

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

RAEL ERNANI WOJAHN

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE DUAS JAZIDAS
UTILIZADAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL LOCALIZADAS NO BATÓLITO DE
PELOTAS/RS**

**Caçapava do Sul
2018**

RAEL ERNANI WOJAHN

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE DUAS JAZIDAS
UTILIZADAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL LOCALIZADAS NO BATÓLITO DE
PELOTAS/RS**

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. Igor Magalhães Clemente

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Andrea Valli Nummer

**Caçapava do Sul
2018**

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).

W847c Wojahn, Rael Ernani
 Caracterização geológica-geotécnica de duas jazidas
 utilizadas para construção civil localizadas no batólito
 de Pelotas/RS / Rael Ernani Wojahn.
 104 p.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
 Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2018.
 "Orientação: Igor Magalhães Clemente".

 1. Geologia de engenharia. 2. Controle tecnológico.
 3. Agregados. I. Título.

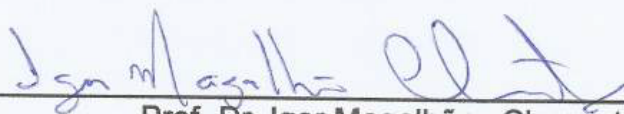
RAEL ERNANI WOJAHN

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE DUAS JAZIDAS
UTILIZADAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL LOCALIZADAS NO BATÓLITO DE
PELOTAS/RS**

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: 13/12/2018.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente
Orientador
(UNIPAMPA)



Eng. Civil Me. Ana Helena Back
(UFSM)



Prof. Me. Diogo Peixoto Cordova
(UNIPAMPA)

Dedico este trabalho aos meus pais Rui e Janira, por serem a minha base. Para eles dedico toda a minha vida e conquistas.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente aos meus pais Rui e Janira por todo amor, carinho, incentivo, compreensão, dedicação e por me darem todo o suporte necessário para que eu pudesse morar longe de casa e realizar esse sonho. Ao meu irmão Gabriel por todas as vezes que, mesmo não parecendo, foi importante ter ao meu lado. Agradeço também à todos pertencentes da minha amada família por terem me dado forças e motivação para atingir este objetivo.

Sou imensamente grato à minha namorada e melhor amiga Cátia por tudo o que fez por mim. Todo o amor, carinho, amizade, parceria e cuidado que teve comigo foram essenciais para que eu obtivesse sucesso. É muito bom saber que você tem uma pessoa do seu lado que te ama e que sempre está junto com você para qualquer coisa.

Agradeço, em particular, ao meu orientador professor Igor Clemente por toda a contribuição e todo suporte que me deu, não só nesse trabalho, mas ao longo de toda a trajetória na graduação. Deixo aqui a minha gratidão à minha coorientadora professora Andrea Nummer pela oportunidade de estágio, o qual me direcionou para a área que eu sempre quis seguir, incluindo a ideia da temática deste projeto. Agradeço por toda a ajuda e suporte que me deu no decorrer do trabalho. Meus agradecimentos também aos meus colegas de estágio, Athos e Pablo, por terem auxiliado e estado junto comigo nesta experiência única.

Agradeço à equipe do Laboratório de Materiais de Construção Civil por terem me recebido e me auxiliaram na realização dos ensaios geotécnicos. Deixo aqui minha imensa gratidão à aluna Ana Helena Back que me auxiliou e me disponibilizou seus dados, sem os quais, não teria sido possível a realização do meu trabalho.

Deixo aqui meus agradecimentos ao químico Guilherme Casa Nova pelos três anos de monitoria/projeto, o qual me proporcionou aprendizado e experiências que vou levar tanto para a vida profissional, quanto para a vida pessoal.

Serei eternamente grato a todos os amigos que fiz aqui durante esta trajetória. Em especial, ao grupo da zueira: Ladislau, Brunão, Villiam, Diogo, Dom Pedrito, Gilberto, Pedro, Camila e Kiara, saibam que considero vocês todos como parte da família. MUITÍSSIMO obrigado por todos os momentos que passamos juntos que certamente serão lembrados para sempre. Por fim, deixo meu agradecimento à todos os professores, técnicos, motoristas e funcionários da Unipampa.

“Você é o que escolhe ser”.

Autor desconhecido

RESUMO

O presente trabalho consiste na caracterização geológica-geotécnica de duas jazidas de rocha granítica, pedreira JA Silveira e pedreira SBS, localizadas em fácies distintas do batólito de Pelotas. A pedreira JA Silveira está localizada no centro do batólito, no Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado, caracterizado por rochas predominantemente granodiorítica a monzogranítica. A pedreira SBS está localizada na borda do batólito, na formação Capão do Leão, caracterizada por sienogranitos. O estudo foi baseado em análise composicional macroscópica e microscópica dos maciços rochosos, análise estrutural e ensaios de caracterização geotécnica. A análise macroscópica foi realizada no Laboratório de Petrografia e a análise microscópica foi realizada no Laboratório de Microscopia, ambos na Universidade Federal do Pampa. Os ensaios de caracterização geotécnica foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil na Universidade Federal de Santa Maria. Foi realizada uma correlação entre as rochas das duas pedreiras e foram estabelecidas explicações para os resultados dos ensaios geotécnicos baseadas no conhecimento geológico. O monzogranito é composto principalmente por quartzo (45%) e plagioclásio (40%), possui uma textura fanerítica e estrutura maciça, enquanto o sienogranito é composto principalmente por feldspato alcalino (45%), possui textura fanerítica e estrutura maciça a foliada. Os agregados da pedreira JA Silveira apresentaram maior densidade e menores resultados de absorção, abrasão, perda ao choque, esmagamento e sanidade, devido à sua composição granulométrica com maior dureza e tenacidade de seus minerais, maior compacidade da rocha e ausência de microestruturas. Os agregados da pedreira SBS apresentaram maior lamelaridade das partículas e seu desempenho nos ensaios pode ser explicado em função de uma foliação que atua como plano de fraqueza nos agregados. Os agregados de ambas as pedreiras possuem potencial para utilização como revestimento, rocha ornamental e pedras britadas, podendo ser utilizados para produção de concreto e em obras de pavimentação. Os agregados da pedreira JA Silveira obtiveram resultados mais satisfatórios nos ensaios mecânicos e químicos, podendo ser utilizados para obras de maior porte, como lastros ferroviários e fundações. Através da interação entre os métodos de análise petrográfica e ensaios de caracterização geotécnica, conseguiu estabelecer uma correlação entre as duas jazidas utilizando o conhecimento geológico como uma

forma de controle tecnológico, estabelecendo uma otimização de uso para os diferentes tipos de agregados.

Palavras-Chave: Geologia de engenharia. Controle tecnológico. Agregados.

