referentes ao Complexo Granítico Santo Afonso, Granito Dom Pedrito Suíte Intrusiva Saibro foram responsáveis pelo retrometamorfismo de menor temperatura.

O Grupo Maricá, conforme Paim *et al.* (2000), compreende à unidade mais antiga da Bacia do Camaquã, é composta por arenitos, folhelhos, siltitos e conglomerados, possui deposição representada por (da base para o topo): sistemas fluviais, sistemas deltaicos e marinhos rasos, caracterizando tendência retrogradacional. Ribeiro (1983), define geotectonicamente a unidade como uma sedimentação sobre uma borda de escudo retrabalhada. A Formação Maricá é observada em Lavras do Sul como discordância angular evidenciada em contatos, gerados por falhas normais com componentes laterais, com o embasamento metamórfico do Terreno São

Gabriel.

A Formação Taciba, pertencente ao Grupo Itararé (Supersequência Gondwana I) da Bacia do Paraná. Dispõe-se em discordância erosiva sobre o ESrg e discordância angular com a Formação São Rafael do Grupo Maricá. É composta por rochas sedimentares de origem em ambiente glacial, entre a plataforma marinha e o continente, corresponde a base da sequência sedimentar com datação permo-carbonífera, caracterizada por diamictitos e intercalações de arenito e pelitos (ZALÁN *ET AL.*, 1987).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O referente capítulo elucidará definições e conceitos essenciais relativos ao processo do estudo geotécnico, definindo parâmetros metodológicos e seus respectivos referenciais teóricos. Consecutivamente, serão expostos trabalhos anteriores aplicados compatíveis com o tema proposto.

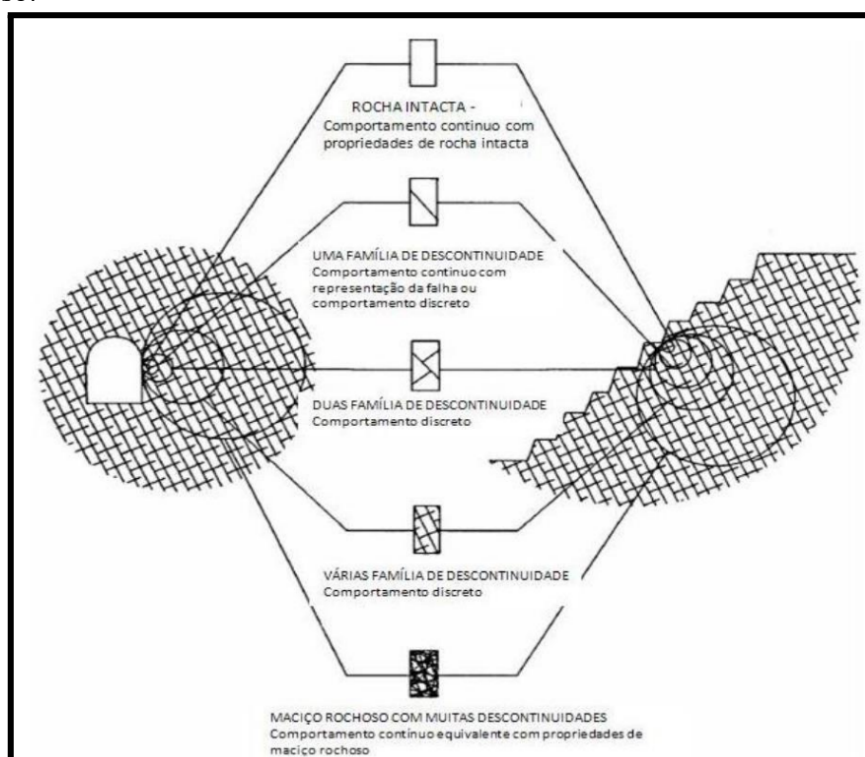
5.1 TEORIA DOS MÉTODOS E TÉCNICAS

5.1.1 MACIÇO ROCHOSO

Entende-se o maciço rochoso como constituinte de materiais sólidos consolidados compostos por minerais, leia-se rocha intacta, e das discontinuidades ocorrentes - as quais consistem em planos de fraquezas gerados pelas tensões exercidas na rocha (AZEVEDO & MARQUES, 2002).

Mesquita (2008), estabelece que o maciço rochoso possui rocha intacta ou conjuntos de blocos de rocha intacta, bem como as discontinuidades atuantes entre estas, a figura 3, apresenta o diagrama de escalas de maciço rochoso.

Figura 3: Diagrama de efeito escala, desde a escala de rocha intacta até a escala considerada como maciço rochoso.



Fonte: MODIFICADO DE HOEK (2001 *apud* SALA, 2022).

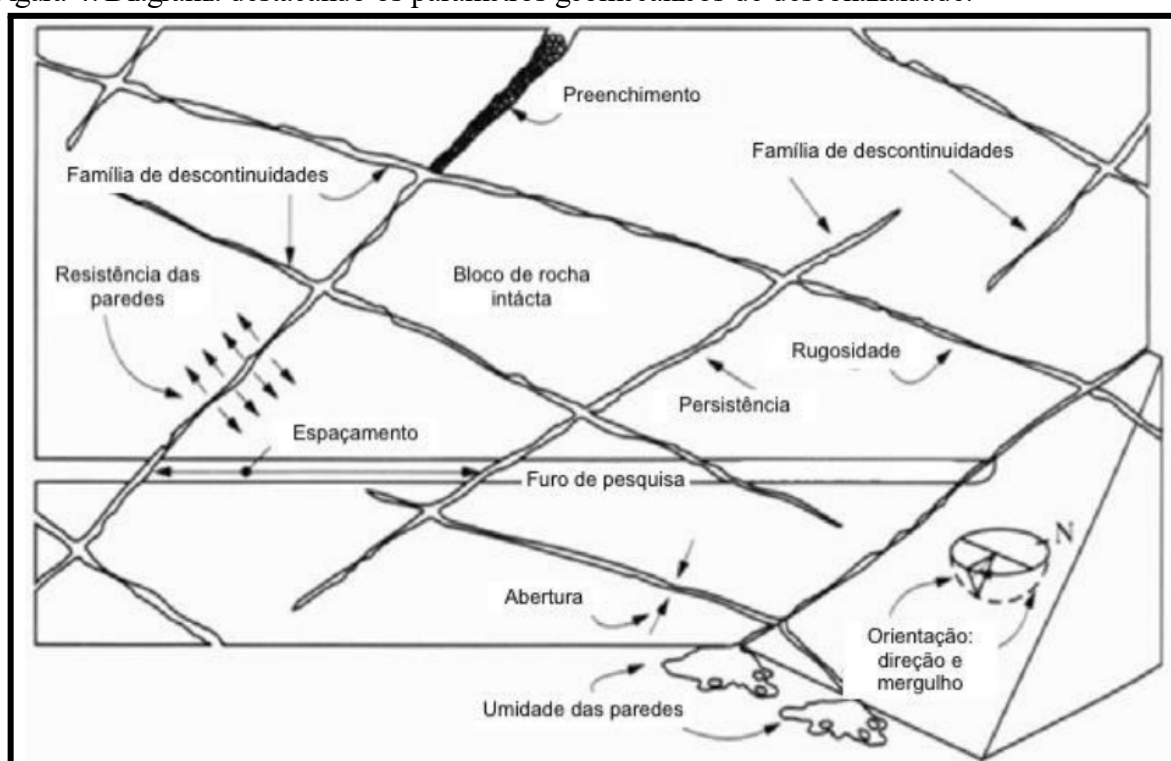
5.1.2 DESCONTINUIDADES

Conforme citado anteriormente, as discontinuidades são variáveis presentes nos maciços rochosos e, portanto devem ser minuciosamente examinadas e descritas, uma vez que estes são os planos de fraqueza dos maciços rochosos e s podem culminar em movimentos de instabilidade em blocos do maciço.

Segundo Wyllie e Mah (2004), os planos de fraqueza responsáveis pela interrupção da continuidade física do maciço rochoso são predominantemente caracterizados por falhas, onde há deslocamento de blocos, fraturamentos, onde não há deslocamento, além de outros fatores como por exemplo foliações, fissuras, juntas, ou quaisquer estruturas geológicas que obstruem a continuidade do maciço rochoso.

Fiori (2016), propõe que o comportamento de maciços fraturados é afetado de acordo com parâmetros intrínsecos, que serão discutidos em sequência, das discontinuidades como orientação, espaçamento, persistência, rugosidade, preenchimento, abertura, percolação de água e potenciais alterações causadas por tal.

Figura 4: Diagrama destacando os parâmetros geomecânicos de discontinuidade.



Fonte: ADAPTADO DE HUDSON (1989 apud LACERDA ET AL, 2019).

Neste contexto, Fiori (2016) expõe que a orientação compreende a direção e mergulho a qual encontram-se dispostas as descontinuidades e - juntamente com o espaçamento das famílias de juntas -, indica o padrão de escorregamento dos blocos e a resistência da rocha.

Segundo Fiori (2016) o espaçamento, por sua vez, consiste na distância média entre as descontinuidades da mesma família. Este parâmetro vincula-se ao potencial de permeabilidade e percolação de água no maciço rochoso, sendo assim exerce influência direta na resistência do mesmo. Um grau extremamente espaçado entre as descontinuidades, tende a tornar o maciço mais estável, já que este se comporta como rocha intacta.

Tabela 1: Classificação do espaçamento entre as descontinuidades.

DESCRIÇÃO	ESPAÇAMENTO (mm)
Extremamente próximas	< 20
Muito próximas	20 – 60
Próxima	60 – 200
Moderadamente espaçadas	200 – 600
Muito espaçadas	600 – 6000
Extremamente espaçadas	> 6000

Fonte: ADAPTADO DE ISRM (2007).

O comprimento ou área observável da descontinuidade é entendido como o parâmetro de persistência, onde a partir do qual pode ser definido a dimensão do bloco, e portanto sua superfície de deslizamento (FIORI, 2016).