ABSTRACT

The present research aim the geological-geotechnical characterization of two deposits of granite rock, JA Silveira quarry and SBS quarry, located in different facies of Pelotas batholith. The JA Silveira quarry is located in the center of the batholith, in the Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado, characterized by rocks predominantly granodiorítica and monzogranítica. The SBS quarry is located on the edge of the batholith, in the Capão do Leão formation, characterized by sienogranites. The study was based on macroscopic and microscopic compositional analysis of rocky masses, structural analysis and geotechnical characterization tests. The macroscopic analysis was performed at the Laboratory of Petrography and the microscopic analysis was performed at the Laboratory of Microscopy, both at the Universidade Federal do Pampa. The geotechnical characterization tests were performed at the Laboratory of Materials in Construction Civil at the Universidade Federal de Santa Maria. A correlation was made between the rocks of the two quarries and explanations were established for the results of geotechnical tests based on geological knowledge. The monzogranite is composed mainly of quartz (45%) and plagioclase (40%), has a faneritic texture and massive structure, while the sienogranite is composed mainly of alkaline feldspar (45%), has phanerite texture and massive structure to foliate. The aggregates of the JA Silveira quarry presented higher density and lower results of absorption, abrasion, shock loss, crushing and sanity, due to its granulometric composition with greater hardness and tenacity of its minerals, greater rock compactness and absence of microstructures. The aggregates of the SBS quarry presented greater lamellarity of the particles and its performance in the tests can be explained as a function of a foliation that acts as a plane of weakness in the aggregates. The aggregates of both quarries have potential for use as coating, ornamental rock and crushed stones, and can be used for concrete and paving works. The aggregates of the JA Silveira quarry obtained satisfactory results in the mechanical and chemical tests, being able to be used for larger works, such as railway ballasts and foundations. Through the interaction between the methods of petrographic analysis and geotechnical characterization tests, it was able to establish a correlation between the two deposits using geological knowledge as a form of technological control, establishing an optimization of use for the different types of aggregates.

Keywords: Engineering geology. Technological control. Aggregates.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de rochas ígneas.....	28
Figura 2 – Exemplo de rochas sedimentares	29
Figura 3 – Exemplo de rochas metamórficas	29
Figura 4 – Mapa de localização do Batólito de Pelotas.....	31
Figura 5 – Mapa geológico do Batólito de Pelotas	33
Figura 6 – Mapa de localização das áreas de estudo	39
Figura 7 – Mapa geológico das áreas de estudo.....	41
Figura 8 – Placa utilizada para o ensaio de lamelaridade	47
Figura 9 – Vista frontal da pedreira JA Silveira	55
Figura 10 – Diferentes tipos litológicos encontrados na pedreira JA Silveira	56
Figura 11 – Foto evidenciando a heterogeneidade que ocorre na jazida.....	57
Figura 12 – Detalhes da amostra 1 da pedreira JA Silveira	58
Figura 13 – Detalhes da amostra 2 da pedreira JA Silveira	59
Figura 14 – Detalhes da amostra 3 da pedreira JA Silveira	60
Figura 15 – Detalhes da amostra 4 da pedreira JA Silveira	61
Figura 16 – Detalhes da amostra 5 da pedreira JA Silveira	62
Figura 17 – Detalhes da amostra 6 da pedreira JA Silveira	63
Figura 18 – Detalhes da amostra 7 da pedreira JA Silveira	64
Figura 19 – Detalhes da amostra 8 da pedreira JA Silveira	65
Figura 20 – Detalhes da amostra 9 da pedreira JA Silveira	66
Figura 21 – Amostras britadas coletadas da pedreira JA Silveira	67
Figura 22 – Vista frontal da pedreira SBS	68
Figura 23 – Diferentes tipos litológicos encontrados na pedreira JA Silveira	69
Figura 24 – Zonas de falhas presentes na pedreira JA Silveira	69
Figura 25 – Detalhes da amostra 1 da pedreira SBS	71
Figura 26 – Detalhes da amostra 2 da pedreira SBS	73
Figura 27 – Detalhes da amostra 3 da pedreira SBS	74
Figura 28 – Detalhes da amostra 4 da pedreira SBS	75
Figura 29 – Detalhes da amostra 5 da pedreira SBS	76
Figura 30 – Detalhes da amostra 6 da pedreira SBS	77
Figura 31 – Amostras britadas coletadas da pedreira SBS.....	78
Figura 32 – Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.....	79

Figura 33 – Curvas granulométricas dos agregados da jazida JA Silveira.....	82
Figura 34 – Curvas granulométricas dos agregados da jazida SBS	82
Figura 35 – Ensaio de índice de lamelaridade pelo método do paquímetro.....	83
Figura 36 – Ensaio de lamelaridade pelo uso da placa do DAER	84
Figura 37 – Etapas realizadas para os ensaios de absorção, massa específica, massa unitária e índice de volume de vazios	85
Figura 38 – Ensaio de abrasão Los Angeles.....	89
Figura 39 – Resultado do ensaio de abrasão Los Angeles	89
Figura 40 – Ensaio de perda ao choque no aparelho Treton	90
Figura 41 – Ensaio de esmagamento.....	92
Figura 42 – Ensaio de sanidade.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos estágios de britagem	26
Tabela 2 – Características petrográficas que influenciam nos ensaios laboratoriais	30
Tabela 3 – Normas brasileiras e internacionais existentes para avaliação das propriedades tecnológicas do presente trabalho	44
Tabela 4 – Análise petrográfica da amostra 1 da pedreira JA Silveira	58
Tabela 5 – Análise petrográfica da amostra 2 da pedreira JA Silveira	59
Tabela 6 – Análise petrográfica da amostra 3 da pedreira JA Silveira	60
Tabela 7 – Análise petrográfica da amostra 4 da pedreira JA Silveira	61
Tabela 8 – Análise petrográfica da amostra 5 da pedreira JA Silveira	62
Tabela 9 – Análise petrográfica da amostra 6 da pedreira JA Silveira	63
Tabela 10 – Análise petrográfica da amostra 7 da pedreira JA Silveira	64
Tabela 11 – Análise petrográfica da amostra 8 da pedreira JA Silveira	65
Tabela 12 – Análise petrográfica da amostra 9 da pedreira JA Silveira	66
Tabela 13 – Análise petrográfica da amostra 1 da pedreira SBS.....	71
Tabela 14 – Análise petrográfica da amostra 2 da pedreira SBS.....	72
Tabela 15 – Análise petrográfica da amostra 3 da pedreira SBS.....	74
Tabela 16 – Análise petrográfica da amostra 4 da pedreira SBS.....	75
Tabela 17 – Análise petrográfica da amostra 5 da pedreira SBS.....	76
Tabela 18 – Análise petrográfica da amostra 6 da pedreira SBS.....	77
Tabela 19 – Frações granulométricas da pilha 3/4 da pedreira JA Silveira.....	80
Tabela 20 – Frações granulométricas da pilha 3/8 da pedreira JA Silveira.....	80
Tabela 21 – Frações granulométricas da pilha 3/4 da pedreira SBS	81
Tabela 22 – Frações granulométricas da pilha 3/8 da pedreira SBS	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conjunto de peneiras sucessivas com as aberturas de malha utilizados no ensaio de granulometria	45
Quadro 2 – Relação entre tamanho do agregado e dimensões da aberturas da placa para determinação da lamelaridade.....	47
Quadro 3 – Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica	54
Quadro 4 – Resultados do ensaio do índice de lamelaridade pelo método do paquímetro	83
Quadro 5 – Resultados do ensaio do índice de lamelaridade pela placa do DAER	84
Quadro 6 – Resultados do ensaio de absorção	85
Quadro 7 – Resultados do ensaio de massa específica na condição seca.....	86
Quadro 8 – Resultados do ensaio de massa específica na condição saturada superfície seca	87
Quadro 9 – Resultados do ensaio de massa específica aparente	87
Quadro 10 – Resultados do ensaio de massa unitária.....	88
Quadro 11 – Resultados do ensaio de índice de volume de vazios	88
Quadro 12 – Resultados do ensaio de abrasão Los Angeles.....	89
Quadro 13 – Resultados do ensaio de determinação da perda ao choque no aparelho Treton	91
Quadro 14 – Resultados do ensaio de esmagamento	93
Quadro 15 – Resultados do ensaio de sanidade.....	94