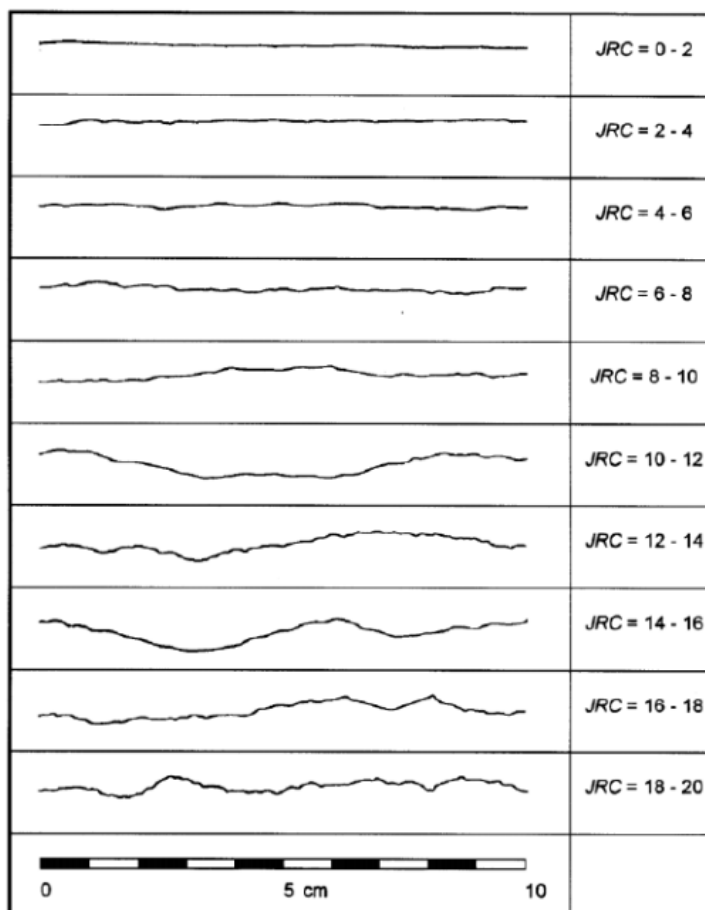
Tabela 2: Classificação da persistência da descontinuidade.

DESCRIÇÃO	PERSISTÊNCIA (m)
Muito baixa	< 1
Baixa	1 – 3
Média	3 – 10
Alta	10 – 20
Muito Alta	> 20

Fonte: MODIFICADO DE ISRM (2007).

De acordo com Fiori (2016), a rugosidade implica à descontinuidade uma resistência ao cisalhamento proporcional às irregularidades do relevo, em outras palavras consiste na textura da parede da descontinuidade.

Figura 5: Perfis de rugosidade e seus respectivos coeficientes de rugosidade JRC.



Fonte: BARTON & CHOUBEY (1977 apud PINOTTI, 2013).

Outros parâmetros fundamentais para a caracterização das discontinuidades são: a abertura que, segundo Fiori (2016), consiste no espaço entre as paredes das juntas. O grau de abertura, por sua vez, pode promover a deposição de material (minerais e/ou rochas, em granulometria variada, conforme a distância entre as paredes) classificado como preenchimento - ainda que não necessariamente possa ocorrer -, bem como a percolação de água e potenciais alterações decorrentes ou catalisadas por este fator.

Tabela 3: Classificação da abertura das discontinuidades.

DESCRIÇÃO	ABERTURA
Muito fechadas	< 0,1 mm
Fechadas	0,1 – 0,25 mm
Parcialmente abertas	0,25 – 0,5 mm
Abertas	0,5 – 2,5 mm
Cavernosas	> 1 m

Fonte: MODIFICADO DE ISRM (2007).

5.1.3 CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

Os sistemas de classificação de maciços rochosos configuram-se como ferramentas imprescindíveis ao processo de extração mineral (lavra), uma vez que oferecem dados a respeito do comportamento geomecânico da área de interesse, o que possibilita uma aproximação das condições reais do afloramento, sem que haja gastos excessivos. Conforme Bieniawski (1989), a sistematização de fatores geotécnicos em classes, a partir de análises e ensaios em campo, é decorrente da caracterização de um maciço rochoso e sua classificação segundo um ou mais sistemas de classificação.

A classificação do maciço rochoso tem como propósito a definição dos principais fatores atuantes, o agrupamento em classes do maciço as quais possuem comportamento análogo, bem como a comparação das condições da rocha *in situ* com outros locais. A classificação também fornece aspectos qualitativos e ajuda no direcionamento da lavra (BIENIAWSKI, 1989). Seguidamente serão explicitados os principais sistemas de classificação de maciços rochosos, RQD (*Rock Quality Designation*) elaborado por Deere (1963), RMR (*Rock Mass Rating*), desenvolvido por Bieniawski (1973), sistema Q (*Tunneling Quality Index*) proposto por Barton et al. (1974).

5.1.3.1 RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION)

Elaborado por Deere (1963), o sistema busca caracterizar qualitativamente o maciço rochoso, a partir de testemunhos de rochas obtidas por furos de sondagem, valendo-se da medida das porções de rocha intacta separadas por descontinuidades. O RQD consiste no somatório dos fragmentos recuperados, a partir do testemunho de sondagem que possuam mais de 10 cm de comprimento, onde o somatório das porções de rocha superiores a 10 cm será dividido pelo comprimento total do testemunho (MESQUITA, 2008). Equação 1 referente ao cálculo.

$$RQD = \frac{\sum \text{porções de rocha superiores a 10 cm}}{\text{comprimento total do testemunho}} \times 100$$

Equação 1

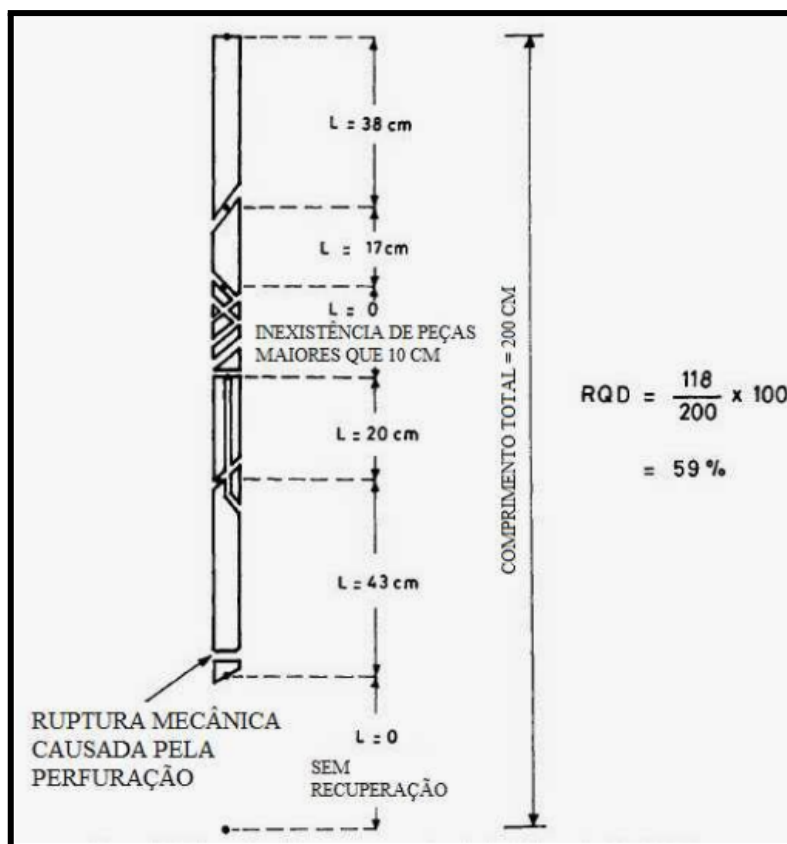
A partir do resultado da porcentagem é classificada a qualidade do maciço rochoso juntamente com a classe a qual a mesma encontra-se conforme a tabela abaixo.

Tabela 4: Qualidade do maciço rochoso conforme RQD.

CLASSE	QUALIDADE DA ROCHA	RQD (%)
I	Muito ruim	< 25
II	Ruim	25 - 50
III	Regular	50 - 75
IV	Bom	75 - 90
V	Excelente	90-100

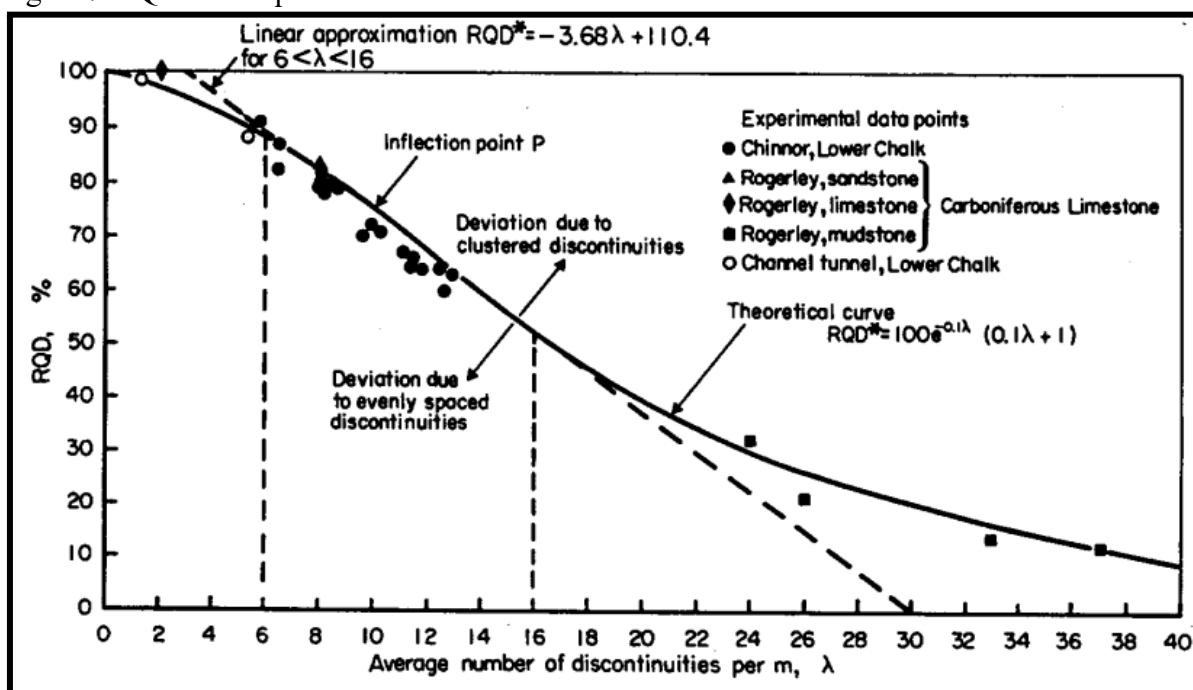
Fonte: ADAPTADO DE DEERE (1988).

Figura 6: Exemplo de furo de sondagem com representação do cálculo do RQD.



Fonte: ADAPTADO DE DEERE & DEERE (1988)

Figura 7: RQD vs Frequência de fraturas.



Fonte: PRIEST & HUDSON (1976).

O sistema RQD, de acordo com Priest & Hudson, 1976, pode ser calculado a partir do número médio de descontinuidades por metro, conforme figura 7.