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Determinação da absorção em água	48
Equação 2 – Cálculo da massa específica do agregado na condição seca	49
Equação 3 – Cálculo da massa específica do agregado na condição saturada superfície seca	49
Equação 4 – Cálculo da massa específica aparente.....	49
Equação 5 – Cálculo da massa unitária	50
Equação 6 – Cálculo do índice de volume de vazios	50
Equação 7 – Cálculo da abrasão Los Angeles.....	51
Equação 8 – Cálculo da perda ao choque no aparelho Treton	52
Equação 9 – Cálculo da resistência do agregado ao esmagamento.....	52
Equação 10 – Cálculo de perda de massa pelo ensaio de sanidade	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ar - Argônio

DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

E – Leste

ESrg – Escudo Sul Riograndense

K – Potássio

Kg - Quilograma

Ma – Milhões de anos

Mm - Milímetros

N - Norte

NBR – Norma Brasileira

NE – Nordeste

NM – Norma Mercosul

NW - Noroeste

Pb - Chumbo

RS – Rio Grande do Sul

S - Sul

SW – Sudoeste

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

UTM – Universal Transversa de Mercator

W – Oeste

WGS – World Geodetic System

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 OBJETIVOS.....	22
2.1 Gerais	22
2.2 Específicos	22
3 JUSTIFICATIVA.....	23
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
4.1 Jazida	24
4.2 Rochas como material de construção.....	24
4.3 Agregados.....	25
4.4 Britagem de rochas	25
4.5 Classificação de agregados	26
4.6 Tipos de rochas utilizadas na produção de agregados	27
4.6.1 Rochas ígneas ou magmáticas	27
4.6.2 Rochas sedimentares	28
4.6.3 Rochas metamórficas	29
4.7 Influência da litologia nas propriedades dos agregados.....	30
5 CONTEXTO GEOLÓGICO	30
6 ÁREA DE ESTUDO	37
7 GEOLOGIA LOCAL.....	40
8 MATERIAIS E MÉTODOS	42
8.1 Levantamento de dados bibliográficos	42
8.2 Etapas de campo.....	42
8.3 Estudos petrográficos	43
8.4 Confeção de lâminas petrográficas.....	43
8.5 Ensaios geotécnicos.....	43

8.5.1	Análise petrográfica	44
8.5.2	Granulometria	45
8.5.3	Ensaio de forma.....	46
8.5.3.1	Índice de forma (paquímetro)	46
8.5.3.2	Índice de lamelaridade	46
8.5.4	Ensaio físico	48
8.5.4.1	Absorção	48
8.5.4.2	Massa específica na condição seca	48
8.5.4.3	Massa específica na condição saturada superfície seca.....	49
8.5.4.4	Massa específica aparente	49
8.5.4.5	Massa unitária.....	50
8.5.4.6	Índice de volume de vazios	50
8.5.5	Ensaio mecânico	51
8.5.5.1	Abrasão Los Angeles	51
8.5.5.2	Determinação da perda ao choque no aparelho Treton.....	51
8.5.5.3	Esmagamento	52
8.5.6	Ensaio químico	53
8.5.6.1	Sanidade (alterabilidade)	53
9	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
9.1	Análise petrográfica	54
9.1.1	Pedreira JA Silveira.....	55
9.1.2	Pedreira SBS.....	68
9.2	Granulometria	78
9.3	Índice de forma (paquímetro)	82
9.4	Índice de lamelaridade	84
9.5	Absorção	85

9.6 Massa específica na condição seca	86
9.7 Massa específica na condição saturada superfície seca.....	86
9.8 Massa específica aparente	87
9.9 Massa unitária	87
9.10 Índice de volume de vazios	88
9.11 Abrasão Los Angeles.....	88
9.12 Determinação da perda ao choque no aparelho Treton.....	90
9.13 Esmagamento.....	92
9.14 Sanidade (alterabilidade).....	93
10 CONCLUSÃO	95
11 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	96
REFERÊNCIAS.....	98

1 INTRODUÇÃO

As rochas são importantes matérias-primas utilizadas pelo homem há vários milênios. Atualmente, as rochas são utilizadas em diversas finalidades pela construção civil: como agregados para concreto e pavimentação asfáltica, para produção de pedras britadas, em fundações, revestimentos, uso ornamental, entre outros diversos usos.

De acordo com Tics (2011) a utilização de rochas como material de construção requer uma escolha criteriosa, pois depende de vários fatores econômicos e técnicos. Os fatores econômicos envolvem o custo de extração do material e seu transporte ou disponibilidade, já os fatores técnicos referem-se às propriedades do material sobre as aplicações pretendidas.

O comportamento que uma rocha apresentará em uma obra está intimamente relacionado com as suas propriedades, composição mineralógica, textura e estrutura (FRAZÃO, 2002). Ou seja, é de extrema importância a análise prévia de um material que virá a ser utilizado como agregado para evitar possíveis problemas futuros.

Para determinar um controle tecnológico e obter uma melhor qualidade da rocha, desde a extração, é importante levar em conta diversas características como mineralogia, minerais de alteração e estruturas geológicas que indiquem zonas de fraqueza, como fraturas, falhas e veios.

No que se diz respeito às análises laboratoriais, os estudos petrográficos são fundamentais para a correta determinação mineralógica, juntamente da correta classificação da rocha. Esses aspectos são importantes para o entendimento das características mecânicas e previsão do desempenho dos diferentes tipos rochosos. Isto é, as propriedades físicas exibidas pelo maciço rochoso refletem os efeitos combinados de sua origem juntamente com seus processos de alteração, fatores estes, que estão diretamente ligados com a história evolutiva da região (BACK, 2015).

Segundo Tics (2011) as principais rochas utilizadas como agregados para construção são granito, basalto, diorito, arenito, mármore, ardósia e quartzito. O presente trabalho enfoca no estudo geológico-geotécnico de duas pedreiras de composição granítica localizadas no estado do Rio Grande do Sul. Segundo Streckeisen (1967) o granito é definido como uma rocha ígnea plutônica. É composto principalmente de quartzo, feldspato e minerais ferro-magnesianos. As principais

características dessas rochas são a homogeneidade, a isotropia, alta resistência à compressão e baixa porosidade. Na construção civil são utilizados na confecção de fundações (em forma de bloco), muros, calçamentos, agregado para concreto e rocha ornamental em pisos, paredes, tampos de pias, lavatórios, bancadas, mesas e em ornamentos diversos.

A macroanálise da composição da jazida juntamente da microanálise de suas respectivas lâminas petrográficas, aliados aos ensaios geotécnicos de agregados britados de ambas pedreiras que serão estudados neste trabalho, apresentam uma forma e uma alternativa de interagir o conhecimento geológico com a engenharia como uma forma de controle tecnológico do material utilizado na construção civil.