O método pode ser aplicado ainda que não haja disponibilidade para a realização de furos de sondagem. Conforme Palmström (1982 apud Hoek, 2000), é aceitável estimar o valor da qualidade da rocha considerando o número de descontinuidades por unidade de volume (equação 2), contudo se faz necessário que as descontinuidades estejam visíveis em afloramento.

$$RQD = 115 - 3,3J_v \quad \text{Equação 2}$$

J_v compreende ao índice volumétrico (equação 3), ou seja, o número de descontinuidades por unidade de comprimento em um volume de 1 m^3 .

$$J_v = \sum \frac{1}{S_i} \quad \text{Equação 3}$$

S_i é o espaçamento médio da família em metros.

Conforme Hoek (2000), para a redução dos problemas relacionados à direção a utilização do J_v é validada, já que o RQD está sujeito à influência da direção e orientação da sondagem realizada.

5.1.3.2 RMR (*ROCK MASS RATING*)

Bieniawski (1989), propôs o sistema RMR (*Rock Mass Rating*). O método apresenta abordagem mais completa e maior acuracidade, sendo balizado segundo seis parâmetros principais:

- Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta;
- RQD;
- Espaçamento médio entre as descontinuidades;
- Condição das descontinuidades;
- Influência da água;
- Fator de correção segundo a orientação das descontinuidades e escavação projetada.

A classificação da qualidade do maciço é composta a partir do somatório dos pesos atribuídos aos parâmetros citados acima. Conforme Bieniawski (1989), as peculiaridades estruturais do maciço e sua heterogeneidade podem fazer com que haja a subdivisão do mesmo em porções menores.

Tabela 5: Classificação do RMR segundo os parâmetros de entrada.

A - Parâmetros de Classificação									
1	Resistência do material intacto	Índice de resistência a carga pontual (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Somente para compressão simples		
		Resistência a compressão uniaxial (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Peso			15	12	7	4	2	1	0
2	Qualidade do testemunho - RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Peso		20	17	13	8	3		
3	Espaçamento das descontinuidades		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Peso		20	15	10	8	5		
4	Condição das descontinuidades		Superfícies muito rugosas, descontinuas, fechadas, paredes duras	Superfícies pouco rugosas, abertura <1mm, paredes duras	Superfície pouco rugosa, abertura <1mm, paredes moles	Superfícies estriadas ou preenchimento < 5mm ou abertura de 1-5mm, contínuas	Preenchimento mole >5mm ou abertura > 5mm, contínuas		
	Peso		30	25	20	10	0		
5	Água Subterrânea	Infiltração em 10 m de túnel (L/min)	0	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		

	Pressão da água na fratura/tensão principal	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
	Condições gerais	seco	Umedecido	Úmido	Gotejamento	Fluxo abundante
	Peso	15	10	7	4	0
B - Ajuste para orientação das descontinuidades						
direção e mergulho das descontinuidades		Muito Favorável	Favorável	Aceitável	Desfavorável	Muito Desfavorável
Peso	Túneis	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60
C - Classe de Maciços Rochosos determinada pela somatória dos pesos						
Somatória dos Pesos		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe nº		I	II	III	IV	V
Descrição		Muito bom	Bom	Regular	Pobre	Muito Pobre
D- Significado das classes de maciços						
Classe nº		I	II	III	IV	V
Stand-up Time Médio		20 anos para abertura de 15 m	1 ano para abertura de 10 m	1 semana para abertura de 5 m	10 horas para abertura de 2,5 m	30 minutos para abertura de 1 m
Coesão da massa rochosa (kPa)		> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Ângulo de atrito (graus)		> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Fonte: MODIFICADO DE BIENIAWSKI (1989 APUD CHRISTOFOLLETTI, 2014)

5.1.3.3 SISTEMA Q

O sistema Q (*Tunnelling Quality Index*) foi desenvolvido por Barton (1974) e consiste em uma metodologia de classificação quantitativa que considera seis fatores para a caracterização do maciço rochoso, os quais serão descritos abaixo.

O índice RQD, ainda que os parâmetros de resistência da rocha e espaçamento de descontinuidades não sejam necessariamente relevantes. Considera-se, também, o número de famílias de descontinuidades (J_n), o índice de rugosidade das descontinuidades (J_r), o grau de alteração das descontinuidades (J_a), o fator de redução de água (J_w) e o estado de tensão do maciço (SRF).

A equação abaixo representa a classificação do Sistema Q, baseado nas variáveis previamente descritas, as quais organizam-se em três quocientes multiplicados entre si, onde:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Equação 4

- RQD / J_n : Reproduz a dimensão do bloco unitário e detalha a estrutura do maciço rochoso, apresentando valores entre 0,5 e 200.
- J_r / J_a : Representa o enchimento, conforme a rugosidade e grau de alteração, das descontinuidades. Caracteriza a resistência ao cisalhamento interblocos.

- J_w / SRF: Representa o estado de tensão atuante no maciço rochoso.

Tabela 6: Qualidade da rocha segundo o valor do RQD.

Descrição do Parâmetro		Valor	Notas
"Rock Quality Designation"		R.Q.D.	
A.	Muito mau	0-25	1. Quando o RQD for < 10 (incluindo 0) considera-se um valor nominal de 10 no cálculo de Q 2. Intervalos de 5 no RQD têm precisão suficiente (100, 95, 90, ...)
B.	Mau	25-50	
C.	Médio	50-75	
D.	Bom	75-90	
E.	Muito bom	90-100	

Fonte: MODIFICADO DE BARTON *ET AL.* (1974)

Tabela 7: Índice das famílias de juntas (J_n).

Descrição do Parâmetro		Valor	Notas
"Joint set number"		J_n	
A.	Nenhuma ou poucas descontinuidades presentes	0,5 - 1,0	1. Nas intersecções utilizar $3 \times J_n$ 2. Nas embocaduras utilizar $2 \times J_n$
B.	Uma família de descontinuidades	2	
C.	Uma família mais descontinuidades esparsas	3	
D.	Duas famílias de descontinuidades	4	
E.	Duas famílias mais descontinuidades esparsas	6	
F.	Três famílias de descontinuidades	9	
G.	Três famílias mais descontinuidades esparsas	12	
H.	Quatro ou mais famílias, descontinuidades esparsas, maciços muito fracturados	15	
I.	Rocha esmagada, tipo terroso	20	

Fonte: MODIFICADO DE BARTON *ET AL.* (1974)

Tabela 8: Índice de rugosidade (J_r).

Descrição do Parâmetro		Valor	Notas
"Joint roughness number"		J _r	
a) Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			1. As descrições das alíneas a) e b) referem-se a escalas de amostragem de pequena e média dimensão, respectivamente 2. Adicionar 1,0 se o espaçamento médio da família de descontinuidades mais relevante for maior que 3 m 3. J _r igual a 0,5 pode ser usado para descontinuidades polidas e planas contendo lineações, se essas lineações estiverem orientadas na direcção de menor resistência
b) Contacto entre as paredes de rocha antes de 10 cm de escorregamento			
A.	Juntas descontínuas	4	
B.	Descontinuidades rugosas, irregulares, onduladas	3	
C.	Descontinuidades suaves e onduladas	2	
D.	Descontinuidades polidas e onduladas	1,5	
E.	Descontinuidades rugosas ou irregulares, planas	1,5	
F.	Descontinuidades lisas, planas	1,0	
G.	Descontinuidades polidas, planas	0,5	
c) Não há contacto entre as paredes de rocha no escorregamento			
H.	Zona contendo minerais argilosos e suficientemente espessa de modo a impedir o contacto entre as paredes	1,0	
I.	Zonas esmagadas contendo areias de modo a impedir o contacto entre as paredes	1,0	

Fonte: MODIFICADO DE BARTON *ET AL.* (1974)

Tabela 9: Grau de alteração das descontinuidades (J_a).

Descrição do Parâmetro		Valor	
"Joint alteration number"		J _a	φ _r (°) aprox.
a) Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			
A.	Paredes duras, compactas, preenchimentos impermeáveis (quartzo ou epibolito)	0,75	-
B.	Paredes não alteradas, somente com leve descoloração	1,0	25-35
C.	Paredes ligeiramente alteradas, com partículas arenosas e rochas desintegradas não brandas	2,0	25-30
D.	Paredes com partículas siltosas ou areno-argilosas	3,0	20-25
E.	Paredes com partículas de materiais moles ou de baixo ângulo de atrito, tais como caulinite, mica, gesso, talco, clorite, grafite, etc., e pequenas quantidades de argilas expansivas	4,0	8-16
b) Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades antes de 10 cm de escorregamento			
F.	Paredes com partículas de areia e rochas desintegradas, etc	4,0	25-30
G.	Descontinuidades com preenchimento argiloso sobreconsolidado (contínuo, mas com espessura < 5 mm)	6,0	16-24
H.	Descontinuidades com preenchimento argiloso subconsolidado (contínuo, mas com espessura < 5 mm)	8,0	12-16
I.	Descontinuidades com enchimento argiloso expansivo, como por exemplo montmorilonite (contínuo, mas com espessura < 5 mm); o valor de J _a depende da percentagem de partículas de argila expansiva e do acesso da água, etc	8-12	6-12
c) Não há contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			
J.	Zonas ou bandas com rochas desintegradas ou esmagadas com argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	6,8 ou 8-12	6-24
K.	Zonas ou bandas siltosas ou areno-argilosas, com pequena fracção de argila	5,0	-
L.	Zonas contínuas de argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	10,13, 13-20	6-24

Fonte: MODIFICADO DE BARTON *ET AL.* (1974)

Tabela 10: Fator de redução de água (J_w).

Descrição do Parâmetro		Valor		Notas
"Joint water reduction"		J_w	Pressão da água aprox. (MPa)	1. Os factores nos casos C a F são estimados para condições naturais; o parâmetro J_w deverá ser aumentados caso sejam efectuadas drenagens 2. Os problemas especiais relacionados com a formação de gelo não são considerados
A.	Escavações secas ou caudal afluído pequeno, isto é < 5 l/min localmente	1,0	$< 0,1$	
B.	Caudal médio ou pressão que ocasionalmente arraste o preenchimento das descontinuidades	0,66	0,1-0,25	
C.	Caudal ou pressão elevada em rochas competentes sem preenchimento	0,5	0,25-1	
D.	Caudal ou pressão elevada, com considerável arrastamento do preenchimento das descontinuidades	0,3	0,25-1	
E.	Caudal excepcionalmente elevado ou pressão explosiva, decaindo com o tempo	0,2-0,1	> 1	
F.	Caudal excepcionalmente elevado ou pressão contínua, sem decaimento	0,1-0,05	> 1	

Fonte: MODIFICADO DE BARTON *ET AL.* (1974)

Tabela 11: Estado de tensão do maciço (SRF).