2 OBJETIVOS

Como ponto de partida para o desenvolvimento de qualquer pesquisa, é de suma importância que alguns objetivos sejam estabelecidos, com o intuito de nortear o trabalho a ser realizado. O objetivo geral resume o cerne do estudo, o motivo maior que rege todo o processo, e que orientará desde a escolha do material bibliográfico à coleta e análise do corpus. Já os objetivos específicos detalham minuciosamente aspectos que devem ser considerados e investigados na mesma proporção durante o andamento da pesquisa.

2.1 Geral

O presente trabalho tem por objetivo geral realizar uma caracterização geológica-geotécnica do material de duas pedreiras localizadas em porções distintas do batólito de Pelotas localizado no estado do Rio Grande do Sul.

2.2 Específicos

Para chegar ao objetivo principal deste trabalho, foi necessário:

- i. Realização da descrição geológica das pedreiras, com foco principal na mineralogia e em estruturas macroscópicas;
- ii. Realização da descrição microscópica de lâminas petrográficas com foco na mineralogia e em microestruturas;

- iii. Determinar as propriedades tecnológicas de agregados britados através de ensaios laboratoriais;
- iv. Correlacionar os resultados obtidos laboratorialmente com os obtidos por Back (2018), comparando as diferentes propriedades e parâmetros obtidos.

3 JUSTIFICATIVA

O uso de rochas em obras é de fundamental importância para a engenharia civil. Porém, grande quantidade de material é empregado indevidamente devido à falta de informações sobre a composição mineralógica dos agregados que são usados. Com o auxílio da geologia, as rochas empregadas para obras de engenharia podem ter uma otimização de uso, evitando perda de material e estabelecendo um uso mais efetivo para as mesmas.

O presente trabalho justifica-se sob o argumento de que o conhecimento geológico é uma alternativa para auxiliar a engenharia no controle tecnológico de agregados, determinar uma maior qualidade e uma otimização de uso para os mais diversos tipos de material rochoso. Esse controle deve ser empregado desde a análise do material na frente de lavra até a análise do material britado.

A escolha das pedreiras JA Silveira e SBS se deram em virtude de sua importância comercial, pois ambas as pedreiras são referências na região sul e sudeste do estado, no segmento do uso de agregados principalmente aplicado na pavimentação asfáltica e também por ambas serem constituídas do mesmo tipo de rocha, porém com dois tipos distintos de granito, seja na mineralogia ou estruturas. A pedreira JA Silveira está localizada no centro do batólito de Pelotas, enquanto a pedreira SBS está localizada na borda do batólito de Pelotas. Assim, trabalhando com o mesmo tipo de rocha granítica, mas com diferenças composicionais e estruturais, será possível realizar uma melhor correlação entre ambas e estabelecer um uso mais efetivo para as mesmas.

O presente trabalho também visa complementar a pesquisa desenvolvida por Back (2018) realizando correlações e comparações entre os tipos graníticos encontrados e obtendo, assim, resultados com maior confiabilidade.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Jazida

Considera-se jazida toda massa individualizada de substância mineral ou fósil de valor econômico, aflorando à superfície ou existente no interior da terra, considera-se mina a jazida em lavra (BRASIL, 1968). A prospecção de ocorrências naturais para extração de materiais constitui uma das etapas para realização de obras de grande valor econômico.

Após a identificação de uma jazida por meio da prospecção, através da análise de mapas topográficos, geológicos, imagens de satélite e do estudo do local com potencial à extração do material por meio de sondagens, análise geoquímica e investigação geofísica, ocorre à instalação dos fornecedores com as pedreiras. Esses fornecedores irão extrair da jazida o material que posteriormente será empregado para os mais diversos usos.

4.2 Rochas como material de construção

Os materiais naturais, como madeira e rochas, são utilizados pela humanidade desde os primórdios da civilização por sua grande resistência aos mais diversos fatores e devido ao fato de as rochas se conservarem por mais tempo, grandes construções da antiguidade se fazem existentes até a atualidade (PETRUCCI, 1976).

Apesar da grande imponência das construções com rocha, o material acabou perdendo espaço devido ao surgimento de estruturas metálicas e de concreto nos séculos XIX e XX. Os novos materiais que surgiram eram mais resistentes e tinham maior aplicabilidade. Ao perder espaço como material estrutural, a rocha passou a ser utilizada como material agregado em estruturas de contenção, blocos para pavimentos, lastros de ferrovias, material de revestimento, etc. (PETRUCCI, 1973).

Atualmente, devido à boa qualidade, durabilidade, resistência e menores custos, os agregados rochosos são amplamente utilizados em diversas áreas da engenharia, tanto por razões técnicas como por razões econômicas (FILHO, 1994 apud SANGUEBUCHE, 2017). Por exemplo, os agregados podem ser utilizados em misturas para concreto de cimento Portland, como agregado de lastro de ferrovias, agregados para pavimentos, rocha de enrocamentos e para revestimento. Para cada

um dos campos de utilização mencionados, existem diferentes requisitos que os agregados devem possuir para que desempenhe suas funções satisfatoriamente durante a vida útil da obra da qual fazem parte (FRAZÃO, 2002).

Dentre os tipos de rocha mais utilizados como materiais de construção estão os granitos, sienitos, monzonitos, dioritos, gabros, diabásios e basaltos, gnaisses, arenitos, quartzitos, mármore, calcários e ardósias (FRAZÃO, 2002).

4.3 Agregados

Petrucci (1987) define agregados como material granular, sem forma ou volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. São agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rochas.

Segundo a NBR 7211/05, agregados são materiais pétreos, obtidos naturalmente ou por fragmentação artificial através do processo de britagem, com propriedades adequadas, possuindo dimensões nominais máximas inferiores a 152 mm e mínima superior ou igual a 0,075 mm.

4.4 Britagem de rochas

Brita pode ser definida como um conjunto de rochas trituradas artificialmente e reduzidas a grãos com dimensões e características estabelecidas em normas para utilização na construção civil (PAIVA, 2017).

O processo de britagem é realizada a seco, através da ação de esforços compressivos, devido aos movimentos de aproximação e afastamento de uma superfície móvel contra uma superfície fixa, ou de impacto, caracterizados pela projeção das partículas umas contra as outras ou contra as paredes do britador. Pode ser aplicada a fragmentos de diversos tamanhos, variando de 10 mm até 1000 mm, respeitando os estágios convenientes (CALDAS, 2015). Os estágios de britagem podem ser classificados em primário, secundário, terciário e quaternário. Essa classificação é baseada nos seguintes aspectos técnicos: tamanho da alimentação, tamanho do produto e grau de redução proporcionado. Não existe um circuito padrão para britar os diferentes tipos de minério. Geralmente a operação de britagem é feita dentro dos estágios convenientes (FIGUEIRA; LUZ;

ALMEIDA, 2010). A maior quantidade de britagem, além de diminuir o tamanho dos agregados, também é utilizada para obter um agregado com maior qualidade. Por exemplo, os britadores de eixo de impacto (VSI) são os mais utilizados para a questão de controle de qualidade do produto, quanto a sua forma. Na Tabela 1 são apresentados os estágios de britagem com os respectivos tamanhos máximos.

Tabela 1 - Classificação dos estágios de britagem

ESTÁGIO DE BRITAGEM	TAMANHO MÁXIMO DE ALIMENTAÇÃO (mm)	TAMANHO MÁXIMO DE PRODUÇÃO (mm)
Britagem Primária	1000	100
Britagem Secundária	100	10
Britagem Terciária	10	1
Britagem Quaternária	5	0.8

Fonte: FIGUEIRA; LUZ; ALMEIDA (2010)

4.5 Classificação de agregados

Segundo o Ministério de Minas e Energia, os agregados são classificados segundo o diâmetro que apresentam após passarem pelo processo de britagem.