Descrição do Parâmetro		Valor	Notas	
"Stress Reduction Factor"		SRF	1. Reduzir o índice SRF de 25 a 50% se as zonas de corte influenciarem a escavação sem a atravessarem 2. No caso de maciços rochosos contendo argila, é conveniente obter o índice SRF para as cargas de descompressão. A resistência da matriz rochosa é então pouco significativa. Em maciços muito pouco fracturados e sem argila,	
a) Zonas de fraqueza intersectando as escavações, o que pode causar a descompressão do maciço rochoso durante a abertura destas				
A.	Zonas de fraqueza frequentes, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente; maciço rochoso envolvente muito descomprimido (todas as profundidades)	10,0		
B.	Zonas de fraqueza individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (profundidades da escavação ≤ 50 m)	5,0		
C.	Zonas de fraqueza individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (profundidades da escavação > 50 m)	2,5		
D.	Numerosas zonas de corte em rocha competente, sem argila; rocha envolvente descomprimida (todas as profundidades)	7,5		
E.	Zonas individuais de corte em rocha competente, sem argila (profundidades da escavação ≤ 50 m)	5,0		
F.	Zonas individuais de corte em rocha rígida, sem argila (profundidades da escavação > 50 m)	2,5		
G.	Juntas abertas, rocha muito fracturada e descomprimida (todas as profundidades)	5,0		
b) Rocha competente, problemas de tensões na rocha		σ_c / σ_1		
H.	Tensões baixas, próximo da superfície	2,5	> 200	> 13
I.	Tensões médias	1,0	200-10	13-0,66
J.	Tensões altas, estrutura rochosa muito fechada (usualmente favorável para a estabilidade; pode ser desfavorável para a estabilidade das paredes)	0,5-2,0	10-5	0,66-0,33
K.	Explosões moderadas de rochas (rocha maciça)	5-10	5-2,5	0,33-0,16
L.	Explosões intensas de rochas (rocha maciça)	10-20	$< 2,5$	$< 0,16$
c) Rocha esmagada: plastificação de rochas incompetentes sob a influência de altas pressões de rocha				
M.	Pressão moderada da rocha esmagada	5-10		
N.	Pressão elevada da rocha esmagada	10-20		
d) Rochas expansivas: actividade química expansiva devida à presença da água				
O.	Pressão de expansão moderada	5-10		
P.	Pressão de expansão elevada	10-15		

Fonte: MODIFICADO DE BARTON *ET AL.* (1974)

Tabela 12: Classificação do maciço rochoso de acordo com o Sistema Q.

CLASSE	PADRÃO GEOMECANICO DO MACIÇO	VALORES DE Q
IX	Péssimo	0,0001 – 0,01
VIII	Extremamente ruim	0,01 – 0,1
VII	Muito ruim	0,1 – 1,0
VI	Ruim	1,0 – 4,0
V	Regular	4,0 – 10,0
IV	Bom	10,0 – 40,0
III	Muito bom	40,0 – 100,0
II	Ótimo	100,0 – 400,0
I	Excelente	> 400,0

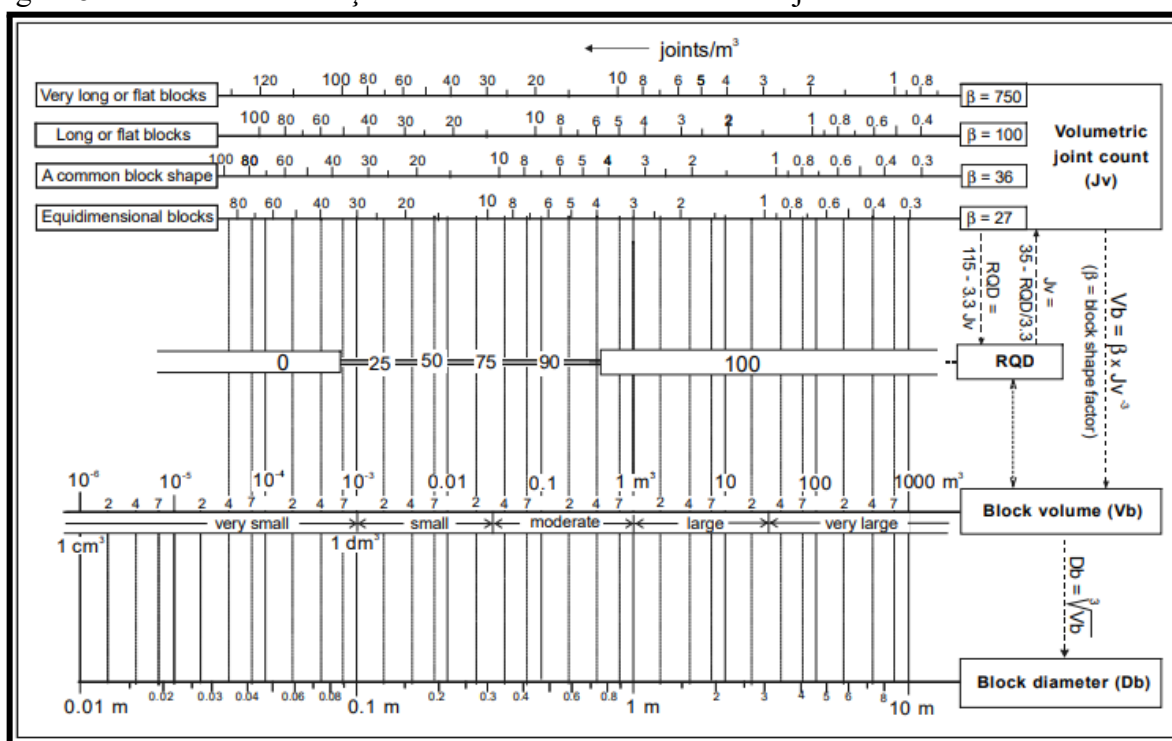
Fonte: LIMA (2012)

5.1.4 TAMANHO DE BLOCO

Conforme Palmström (2000), determina-se o tamanho ou volume de um bloco pelo grau de fraturamento ou pela densidade de juntas. As juntas ocorrem em direções específicas o que dá origem a um padrão de juntas, geralmente se apresentam de um a três conjuntos. O fraturamento relaciona-se a esta rede de juntas nos maciços entre zonas de fraqueza.

A delimitação das dimensões e formas de blocos é determinada pelo espaçamento entre as juntas, bem como pelo número de conjuntos ocorrentes. Emprega-se o termo grau de fraturamento para a quantidade de juntas em um maciço rochoso, inclui-se a densidade de juntas com medidas de volume do bloco, espaçamento e frequência das juntas, além da qualidade da rocha (RQD) (PALMSTRÖM, 2000).

Figura 8: Gráfico com correlações entre medidas de densidade de juntas.



Fonte: PALMSTRÖM (2000).

Para blocos pequenos ou fragmentos com volumes de dm³ ou menores, o volume do bloco pode ser mensurado em testemunhos de sondagem. No entanto, a testemunhagem deve ser realizada cuidadosamente, uma vez que pode afetar o grau de fraturamento medido, logo os valores de RQD serão errôneos e por consequência haverá inconsistência nas dimensões estimadas (PALMSTRÖM, 2000).

5.2 TRABALHOS ANTERIORES APLICADOS

Neste capítulo, será apresentada a revisão de trabalhos técnico-científicos previamente desenvolvidos que abordam metodologia similar às propostas contidas neste trabalho. Ressalta-se a escassez de projetos com ênfase em rochas ornamentais sob o viés da análise do comportamento geomecânico de maciços rochosos, sobretudo no Rio Grande do Sul, logo serão expostas pesquisas de outras regiões, assim como aplicadas para outros fins.

Guibu (2017) apresenta um estudo acerca da estabilidade de taludes em mina a céu aberto com exploração voltada à produção de agregados para construção civil. O trabalho, realizado na Pedreira Basalto 4, no município de Limeira-SP, analisa as propriedades do maciço rochoso e as discontinuidades ocorrentes, determinando a classificação das litologias conforme suas condições geotécnicas.

Pode-se citar também o trabalho de Oliveira (2016) que teve como foco a avaliação qualitativa e quantitativa de dados geológicos e geomecânicos referentes ao maciço rochoso da Pedreira Esperança em Vitória de Santo Antão-PE. O trabalho consiste na utilização do método *Rock Mass Rating* (RMR) para classificar e reconhecer a configuração real do afloramento estudado.

O trabalho de Cunha (2016) consiste em uma correlação entre os parâmetros geotécnicos mais utilizados em projetos de mineração, tanto por conta de sua confiabilidade, quanto pelo custo relativamente baixo na aquisição dos dados. É proposto uma discussão e, conseqüentemente, a comparação entre os métodos para avaliar maciços rochosos no âmbito da mineração, destacando as diferenças e semelhanças entre os sistemas de classificação.

Mesquita (2008) propõe a classificação geomecânica de maciços rochosos, no entanto no contexto de projetos hidrelétricos de Jirau (rio Madeira, Porto Velho-RO) e Serra do Facão (rio São Marcos, Catalão-GO) - considerando suas respectivas viabilidades -, baseado no sistema *Rock Mass Rating* (RMR) e *Rock Quality Designation* (RQD).

Martini (2018) destaca a importância da análise estrutural de maciços rochosos a partir da utilização de aerofotogrametria com novas técnicas como o VANTs. O trabalho foi realizado na região sul do município de São Gabriel-RS, em área propícia para a extração de rocha ornamental.

Jaques (2014) aborda em seu estudo a caracterização geológica-geotécnica e classificação geomecânica em profundidade da mina de Volta Grande localizada em Nazareno-MG, no intuito de avaliar a viabilidade técnica de operação de lavra subterrânea, baseando-se no Sistema RMR e no Sistema Q.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo pretende apresentar e descrever detalhadamente os materiais e procedimentos empregados neste trabalho. A metodologia abordada foi segmentada em três fases, sendo estas: Etapa Pré-Campo; Etapa de Campo e Etapa Pós-Campo.

6.1 ETAPA PRÉ-CAMPO

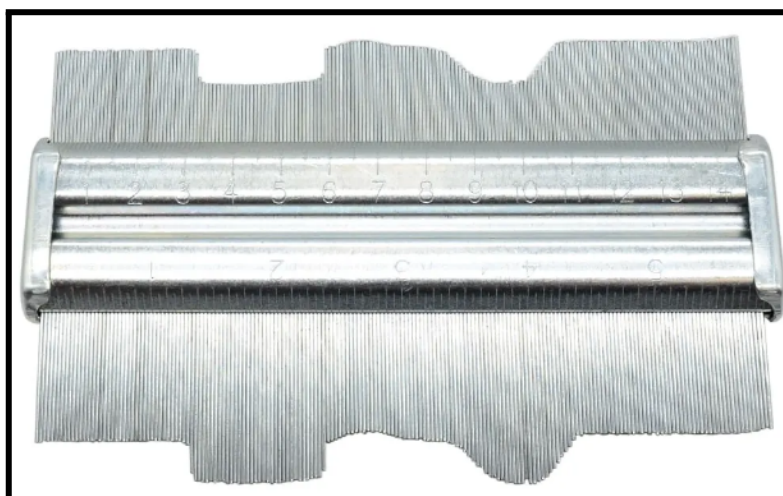
Esta fase do projeto resume-se à revisão bibliográfica dos métodos empregados, visando a explanação do referencial teórico e definição das técnicas a serem empregadas. Além disso, apurou-se dados referentes à localização da área de estudo, bem como o contexto geológico regional e local.