- Agregado miúdo: material com diâmetro variando entre 4,8 mm e 0,075 mm.

Os agregados miúdos são classificados em:

- areia: material natural com diâmetro entre 4,8 mm e 0,075 mm.
- pedrisco: material artificial com diâmetro entre 4,8 mm e 0,075 mm.

- Agregado graúdo: material com diâmetro variando entre 152 mm e 4,8 mm.

Os agregados graúdos são classificados em:

- seixo rolado: material natural com diâmetro entre 152 mm e 4,8 mm.
- pedra britada ou brita: material artificial com diâmetro entre 152 mm e 4,8 mm.

Ainda segundo o Ministério de Minas e Energia e a Associação Brasileira de Normas Técnicas, as pedras britadas são classificadas segundo seu diâmetro, que podem ser:

i) Pó de pedra: brita com diâmetro menor que 4,8 mm. Características: pedrisco fragmentado que adquire uma apresentação em pó. Aplicações: uso variado na construção civil em obras de terraplenagem, calçamentos e drenagens. Além disso, o material também é utilizado para a fabricação de massa asfálticas para recapeamento de estradas, avenidas e estabilizador do solo, além do preenchimento de instalações de piscinas.

ii) Brita 0 ou pedrisco: brita com diâmetro que varia de 4,8 mm a 9,5 mm. Aplicações: confecção de asfalto, concretos para lajes pré-moldadas ou para estruturas de ferragem densa, artefatos de concreto (pré-moldados), meio-fio, chapisco e brita graduada para base de pistas.

iii) Brita 1 ou brita 3/8: brita com diâmetro que varia de 9,5 mm a 19 mm. Aplicações: excelente para base asfáltica.

iv) Brita 2 ou brita 3/4: brita com diâmetro que varia de 19 mm a 25 mm. É o produto mais utilizado pela construção civil, muito apropriado para fabricação de concreto para qualquer tipo de edificação de colunas, vigas e lajes assim como em diversas aplicações na construção de edificações de grande porte.

v) Brita 3: brita com diâmetro que varia de 25 mm a 50 mm. É voltado para fabricação de concreto, que exijam mais resistência, principalmente em formas pesadas. Usada na fabricação de concreto bruto, para maior resistência, na construção de fundações e pisos de maior espessura

vi) Brita 4: brita com diâmetro que varia de 50 mm a 76 mm. Aplicações: aplicada principalmente em fossas sépticas, sumidouros, gabião, reforço de subleito para pistas de tráfego pesado e lastros de ferrovias.

4.6 Tipos de rochas utilizadas na produção de agregados

4.6.1 Rochas ígneas ou magmáticas

Resultam da solidificação do magma. Quando formadas em profundidade são chamadas de rochas plutônicas ou intrusivas e neste caso são formadas por uma estrutura cristalina e apresentam textura de graduação grossa. Caso sejam formadas na superfície terrestre pelo extravasamento de lava por condutos vulcânicos são chamadas de rochas vulcânicas ou extrusivas e são caracterizadas por uma estrutura que pode ser vítrea ou cristalina e apresentam textura com graduação fina (PRESS et al, 2006).

Por serem mais resistentes e mais abrasivas, apresentam melhor comportamento geomecânico que as demais rochas e são as mais utilizadas na construção civil (TICS, 2011). São exemplos de rochas ígneas granito, basalto e diabásio. Rochas ígneas, como o basalto e o granito, são muito utilizadas na construção civil para confecção de muros, meio-fio, pavimentação, tanto na forma de paralelepípedo como na forma britada. Rochas ígneas plutônicas são bastante utilizados como agregado, tanto para concreto hidráulico como betuminoso, pois originam uma brita de forma cúbica que tem elevada resistência à compressão e ao desgaste (MACIEL FILHO E NUMER, 2014).

Figura 1 - Exemplos de rochas ígneas. Respectivamente: basalto, granito e diabásio



Fonte: Autor

4.6.2 Rochas sedimentares

São resultantes da consolidação de sedimentos, ou seja, formam-se a partir de partículas minerais provenientes da desagregação e transporte de rochas pré-existentes (PRESS et al, 2006). Geralmente são rochas mais brandas, isto é, com menor resistência mecânica (TICS, 2011). São exemplos de rochas sedimentares arenito, calcário e carvão. As rochas sedimentares, quando bem cimentadas, podem ser utilizadas para blocos de fundação, revestimento de calçadas e meio-fios. Quando pouco cimentadas, as rochas sedimentares são facilmente intemperizadas e dão origem a depósitos de areia, pedregulhos e argilas. Esses materiais podem ser utilizados como empréstimo para confecção de concreto, tijolos, etc. (MACIEL FILHO E NUMER, 2014).

Figura 2 - Exemplos de rochas sedimentares. Respectivamente: arenito e carvão

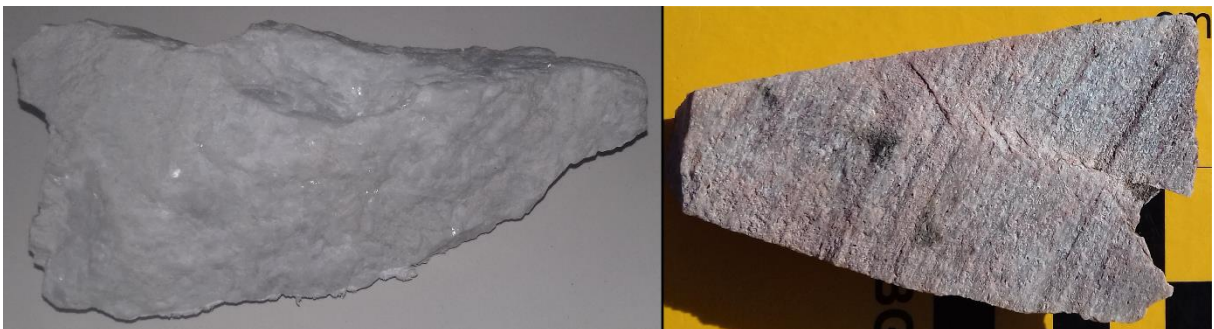


Fonte: Autor

4.6.3 Rochas metamórficas

Resultam de outras rochas pré-existentes que, no decorrer dos processos geológicos, sofreram mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, que provocaram a instabilidade dos minerais, os quais tendem a se transformar e rearranjar sob novas condições (PRESS et al, 2006). São exemplos de rochas metamórficas gnáisse, quartzito, mármore e ardósia. As rochas metamórficas dividem-se em um grupo com quartzo, feldspato, micas e minerais escuros aciculares, sendo a estrutura e a textura importantes para sua classificação e em outro grupo classificado de acordo com a composição de cada rocha (MACIEL FILHO E NUMER, 2014).

Figura 3 - Exemplos de rochas metamórficas. Respectivamente: mármore e quartzito



Fonte: Autor

4.7 Influência da litologia nas propriedades dos agregados

O estudo da influência de diferentes propriedades petrográficas no comportamento ou desempenho da rocha frente à diversos ensaios laboratoriais é de fundamental importância para que as sobreposições nas propriedades medidas possam ser minimizadas e, dessa forma, criado um conjunto de ensaios laboratoriais capazes de englobar toda a gama de propriedades do material rochoso (BACK, 2018). A Tabela 2 apresenta características petrográficas que interferem nos ensaios laboratoriais dos parâmetros físicos, mecânicos e químicos dos agregados.