6.2 ETAPA DE CAMPO

A etapa refere-se ao estudo em campo propriamente dito. Encarrega-se da coleta dos dados geológico-geotécnico dos testemunhos de sondagem, os quais foram subsídio para a aplicação das técnicas e metodologias previamente descritas. Sendo as quais:

- Mapeamento e classificação das descontinuidades presentes no maciço rochoso a partir da descrição dos testemunhos de sondagem;
- Utilização do Esclerômetro de Schmidt, também conhecido como Martelo de Schmidt. O qual é responsável pela estimativa da resistência à compressão uniaxial.
- Aplicação do Perfilômetro de Rugosidade, ou Pente de Barton, desenvolvido para a perfilagem da rugosidade observada nos testemunhos.

Figura 9: Pente de Barton, utilizado para medir o perfil de rugosidade das descontinuidades.



Fonte: Geologia BR.

- Também serão empregados: martelo geológico; trena; celular (câmera fotográfica); bússola e planilha de campo.

Os testemunhos foram obtidos através do método “sondagem rotativa diamantada”, o qual é realizado a partir de um tubo (barrilete duplo giratório) com uma peça cortante em sua ponta (coroa) feita com material de alta dureza. A rocha é então perfurada por meio de rotação.

Foi empregado a Drill 01 Sonda hidráulica - 30 cv da Sondadril. Obteve-se amostras (testemunhos) com diâmetro de 41 mm.

6.3 ETAPA PÓS-CAMPO

Nesta etapa os dados coletados foram analisados, a fim de se corrigir eventuais erros, e transcritos para planilhas digitais. Posteriormente, foram geradas tabelas com os valores de RQD (*Rock Quality Designation*), RMR (*Rock Mass Rating*) e sistema Q (*Tunneling Quality Index*) de cada furo de sondagem. A partir destas tabelas os resultados foram interpretados no intuito de gerar um panorama completo relativo à estimativa de qualidade da jazida em função do volume de blocos intactos disponíveis, em seus setores.

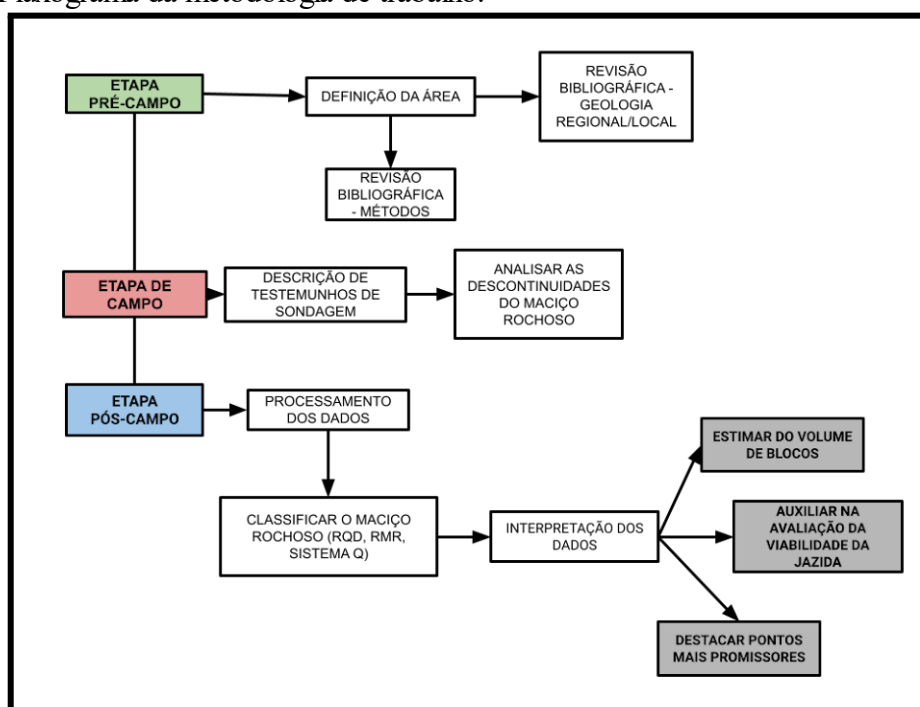
7 PLANEJAMENTO

O presente capítulo visa expor, por meio de um fluxograma (figura 16) o roteiro a ser seguido englobando todas as fases de execução deste trabalho.

7.1 FLUXOGRAMA

O fluxograma (Figura 16) demonstra, sequencialmente, de forma sistêmica todas as fases e etapas do estudo, dividindo-as entre etapas pré-campo, etapas de campo e etapas pós-campo.

Figura 10: Fluxograma da metodologia de trabalho.



Fonte: Autor.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo pretende-se discutir de forma ampla e sintetizada os resultados acerca do projeto, onde serão destacadas as respostas que foram obtidas a partir da aplicação das metodologias explicitadas previamente.

Com base na descrição de testemunho de furos de sondagem, identificou-se e analisou-se o grau de fraturamento de uma jazida de rocha ornamental, assim como foi detalhado as discontinuidades e seus parâmetros intrínsecos.

O detalhamento da área de estudo foi sistematizado segundo os principais sistemas de classificação de maciços rochosos - RQD (*Rock Quality Designation*), RMR (*Rock Mass Rating*) e sistema Q (*Tunneling Quality Index*), a partir dos quais foram adquiridos dados que permitiram definir as principais variáveis atuantes no local, além de promover a classificação do afloramento de acordo com a qualidade da rocha verificada. A utilização de diversos sistemas distintos visa traçar paralelos entre os métodos e promove uma maior acuracidade aos resultados referentes ao padrão geomecânico do maciço.

No presente estudo foram descritos um total de quatro furos de sondagens - furos 02, 03, 05 e 06, os furos 01 e 04 não se encontravam em boas condições para a realização da análise, conforme os sistemas de classificação de maciços rochosos, os quais serão expostos seguidamente.

8.1.1 FURO DE SONDAGEM 02

No furo 02 descreveu-se um total de 15 metros (de 4,3 m até 19,3 m), dispostos em três caixas de testemunhos com aproximadamente 5 metros cada, respectivamente de 4,3 a 9,3 m, 9,3m a 14,3m e de 14,3 m até 19,3 m.

Figura 11: Caixas de testemunho do Furo-02.



Fonte: Autor.

Observou-se 72 descontinuidades na primeira caixa (4,3m a 9,3m), distribuídas em um frequência média de 14,4 descontinuidades por metro. As estruturas observadas foram descritas como fratura, com preenchimento de carbonato com espessura menor que 2 mm, o fraturamento ocorre de forma planar com superfícies de rugosidade suave com contato duro entre as paredes, e em menor escala rugosa, apresenta-se levemente alterada com preenchimento de carbonato (reagente a ação de HCl) bem como superfícies levemente oxidadas. Classificou-se duas famílias de fraturas em relação ao ângulo com o eixo do furo de sondagem, uma ortogonal ao eixo e outra entre 60° a 30°.

A segunda caixa (9,3m a 14,3m) apresentou 93 descontinuidades ao decorrer dos 5 metros, evidenciando uma frequência média de 18,6 descontinuidades por metro. Observou-se estruturas do tipo fratura com forma planar a irregular, rugosidade suavemente onduladas a onduladas e contato duro a suave entre as paredes, preenchidas por carbonatos com espessura menor que 2 mm. Apresenta-se duas famílias de descontinuidades, uma ortogonal ao eixo e outra entre 60° a 30°.

Enquanto a terceira caixa(14,3 m a 19,3m) apresentou 9 descontinuidades com distribuição média de 1,8 descontinuidades por metro. As estruturas analisadas foram descritas como fratura, preenchidas com calcita e serpentina com espessuras entre 1mm a 5 mm e formas planares a

irregulares, apresentando rugosidade suavemente onduladas com contato duro entre as paredes. Observou-se apenas uma família de fratura, sendo esta ortogonal ao eixo do furo de sondagem.

Tabela 13: Classificação RQD, Volume e diâmetro de bloco - Furo-02.

Caixas F-02 (em metros)	Quantidade de fraturas	Frequência de Fraturas	RQD %	Qualidade da rocha	Classe	Volume de bloco	Diâmetro de bloco
4,3-9,3	72	14,4	55	Regular	III	8 dm ³ Pequeno	0,22 m
9,3-14,3	93	18,6	42	Ruim	II	5 dm ³ Pequeno	0,15 m
14,3-19,3	9	1,8	97	Excelente	V	0,5 m ³ Moderado-Grande	0,8 m

Fonte: Autor.

Conforme os valores obtidos de RQD, o maciço rochoso foi classificado como excelente apenas em profundidade maior que 14,3 metros, onde apresenta-se menos fraturado e com blocos estimados em 0,5 m³, considerados de tamanho moderado a grande, e regular em profundidades entre 4,3 e 9,3 metros. Apresenta-se muito fraturado em sua porção média entre 9,3 e 14,3 metros, condizente com o observado em testemunho.

Tabela 14: Pesos atribuídos para o RMR - Furo-02.

Caixas F-02 (em metros)	Resistência do material intacto	RQD	Espaçamento das descontinuidades	Condição das descontinuidades	Água subterrânea	Somatório dos pesos	Classes n°	Descrição
4,3-9,3	4	13	8	25	15	65	II	Bom
9,3-14,3	4	8	5	25	15	57	III	Regular
14,3-19,3	4	20	10	25	15	74	II	Bom

Fonte: Autor.

Observa-se, a partir da análise dos resultados obtidos com a atribuição dos pesos do sistema RMR, que há uma maior homogeneidade do maciço rochoso em relação aos resultados obtidos em RQD do mesmo furo, uma vez que este sistema considera não só a quantidade de descontinuidades presentes, mas as condições em que estas se encontram. O maciço foi classificado como bom nas caixas referentes a 4,3-9,3 metros e 14,3-19,3 metros, e regular na caixa entre 9,3 a 14,3 metros.

Tabela 15: Sistema Q - Furo 02.

Caixas F-02 (em metros)	RQD %	Índice das famílias de Juntas (Jn)	Índice de rugosidade de (Jr)	Grau de alteração das descontinuidades (Ja)	Fator de redução de água (Jw).	Estado de tensão do maciço (SRF)	Padrão geomecânico do maciço	Q	Class e
4,3-9,3	55	4	2	4	1	2,5	Ruim	2,75	VI
9,3-14,3	42	4	2	4	1	2,5	Ruim	2,1	VI
14,3-19,3	97	2	3	2	1	2,5	Bom	29,1	IV

Fonte: Autor.

O maciço apresenta padrão geomecânico ruim até a profundidade de 14,3 metros, e comportamento geomecânico considerado bom em profundidades entre 14,3 e 19,3 metros, conforme os parâmetros de classificação do sistema Q.

8.1.2 FURO DE SONDAGEM 03

No furo 03 descreveu-se um total de 26,4 metros (de 0 m até 26,4 m), dispostos em cinco caixas de testemunho, sendo estes respectivamente de 0 a 5 m, 5 m a 10 m, 10 m a 14 m, 15 m a 20 m, 20 m a 26,4 m.

Figura 12: Caixas de testemunho do Furo-03.



Fonte: Autor.

Na primeira caixa destacou-se 23 descontinuidades com uma frequência média de 4,6 descontinuidades por metro. As estruturas observadas foram descritas como fratura sem preenchimento, com padrão majoritariamente irregular, rugosa a muito rugosa e contato duro entre as paredes. Observa-se a ocorrência de três famílias de fraturas em relação ao eixo do furo de

sondagem (ortogonais, 60-30° e 30° a verticais).

A segunda caixa apresentou 15 discontinuidades dispersas em uma frequência média de 3 discontinuidades por metro. Apresenta estruturas ocorrendo como fraturas, com preenchimento de calcita e serpentina com espessuras menores que 1 mm, as fraturas ocorrem de forma irregular, com superfícies preferencialmente rugosas e contato suave a duro entre as paredes. Ocorrência de duas famílias de fraturas (ortogonais ao eixo e entre 60-30°).

Observou-se 14 discontinuidades distribuídas em uma frequência média de 3,5 discontinuidades por metro na terceira caixa. Observa-se fraturas preenchidas por calcita e serpentina com espessuras menores que 2 mm, padrão de fraturamento irregular a planar e superfícies rugosas/onduladas, apresenta três famílias de fraturas.

Foram notadas 9 discontinuidades distribuídas em uma frequência de 1,8 discontinuidades por metro na quarta caixa. Fraturamento com forma irregular, com superfícies suavemente onduladas a rugosas e contato duro entre as paredes, preenchido por calcita com espessuras menores que 1 mm. Destacam-se duas famílias de fraturas (ortogonais ao eixo e entre 60-30°).

Na quinta caixa foram consideradas 8 discontinuidades com distribuição média de 1,25 discontinuidades por metro. Fraturamento planar a irregular com superfícies rugosa a suavemente onduladas e contato duro entre as paredes, apresenta dois ângulos preferenciais de fraturamento, entre 0-30° e entre 60-30°.

Tabela 16: Classificação RQD, Volume e diâmetro de bloco - Furo-03.

Caixas F-03 (em metros)	Quantidade de fraturas	Frequência de Fraturas	RQD %	Qualidade da rocha	Classe	Volume de bloco	Diâmetro de bloco
0-5	23	4,6	90	Excelente	V	0,1 m ³ Moderado	0,5 m
5-10	15	3	95	Excelente	V	0,4 m ³ Moderado-Grande	0,7 m
10-14	14	3,5	93	Excelente	V	0,2 m ³ Moderado	0,6 m
15-20	9	1,8	97	Excelente	V	0,5 m ³ Moderado-Grande	0,8 m
20-26,4	8	1,25	99	Excelente	V	0,7 m ³ Moderado-Grande	0,9 m

Fonte: Autor.

O furo-03 apresenta qualidade de rocha excelente em todo comprimento dos testemunhos, conforme RQD. O maciço rochoso possui baixa frequência de fraturas, diminuindo gradualmente à medida que se atinge profundidades elevadas onde percebe-se, na última caixa (entre 20 e 26,4 metros) o menor valor de frequência, e, conseqüentemente a maior porcentagem em RQD. Os blocos apresentaram estimativa de volume entre 0,1 m³ a 0,7 m³, de tamanho moderado a grande.

Tabela 17: Pesos atribuídos para o RMR - Furo-03.

Caixas F-03 (em metros)	Resistência do material intacto	RQD	Espaçamento das descontinuidades	Condição das descontinuidades	Água subterrânea	Somatório dos pesos	Classes nº	Descrição
0-5	4	20	10	30	15	79	II	Bom
5-10	4	20	10	25	15	74	II	Bom
10-14	4	20	10	25	15	74	II	Bom
15-20	4	20	10	25	15	74	II	Bom
20-26,4	4	20	15	30	15	84	I	Muito Bom

Fonte: Autor.

Observa-se uma correlação entre os resultados de RQD e RMR do furo-03, onde é reforçado a qualidade da caixa de maior profundidade, entre 20 e 26,4 metros. O maciço foi classificado como bom até profundidades de 20 metros e excelente na quinta caixa .

Tabela 18: Sistema Q - Furo-03.

Caixas F-03 (em metros)	RQD %	Índice das famílias de Juntas (Jn)	Índice de rugosidade (Jr)	Grau de alteração das descontinuidades (Ja)	Fator de redução de água (Jw).	Estado de tensão do maciço (SRF)	Padrão geomecânico do maciço	Q	Classe
0-5	90	9	3	1	1	2,5	Bom	12	IV
5-10	95	4	3	2	1	2,5	Bom	14,25	IV
10-14	93	9	3	2	1	2,5	Regular	6,2	V
15-20	97	4	3	2	1	2,5	Bom	14,55	IV
20-26,4	99	4	3	2	1	2,5	Bom	14,85	IV

Fonte: Autor.

O maciço apresenta padrão geomecânico bom em todo o comprimento do furo de sondagem, exceto em profundidades entre 10 e 14 metros, onde apresenta comportamento geomecânico regular, conforme os parâmetros de classificação do sistema Q.

8.1.3 FURO DE SONDAGEM 05

No furo 05 foram descritos um total de 24,5 metros (de 2,3 m até 26,8 m), dispostos em cinco caixas com, respectivamente de 2,3 a 7,8 m, 7,8 m a 12,8 m, de 12,8 m até 17,8 m, 17,8 m até 22,8 e de 22,8 até 26,8 metros.

Figura 13: Caixas de testemunhos do Furo-05.



Fonte: Autor.

Foram percebidas 58 descontinuidades distribuídas em uma frequência média de 10,5 descontinuidades por metro na caixa um. Nota-se estruturas do tipo fratura com preenchimento de calcita e serpentina ocorrendo em espessura menor que 1 mm e também a ocorrência de fraturas limpas, o fraturamento ocorre de maneira planar a irregular, com superfícies rugosas a suavemente onduladas e contato duro a suave entre as paredes. Observam-se três famílias de fraturas em relação ao eixo vertical do furo de sondagem, sendo estas, ortogonais ao eixo, entre 60° e 30° e outra entre 30° a 0° .

Na segunda caixa foram observadas 62 descontinuidades com frequência média de 12,4 descontinuidades por metro. Fraturamento predominantemente planar com rugosidade suave (superfícies rugosas e onduladas) com contato duro a suave entre as paredes, com pouco preenchimento de calcita em espessura menor que 2 mm. Foram percebidas duas famílias de fraturas, sendo estas verticais (0° - 30°) e subverticais (30° - 60°) em relação ao eixo do furo.

A terceira caixa apresentou 78 descontinuidades ocorrendo com uma frequência média de 15,6 descontinuidades por metro. Possui fraturamento preenchido com calcita em espessuras

médias menores que 2 mm, as fraturas apresentam formas irregulares a planares com superfícies rugosas a suavemente onduladas e contato suave entre as paredes. Três famílias de fraturas foram classificadas, em especial fraturas ortogonais ao eixo do furo.

Foram notadas 19 descontinuidades distribuídas em uma frequência de 3,8 descontinuidades por metro na quarta caixa . Fraturamento com predominância de fraturas limpas, com algumas porções preenchidas por calcita em espessuras menores que 2 mm. As fraturas exibem formas planares com baixa rugosidade (suavemente onduladas). Observa-se a presença de duas famílias de fraturas, ocorrendo entre 0-30° e entre 30°-60° em relação ao eixo.

Enquanto na quinta caixa observam-se 8 descontinuidades distribuídas em uma frequência de 1,6 descontinuidades por metro. Ocorrência de fraturas majoritariamente planares, preenchidas por calcita em espessuras menores que 1 mm. O fraturamento se apresenta com rugosidade suavemente ondulada a ondulada estriada e contato duro entre as paredes. Há ocorrência de duas famílias de fraturas, sobretudo fraturas ortogonais em relação ao eixo do furo de sondagem.

Tabela 19: Classificação RQD, Volume e diâmetro de bloco - Furo-05.

Caixas F-05 (em metros)	Quantidade de fraturas	Frequência de Fraturas	RQD %	Qualidade da rocha	Classe	Volume de bloco	Diâmetro de bloco
2,3-7,8	58	10,5	74	Regular	III	20 dm ³ Pequeno	0,27 m
7,8-12,8	62	12,4	65	Regular	III	15 dm ³ Pequeno	0,25 m
12,8-17,8	78	15,6	55	Regular	III	8 dm ³ Pequeno	0,22 m
17,8-22,8	19	3,8	92	Excelente	V	0,15 m ³ Moderado	0,55 m
22,8-26,8	8	1,6	98	Excelente	V	0,6 m ³ Moderado -Grande	0,85 m

Fonte: Autor.

De acordo com os valores obtidos de RQD, o maciço rochoso foi classificado como regular até a profundidade de 17,8 metros, onde apresenta blocos com volumes pequenos, e excelente nas porções mais profundas, entre 17,8 e 26,8 metros, com blocos estimados entre 0,15 m³ e 0,6 m³, de dimensões moderadas a grandes. É perceptível a diminuição do estado de fraturamento conforme o aumento da profundidade.

Tabela 20: Pesos atribuídos para o RMR - Furo-05.

Caixas F-05 (em metros)	Resistência do material intacto	RQD	Espaçamento das descontinuidades	Condição das descontinuidades	Água subterrânea	Somatório dos pesos	Classe nº	Descrição
2,3-7,8	4	13	8	30	15	70	II	Bom
7,8-12,8	4	13	8	25	15	65	II	Bom
12,8-17,8	4	13	8	30	15	70	II	Bom
17,8-22,8	4	20	10	25	15	74	II	Bom
22,8-26,8	4	20	15	25	15	79	II	Bom

Fonte: Autor.