Tabela 2 - Características petrográficas que influenciam nos ensaios laboratoriais

Ensaio Laboratorial	Feições Petrográficas												
	Densidade	Mineralogia	Compacidade	Porosidade	Dureza	Textura	Forma	Umidade	Anisotropia	Minerais Secundários	Microfraturas	Clivagem	Granulometria
Absorção de água		x	x	x						x	x		
Resistência à compressão			x		x	x		x	x	x	x	x	
Resistência à tração			x			x		x	x	x	x	x	
Slake durability	x			x	x	x		x		x			
Degradação Washington	x	x	x	x			x		x				
Sanidade com sulfato			x	x			x		x	x	x		
Abrasão Los Angeles	x		x		x		x				x		x
Ensaio de Abrasão			x		x	x	x				x		x
Índice de Forma	x	x		x	x	x				x	x	x	

x = Significativo para o resultado do ensaio

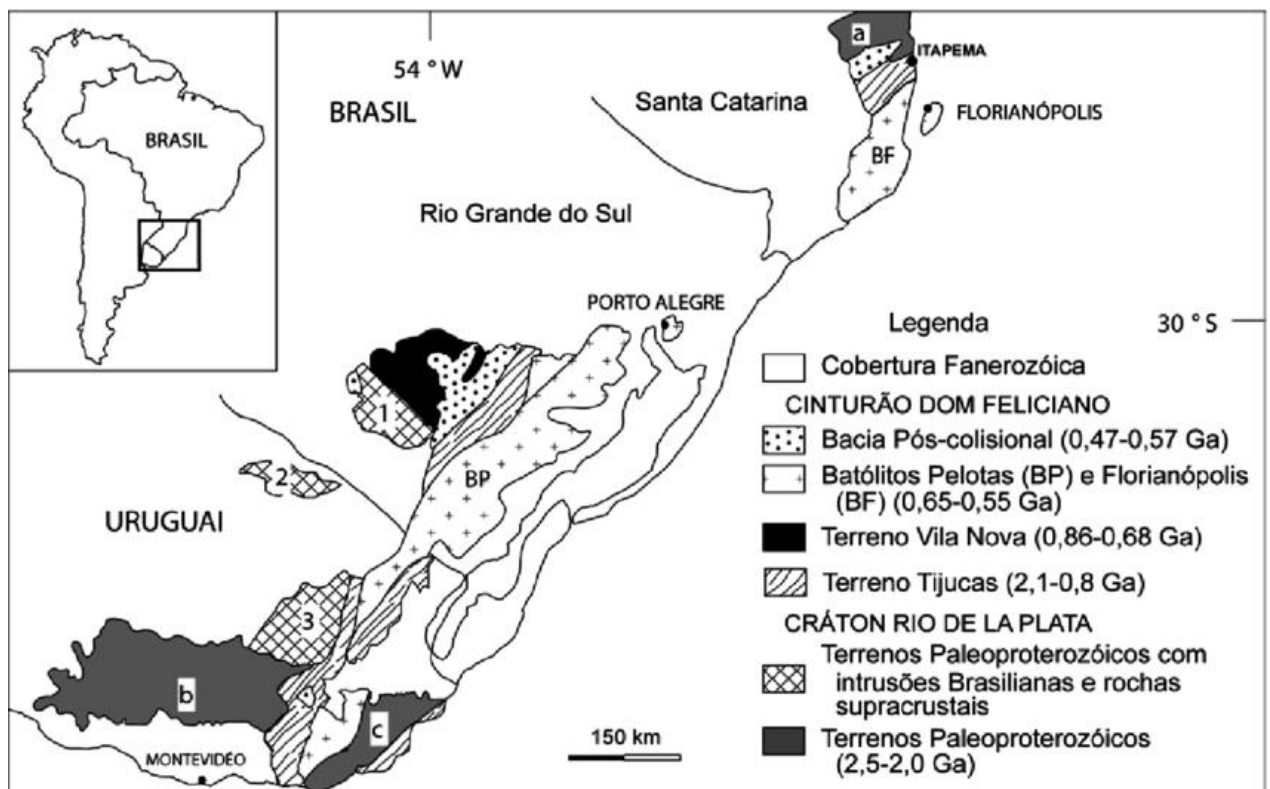
Fonte: Adaptado de FOOKES (1988) apud Back (2018)

5 CONTEXTO GEOLÓGICO

O Escudo Sul-Riograndense (ESrg) possui aproximadamente 65.000 Km² de extensão e está localizado na porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul. Esta província geológica é formada primariamente por rochas do embasamento cristalino Neoarqueanas e secundariamente por um complexo evolução Vulcano-sedimentar com idades Ordovicianas (CHEMALE Jr, 2000).

Hartmann, Chemale Jr & Philipp (2007) compartimentam o ESrg em quatro unidades geotectônicas: Batólito Pelotas, Terreno São Gabriel, Terreno Taquarembó (representa o Cráton Rio de La Plata no Brasil) e o Terreno Tijucas (Figura 4). Os dois últimos denominados anteriormente Bloco São Gabriel (JOST & HARTMANN, 1984 apud PHILIPP & MACHADO, 2001).

Figura 4 - Localização do Batólito de Pelotas no contexto geotectônico do sul do Brasil e Uruguai). A. Terreno Luis Alves; B. Terreno Florida (1: Terreno Taquarembó, 2: Terreno Rivera, 3: Terreno Valentines)



Fonte: Modificado de HARTMAN; CHEMALE Jr; PHILIPP (2007)