A partir do somatório dos pesos atribuídos aos parâmetros, constata-se que o maciço rochoso foi classificado como bom em todo o comprimento do furo de sondagem, apesar da grande quantidade de descontinuidades observadas, a condição em que estas se encontram (leia-se superfícies mais ou menos rugosas) suavizou potenciais resultados mais heterogêneos.

Tabela 21: Sistema Q - Furo-05.

Caixas F-05 (em metros)	RQD %	Índice das famílias de Juntas (Jn)	Índice de rugosidade de (Jr)	Grau de alteração das descontinuidades (Ja)	Fator de redução de água (Jw).	Estado de tensão do maciço (SRF)	Padrão geomecânico do maciço	Q	Classe
2,3-7,8	74	9	3	4	1	2,5	Ruim	2,46	VI
7,8-12,8	65	4	3	2	1	2,5	Regular	9,75	V
12,8-17,8	55	9	3	4	1	2,5	Ruim	1,8	VI
17,8-22,8	92	4	2	4	1	2,5	Regular	4,6	V
22,8-26,8	98	4	3	4	1	2,5	Regular	7,35	V

Fonte: Autor.

O furo-05 aponta para um padrão geomecânico ruim nas caixas de profundidade de 2,3 a 7,8 metros e de 12,8 a 17,8 metros, marcados sobretudo por variações na ocorrência de famílias

de discontinuidades observadas. Nos demais comprimentos o maciço rochoso apresenta padrão geomecânico regular.

8.1.4 FURO DE SONDAGEM 06

No furo 06 foram descritos um total de 25 metros, de 1,8 m até 26,8 m, dispostos em cinco caixas com 5 metros cada.

Figura 14: Caixas de testemunhos do Furo-06.



Fonte: Autor.

Foram percebidas 83 discontinuidades distribuídas em uma frequência média de 16,6 discontinuidades por metro na primeira caixa. Observam-se estruturas descritas como fraturas, sem a presença de preenchimento, ocorrendo de forma predominantemente irregular e demarcadas por superfícies suaves a rugosas, além de superfícies limpas a oxidadas. Classificam-se duas famílias de fraturas, sendo estas ortogonais e 60° - 30° em relação ao eixo do furo de sondagem.

Na segunda caixa foram observadas 70 discontinuidades com frequência média de 14 discontinuidades por metro. Apresenta fraturas limpas (com oxidação em algumas porções) com padrão irregular a planar, sem preenchimento, com superfícies suaves a rugosas. Ocorrem três famílias de fraturas.

A terceira caixa apresentou 37 discontinuidades ocorrendo com uma frequência média de 7,4 discontinuidades por metro. Observa-se fraturamento predominantemente irregular com superfícies rugosas com contato suave entre as paredes, fraturas limpas e sem preenchimento, além

de duas famílias de descontinuidades (uma ortogonal e outra entre 60°-30° em relação ao eixo do furo).

Foram notadas 30 descontinuidades distribuídas em uma frequência de 6 descontinuidades por metro na quarta caixa . Percebe-se estruturas do tipo fratura com forma irregular a planar, sem a presença de preenchimento, com rugosidade suavemente onduladas a rugosas e contato suave entre as paredes. Presença de duas famílias de fraturas principais, sendo estas ortogonais e entre 60°-30° em relação ao eixo do furo.

Enquanto na quinta caixa observam-se 10 descontinuidades distribuídas em uma frequência de 2 descontinuidades por metro. Ocorrência de fraturamento com forma planar com preenchimento de calcita, e superfícies com rugosidade suave a rugosa e contato duro a suave entre as paredes. Classificou-se duas famílias de descontinuidades principais, sendo estas ortogonais e entre 60°-30° em relação ao eixo do furo.

Tabela 22: Classificação RQD, Volume e diâmetro de bloco - Furo-06.

Caixas F-06 (em metros)	Quantidade de fraturas	Frequência de Fraturas	RQD %	Qualidade e da rocha	Classe	Volume de bloco	Diâmetro de bloco
1,8-6,8	83	16,6	53	Regular	III	7 dm ³ Pequeno	0,2 m
6,8-11,8	70	14	59	Regular	III	12 dm ³ Pequeno	0,23 m
11,8-16,8	37	7,4	84	Bom	IV	60 dm ³ Moderado	0,45 m
16,8-21,8	30	6	90	Excelente	V	0,1 m ³ Moderado	0,5 m
21,8-26,8	10	2	96	Excelente	V	0,4 m ³ Moderado-Grande	0,7 m

Fonte: Autor.

O furo-06 apresenta um aumento gradual de qualidade do maciço rochoso, à medida que a profundidade também aumenta e a quantidade de fraturas diminui. A rocha foi classificada como regular entre 1,8 a 11,8 metros, boa entre 11,8 e 16,8 metros e excelente entre 16,8 até 26,8 metros de profundidade.

Tabela 23: Pesos atribuídos para o RMR - Furo-06.

Caixas F-06 (em metros)	Resistência do material intacto	RQD	Espaçamento das descontinuidades	Condição das descontinuidades	Água subterrânea	Somatório dos pesos	Classes n°	Descrição
1,8-6,8	4	13	8	25	15	65	II	Bom
6,8-11,8	4	13	8	25	15	65	II	Bom
11,8-16,8	4	17	8	25	15	69	II	Bom
16,8-21,8	4	20	8	25	15	72	II	Bom
21,8-26,8	4	20	10	30	15	79	II	Bom

Fonte: Autor.

Classifica-se, em RMR, a rocha como boa em todo o comprimento do furo de sondagem, segundo o somatório dos pesos atribuídos aos parâmetros empregados, indicando certa homogeneidade no maciço em termos de espaçamento das descontinuidades, sobretudo na caixa referente à profundidades de 21,8 e 26,8.

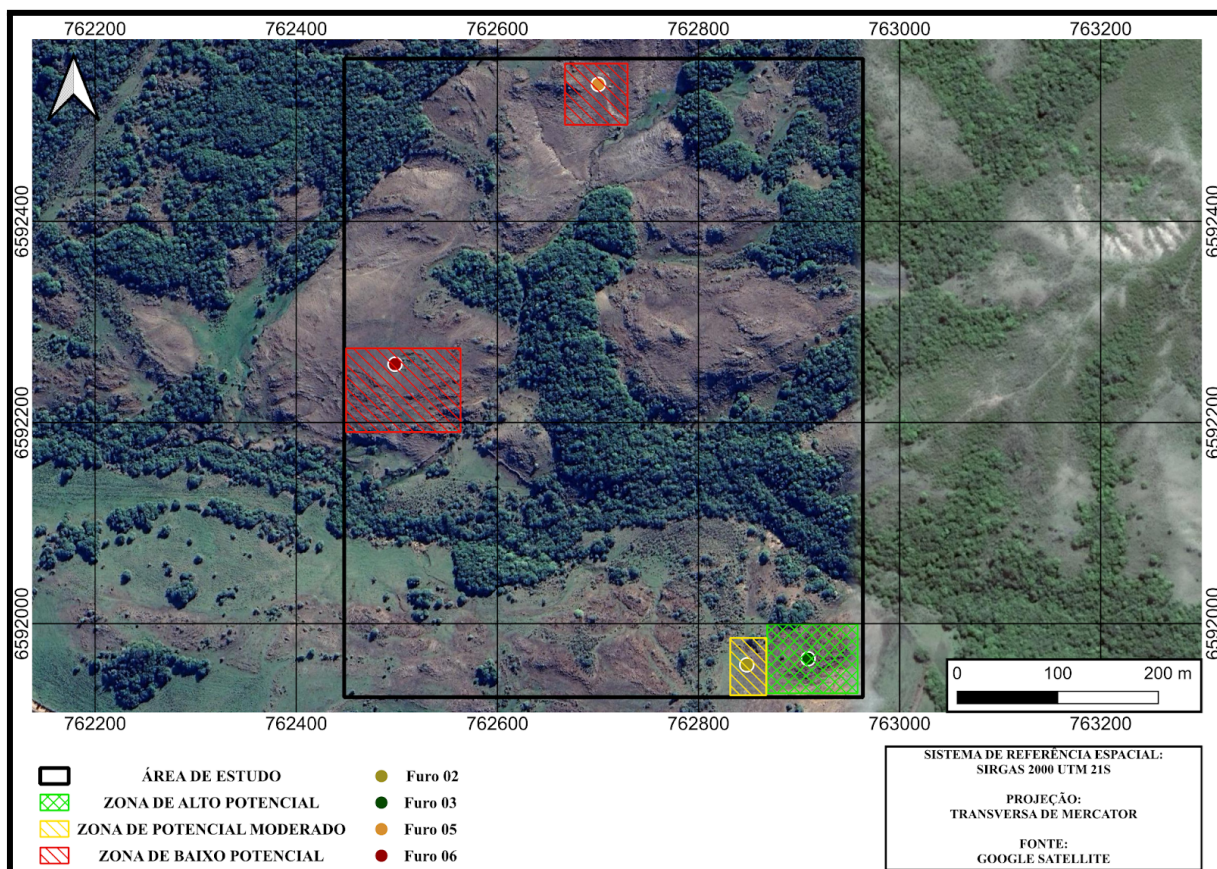
Tabela 24: Sistema Q - Furo 06.

Caixas F-06 (em metros)	RQD %	Índice das famílias de Juntas (Jn)	Índice de rugosidade de (Jr)	Grau de alteração das descontinuidades (Ja)	Fator de redução de água (Jw).	Estado de tensão do maciço (SRF)	Padrão geomecânico do maciço	Q	Classe
1,8-6,8	74	4	3	1	1	2,5	Bom	22,2	IV
6,8-11,8	65	9	3	1	1	2,5	Regular	8,66	V
11,8-16,8	55	4	3	1	1	2,5	Bom	16,5	IV
16,8-21,8	92	4	3	1	1	2,5	Bom	27,6	IV
21,8-26,8	98	4	3	4	1	2,5	Regular	7,35	V

Fonte: Autor.

O furo-06 apresenta padrão geomecânico bom, exceto nas caixas de 6,8 a 11,8 metros e 21,8 até 26,8 metros, onde apresenta comportamento geomecânico regular, esta variação é constatada, respectivamente, pela observação de três famílias de fraturas e no grau de alteração das descontinuidades.

Figura 15: Mapa de detalhe da área de estudo.



Fonte: Autor.