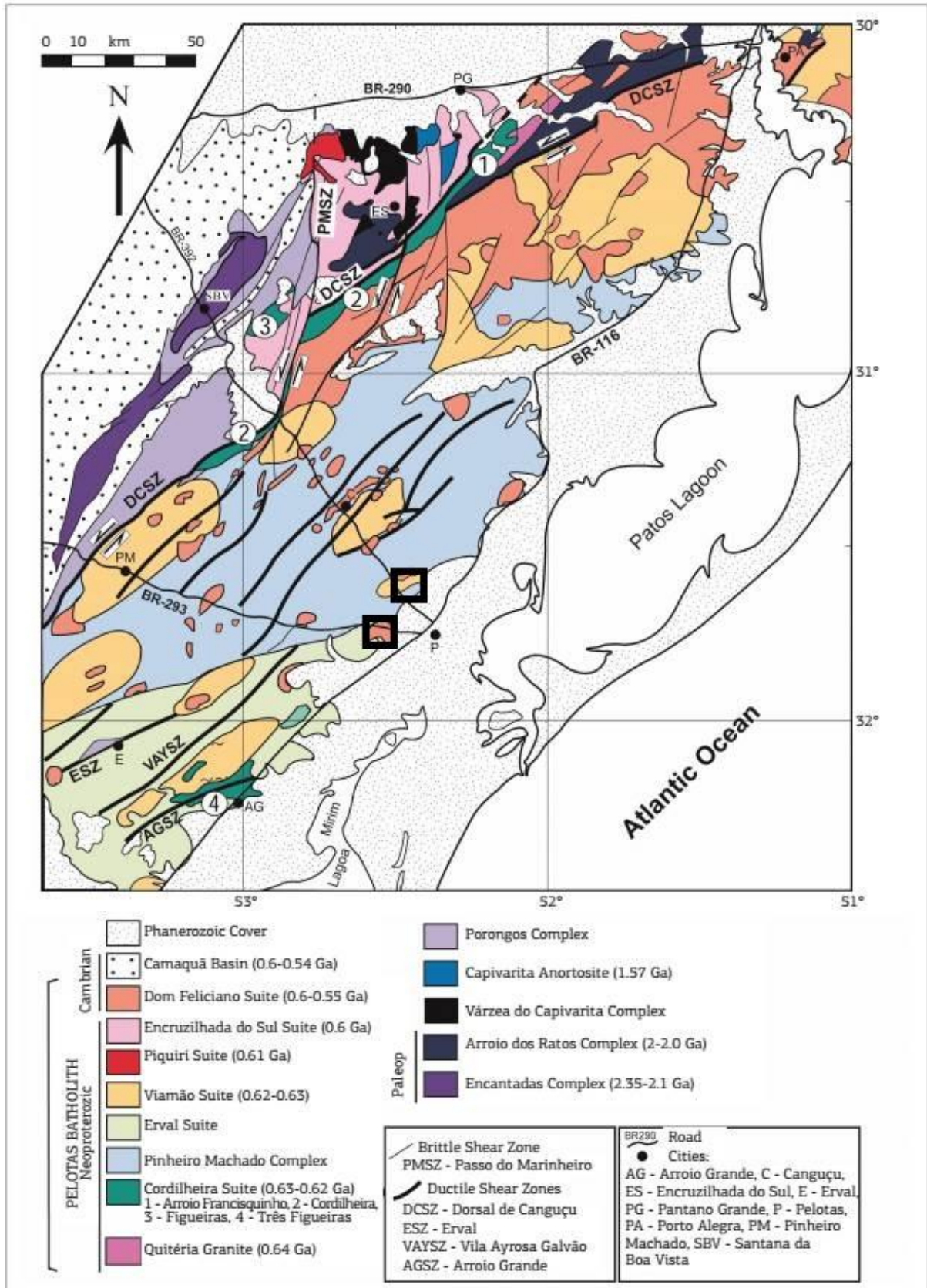
O Batólito Pelotas está situado na porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense e tem cerca de 400 km de comprimento e entre 80 km e 120 km de largura (PHILIPP et al., 2002). Tem continuidade para norte, em Santa Catarina, e para sul, no Uruguai.

O batólito é um complexo plutônico composto de várias suítes, cujo magmatismo teve duração de cerca de 70 Ma (entre 630 Ma e 570 Ma) (PHILIPP et al., 2002). A formação do batólito resulta da adição de distintos processos tectônicos durante o Ciclo Brasiliano/Pan-africano e se postulam para a mesma modelos que envolvem a subducção de litosfera oceânica em margem continental espessa (Figueiredo et al., 1990; Philipp, 1990; Fragozo Cesar, 1991; Philipp et al., 1993;

Philipp, 1998; Chemale Jr., 2000 apud Philipp et al, 2002), colisão continental (Hartmann et al., 2000; Philipp & Machado, 2001 apud Philipp et al., 2002) e reativação de fontes mantélicas modificadas em períodos tardi a pós-colisional (Bitencourt & Nardi, 1993; Bitencourt & Nardi, 2000 apud Philipp et al., 2002). Chemale Jr (2000) relaciona à orogênese Dom Feliciano, estágio final do Ciclo Brasileiro.

No batólito foram caracterizadas seis suítes graníticas denominadas de Pinheiro Machado, Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira, Dom Feliciano e a Suíte Piquiri, de acordo com Philipp et al. (2007) (Figura 5). Os corpos básicos mais expressivos ocorrem nas imediações das cidades de Pinheiro Machado e Dom Feliciano, tendo sido descritos como Gabros Passo da Fabiana (Fragoso Cesar, 1991 apud Philipp et al., 2002) e o Diorito Capim Branco (Wildner & Ramgrab, 1994 apud Philipp et al., 2002). As rochas básicas têm sido descritas como associadas geneticamente com as suítes Viamão e Dom Feliciano. Em todas as suítes graníticas ocorrem septos do embasamento, representados por rochas metamórficas de baixo a alto grau (Fragoso Cesar et al., 1986; Philipp, 1990; Philipp, 1998; Philipp & Machado, 2002 apud Philipp et al., 2002).

Figura 5 - Mapa geológico do Batólito Pelotas com localização das áreas de estudo



Fonte: Adaptado de Philipp et al. (2016)

De acordo com Philipp et al. (1991), a Suíte Pinheiro Machado é cálcio-alcalina, médio a alto-K, metaluminosa a fracamente peraluminosa. As Suítes Viamão e Cordilheira têm afinidade cálcio-alcalina alto-K, mas diferem entre si pelo caráter metaluminoso a fracamente peraluminoso da primeira e peraluminoso da última. Os sienitos da Suíte Piquirí têm afinidade shoshonítica, enquanto os granitos da Suíte Encruzilhada do Sul são alcalinos e metaluminosos. Na sua ampla maioria, os corpos graníticos da Suíte Dom Feliciano são cálcio-alcalinos alto-K, com elevado grau de diferenciação (SiO entre 75 e 78%). São registradas nesta suíte rochas com tendência alcalina metaluminosa e peralcalina, representadas respectivamente por diques riolíticos e pelo Granito Bela Vista.

Suíte Pinheiro Machado: De acordo com Philipp et al. (2002), esta suíte ocupa faixa alongada na direção NE-SW na porção central do Batólito de Pelotas e perfaz cerca de 30% de sua área. É a suíte mais antiga do batólito. Caracteriza-se pela presença de foliação de baixo ângulo. Possui composição expandida, de granodiorítica a monzogranítica, com tonalitos, dioritos e quartzo-dioritos subordinados. Estas rochas apresentam cor cinza, textura equigranular hipidiomórfica média a grossa, localmente inequigranular, com pequenas proporções de fenocristais (1 a 3 cm) esparsos de feldspato potássico. O plagioclásio é eudral, branco; o quartzo é amebóide; a biotita é eudral e ocorre em agregados intersticiais. O feldspato potássico é ortoclásio, subordinado e intersticial. Os minerais acessórios compreendem zircão, allanita, apatita, titanita e minerais opacos. Esta suíte exibe evidências de mistura homogênea e heterogênea entre os líquidos graníticos e os líquidos máficos geradores de enclaves microgranulares de composição diorítica, quartzo-diorítica e tonalítica. Os enclaves são centimétricos, arredondados a subarredondados. Os seus contatos com as rochas granitóides encaixantes são definidos por limites curvos a lobados. São encontrados nesta suíte diversos septos do embasamento, constituídos por ortognaisses e metagranitos miloníticos, anfibolitos, gnaisses calci-silicáticos e aluminosos. As rochas da Suíte Pinheiro Machado ocorrem como xenólitos em rochas das suítes Erval, Viamão, Cordilheira e Dom Feliciano.