A partir da interpretação dos dados obtidos, foi possível gerar um mapa de detalhe da área de estudo discretizando em zonas conforme potencial exploratório. Neste contexto, destaca-se a porção sudeste da área, que engloba o furos de sondagem 02 e especialmente o furo de sondagem 03, como a que se apresentou mais promissora à extração de blocos, enquanto as porções oeste e norte da área apresentaram baixo potencial. Ressalta-se que todas as amostras analisadas mostram-se promissoras em relação aos tamanhos de blocos estimados e condição do maciço rochoso com o avanço da profundidade.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do emprego dos sistemas de classificação de maciços rochosos, RMR, Sistema Q, e do índice de qualidade de rocha - RQD, foi possível avaliar a qualidade dos blocos e discretizá-los quanto às descontinuidades observadas, levando em consideração os principais fatores atuantes.

As metodologias propostas no estudo exibiram-se bastante relevantes para a definição de áreas da jazida com maior potencial à exploração para fim ornamental, em função dos volumes e dimensões de blocos, correlacionados à profundidade e estado geomecânico em que estes se encontram.

Foi verificado que, em todos os testemunhos descritos, a frequência em que as descontinuidades se manifestam diminui consideravelmente com o aumento da profundidade e que, em média, a partir de aproximadamente 16 metros a rocha apresenta qualidade excelente e conseqüentemente tamanhos de blocos maiores viabilizando a exploração. Ao passo que próximo à superfície foram estimados blocos com menor volume, limitando a viabilidade para a finalidade proposta.

Dentre todos os testemunhos analisados, destacaram-se as amostras do furo de sondagem 03, o qual apresenta notável homogeneidade no que se refere a qualidade de rocha, que foi classificada como excelente em todo seu comprimento, além de apresentar as maiores estimativas de volume de bloco.

Observou-se também que, apesar de haver considerável convergência entre as metodologias, o efeito de realce atribuído a parâmetros distintos pode suavizar ou exagerar resultados de classificação de um maciço rochoso. Deve-se então pormenorizar cada característica criteriosamente a fim de se identificar eventuais singularidades discrepantes.

Ressalta-se que devido a eventuais movimentações das caixas, os testemunhos de sondagem podem ter sido afetados. Pondera-se, também, a estimativa de tamanho de blocos unicamente pelo sistema RQD.

De modo geral, o estudo mostrou-se uma ferramenta conveniente para auxiliar uma potencial extração de blocos na área de interesse, fornecendo embasamento geotécnico acerca do comportamento da jazida. Estudos mais aprofundados, por exemplo com a realização de mais sondagens, além da abertura de frentes de lavra experimentais e mapeamento de campo, possibilitaram a obtenção de maior número de informações para uma ampliação do conhecimento geológico-geotécnico da jazida.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15012: **Rochas para revestimentos de edificações** - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos** – Projeto Bula. Cid Chiodi Filho; Eleno de Paula Rodrigues. São Paulo, SP. 2009
- ALMEIDA, F. F. M. D. **Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira**. In: XXIII Congresso Brasileiro de Geologia. 1969. Salvador – BA. Anais de XXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1969, p. 29-45.
- AZEVEDO, I. C.; MARQUES, E. A. **Introdução à Mecânica das Rochas**. Caderno Didático 85. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002.
- BARTON, N.; CHOUBEY, V. **The shear strength of rock joints in theory and practice**. Rock Mech., v. 10, n. 1-2, p. 1-54, 1977.
- BRANDÃO, W.; SARDOU FILHO, R.; QUEIROZ, E. T. **Mármore, Granitos e outras rochas ornamentais no Brasil**. In: DNPM. Principais depósitos minerais do Brasil - Gemas e Rochas ornamentais. Brasília, DF: DNPM, 1995. p. 371-379.
- BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering Rock Mass Classifications**. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- CHEMALE JÚNIOR., F.; HARTMANN, L. A.; SILVA L. C.da. **Stratigraphy and Tectonism of the Precambrian to Early Paleozoic Units in Southern Brazil and Uruguay**. Excursion Guidebook. Acta Geologica Leopoldensia, São Leopoldo, RS, v. 42, n. 18, p. 5–117, 1995.
- CHEMALE JÚNIOR, F. **Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense**. In: HOLZ, M.; ROS, L. F. (Eds). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO-UFRGS, 2000. p. 13-52.
- CHRISTOFOLLETTI, C. **Correlação entre as classificações geomecânicas RMR e Q e sua relevância geológica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- CUNHA, H. E. S. **Classificação e caracterização de maciços rochosos no âmbito da mineração**. Orientador: Joaquim Carlos Barbosa Queiroz. 2016. 119 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geologia de Minas e Técnicas de Lavra a Céu aberto) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
- DEERE, D. U.; DEERE, D. W. **The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice**. In: KIRKALDIE, L. (Ed.). Rock Classification System for Engineering Purposes. ASTM STP 984. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1988. p. 91-101.
- FIORI, A. P. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- FRAGOSO CESAR, A. R. S.; ALMEIDA, R. P. D.; FAMBRINI, G. L.; PELOSI, A. P. D. M. R.; JANIKIAN, L. **A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do**

Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. I Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul: ESCUDO E BACIAS ILEA/UFRGS. Porto Alegre, 2003.

GUIBU, G. K. T. **Estabilidade de taludes rochosos em pedreira de diabásio em Limeira (SP).** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Campinas, 2017.

HOEK, E. **Practical Rock Engineering.** Canadá, 2000.

Hartmann, L.A. 1987. **Isócrona Sm-Nd de 2,1 Ga em minerais de duas amostras do Complexo Granulítico Santa Maria Chico, RS.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1. Porto Alegre, 1987. Anais... Rio de Janeiro, SBGq, 1: 105-111

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JUNIOR, F.; PHILIPP, R. P. **Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano.** In: CENTRO DE INVESTIGAÇÃO DO GONDWANA E INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (Porto Alegre). 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007.

ISRM. The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014.: ISRM, 2007.

IZA, E. R. H. de F.; MAGALHÃES, A. C. **Panorama do segmento de rochas ornamentais do Estado da Bahia.** Salvador: CPRM, 2019.

JAQUES, D. S. **Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos da Mina de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Viçosa, 2014.

LACERDA, S.G. *et al.* **Caracterização geomecânica do maciço rochoso da Gruta do Pião - Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais.** In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. Anais... Campinas: SBE, 2019. p.244-252.

LIMA, C. *et al.* **Textos de apoio de Geologia de Engenharia.** 2012.

LUZARDO, R.; FERNANDES, L. A. D. **Análise estrutural do Lineamento de Ibaré Parte I: Filitos de Ibaré-Greenstone Belt ou Cobertura Cratônica Deformada.** Acta Geológica Leopoldensia, v. 13, n. 30, 1990, p. 25-36.

MARCONATO, A. **A influência da evolução de altos estruturais em sucessões aluviais: exemplos do Ediacarano e do Cambriano da Bacia Camaquã (RS).** 2010. Dissertação (Mestrado em Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MARTINI, Lucas. **Caracterização de discontinuidades com o auxílio de Vant aplicada à pesquisa de rocha ornamental no Complexo Metamórfico Palma, São Gabriel (RS).** 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2018.

MENDES, V. A.; LIMA, M. A. B.; MARQUES, M. N. Pesquisa de rochas ornamentais. In: **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e benefício**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. Capítulo 3, p. 101-151.

MESQUITA, J. B. **Maçãos rochosos em projetos hidrelétricos: proposta de classificação geomecânica**. 2008. 269 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008.

MILANI, E. J.; ZALÁN, P. V. **The geology of Paleozoic cratonic basins and mesozoic interior rifts of Brazil**. In: AAPG INTERNATIONAL CONFERENCE & EXHIBITION, 1998, Rio de Janeiro, AAPG/ABGP, 1998. p. 67-90.

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

Nardi, L.V.S. & Hartmann, L.A. 1979. **O Complexo Granulítico Santa Maria Chico do Escudo Sul-riograndense**. Acta Geológica Leopoldensia, 6: 45-75.

OLIVEIRA, R. B. **Caracterização do maciço rochoso da pedreira Esperança – Vitória de Santo Antão - PE**. 2016. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

PAIM, P. S. G.; CHEMALE, F.; LOPES, R. C. **A Bacia do Camaquã**. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora ABC, 2000. p. 231-274.

PAIM, P. S. G.; CHEMALE JUNIOR, F.; WILDNER, W. **Estágios Evolutivos da Bacia do Camaquã (RS)**. Ciência e Natura, v. 36, n. 3, p. 183-193, 2014.

PALMSTRÖM, A. **"Block size and block size distribution."** In: Workshop on Reliability of Classification Systems in Connection with the GeoEng2000 Conference, Melbourne, 2000. Vol. 18.

PINOTTI, A. M.; CARNEIRO, C. D. R. **Geologia Estrutural na previsão e contenção de queda de blocos em encostas: aplicação no Granito Santos, SP**. Terrae Didactica, v. 9, n. 2, p. 132-168, 2013.

PRIEST, Stephen D.; HUDSON, J. A. **Discontinuity spacings in rock**. In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Oxford: Pergamon Press, 1976. p. 135-148.

RIBEIRO, M. **Informes sobre a Formação Maricá**. Iheringia, Série Geológica, v. 9, p. 3-50, 1983.

SALA, L. A. **Metodologia de construção de modelo geotécnica com uso de geoestatística**. 2022. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

SCHMIDT, K. Gobekli Tepe: **The stone age sanctuaries. New results of ongoing excavations with a special focus on sculptures and high reliefs.** Documenta Praehistorica, v. 38, p. 239-256, 2010.

TOMMASI, A. *et al.* **Orogen-parallel strike-slip faulting and synkinematic magmatism in the Dom Feliciano Belt, Southern Brazil.** Tectonics, v. 13, p. 421-437, 1994.

TRAVASSOS, Rodrigo Piraine. **Interpretação estrutural regional do escudo sul-rio-grandense - Rio Grande do Sul - Brasil, com base em aeromagnetometria.** 2014. 64 f., il. Tese (Doutorado em Geologia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. C.; IGLESIAS, C. M. F. **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000.** Porto Alegre: CPRM, 2008. Programa Geologia do Brasil; Mapas Geológicos Estaduais.

WYLLIE, D. C.; MAH, C. W. **Rock Slope Engineering Civil and Mining.** 4th Edition. London: Spon Press, 2004.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. de.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. **Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná.** In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO GEOLOGIA, 3., 1987, Curitiba. Atas... Curitiba: SBG, 1987. v.1, p. 441-473.

ZALÁN, P. V., WOLF, S., CONCEIÇÃO, J. C. de J., MARQUES, A., ASTOLFI, M.A.M., VIEIRA, I. S., APPI, V. T., ZANOTTO, O. A. **Bacia do Paraná.** In: RAJA GABAGLIA, G. P., MILANI, E. J. (Eds.). Origem e evolução de bacias sedimentares. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1990. p. 135-168.