Suíte Viamão: Segundo Philipp et al. (2002), os granitos desta suíte afloram em diferentes porções do Batólito de Pelotas e ocupam área de cerca de 15% do mesmo. Constituem corpos alongados na direção N40°-50°E, com 25 km a 40 km de comprimento e entre 5 km e 15 km de largura. A colocação dos maciços desta suíte

está associada à movimentação das zonas de cisalhamento de alto ângulo. A variação composicional é dominada por monzogranitos, com granodioritos e sienogranitos subordinados. A textura é porfirítica a heterogranular grossa, com foliação magmática definida pelo alinhamento de fenocristais de feldspato potássico e lamelas de biotita. Esta estrutura é concordante com a foliação milonítica das zonas de cisalhamento de alto ângulo. A maioria dos corpos estudados exhibe estruturas indicativas de mistura heterogênea e homogênea de magmas, com diversos graus de hibridização, envolvendo termos de composição básica a intermediária e ácida. Ocorrem enclaves microgranulares, centimétricos a métricos, por vezes decamétricos, de composição diorítica, em contato gradacional com os granitos onde ocorrem e desenvolvem zonas métricas de termos híbridos. Também ocorrem xenólitos de metagranitóide e ortogneisse com evidências de reduzido grau de assimilação pelo material granítico. Maiores graus de interação com os magmas graníticos foram observados apenas nos xenólitos de pequenas dimensões, com a formação de estruturas fantasmas e bandamento irregular com schlieren de biotita.

Suíte Encruzilhada do Sul: conforme Philipp et al. (2002), os granitos da Suíte Encruzilhada do Sul são restritos à porção NW do batólito e perfazem cerca de 10% de sua área. A suíte é composta pelos granitos Encruzilhada do Sul, Pinheiros, Campinas e Pitangueiras. Os corpos dispõem-se em faixa alongada segundo N40°E, limitada a leste pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu e a oeste pelo Complexo Metamórfico Cerro da Árvore. A Zona de Cisalhamento Passo do Marinheiro, de direção próxima a N-S, afeta estes granitos com intensa cataclase e fraturamento. O Granito Encruzilhada do Sul é o corpo mais expressivo da suíte e contém duas fácies petrográficas principais: biotitagranitos porfiríticos a heterogranulares grossas, acinzentados a róseo-acinzentados ou alaranjados, e leucogranitos equigranulares, rosa e cinza-claros. A fácies porfirítica é dominante e composta por biotita-monzogranitos, subordinadamente biotita granodioritos e dioritos. Rochas da fácies porfirítica contém entre 15% e 40% de fenocristais eudrais de feldspato potássico em matriz equigranular hipidiomórfica constituída por plagioclásio eudral, agregados de biotita eudral e quartzo globular a prismático. Os acessórios compreendem anfibólio, zircão, apatita e minerais opacos. A fácies equigranular é homogênea e consiste de leucossienogranitos cortados por corpos que contém zonas com abundância de enclaves máficos (diorito e quartzo-diorito) microgranulares e zonas híbridas, nas quais são comuns feições de

interação entre o líquido félsico e os corpos intermediários a básicos, resultando em estruturas de mistura heterogênea de magmas e zonas de hibridização (Bitencourt et al., 1993; Vasquez, 1997).

Suíte Piquiri: segundo Philipp et al. (2002), o Sienito Piquiri tem cerca de 130 km² e é intrusivo em uma sequência vulcanosedimentar do estágio pós-colisional do Ciclo Brasileiro. O sienito tem idade estimada em cerca de 600 Ma. O Sienito Piquiri representa um evento magmático de natureza alcalina saturada com afinidade shoshonítica (STABEL et al., 2001 apud PHILIPP et al., 2002). A granulação do sienito varia de grossa no centro a fina nas bordas (Jost et al., 1985; Stabel et al., 2001 apud Philipp et al., 2002), e sua composição varia, no mesmo sentido. O corpo tem proeminente foliação de fluxo ígneo dada pela orientação dos cristais de feldspato, minerais máficos e de enclaves máficos microgranulares (JOST et al., 1985 apud PHILIPP et al., 2002).

Suíte Dom Feliciano: Philipp et al. (2002) diz que esta é a suíte mais jovem do batólito. Ela ocupa cerca de 20% da área do batólito e suas exposições se concentram na porção norte do mesmo. Possui contato tectônico à W com a Suíte Cordilheira, e é intrusiva nas suítes Pinheiro Machado e Viamão e no Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos. O principal corpo da suíte é alongado segundo N50°-60°, tem cerca de 180 km de comprimento e entre 15 km e 45 km de largura. A suíte tem grande homogeneidade composicional, estrutural e petrográfica, e raramente contém enclaves microgranulares máficos e micáceos. Os leucogranitos da suíte são rosados, castanhos e cinza claros. Predominam sienogranitos, aos quais se subordinam ortoclásio-microclínio granitos, quartzo-sienitos e sienitos. Os minerais essenciais são o ortoclásio e/ou microclínio subédrico e quartzo amebóide, com biotita subédrica (1 a 4%) intersticial. Os minerais acessórios são allanita, zircão, titanita, apatita e minerais opacos, por vezes também fluorita, molibdenita e galena.

Suíte Erval: Esta suíte, definida por Philipp (1998), estende-se até o Uruguai e perfaz cerca de 20% da área do batólito. Ocorre na sua extremidade sul e apresenta forma alongada na direção NE-SW. Philipp & Machado (2001) dizem que as rochas desta suíte são homogêneas, textural e composicionalmente, com predomínio de monzogranitos e sienogranitos subordinados. Nos domínios não afetados pela deformação, apresentam estruturas magmáticas preservadas, como alinhamento de cristais euédricos de feldspatos numa textura equigranular-hipidiomórfica. São granitos cinza claro, com plagioclásio prismático acinzentado, feldspato potássico

subédrico branco a rosado, quartzo amebóide e biotita em lamelas euédricas intersticiais. Esta suíte é intensamente afetada por zonas de cisalhamento de alto ângulo, dúcteis e rúptil-dúctil. Dentre elas, destacam-se: Zona de Cisalhamento Erval, Zona de Cisalhamento Ayrosa Galvão e Zona de Cisalhamento Arroio Grande (MACHADO et al., 1995 apud RAMOS, 2011).

Suíte Cordilheira: São corpos alongados na direção N45°E, tabulares, concordantes com a Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu e posicionados sintectonicamente em relação à mesma (PICADA, 1969 e 1971; FERNANDES et al., 1990; KOESTER, 1995; NARDI & FRANTZ, 1995 apud PHILIPP & MACHADO, 2001). De acordo com Philipp & Machado (2001), os leucogranitos desta suíte ocorrem na extremidade oeste do Batólito e perfazem cerca de 5% de sua área. A composição da suíte varia de sienogranítica a granodiorítica, com muscovita, biotita, turmalina, granada, monazita, zircão e minerais opacos. Os corpos da suíte afloram extensamente desde a região de São Jerônimo-Quitéria até Pinheiro Machado. São granitos brancos a cinzentos, com pontuações escuras de biotita. A estrutura é foliada, marcada nas zonas de baixa de deformação pela orientação de muscovita primária e biotita. A foliação possui duas orientações: uma sub-horizontal, magmática, com muscovita orientada, e outra sub-vertical, tectônica, sobretudo em regiões de alta deformação, nas bordas dos corpos, sendo associada às zonas de Cisalhamento dúcteis. Os milonitos e protomilonitos contêm porfiroclastos assimétricos de feldspato potássico, plagioclásio e muscovita.

6 ÁREA DE ESTUDO

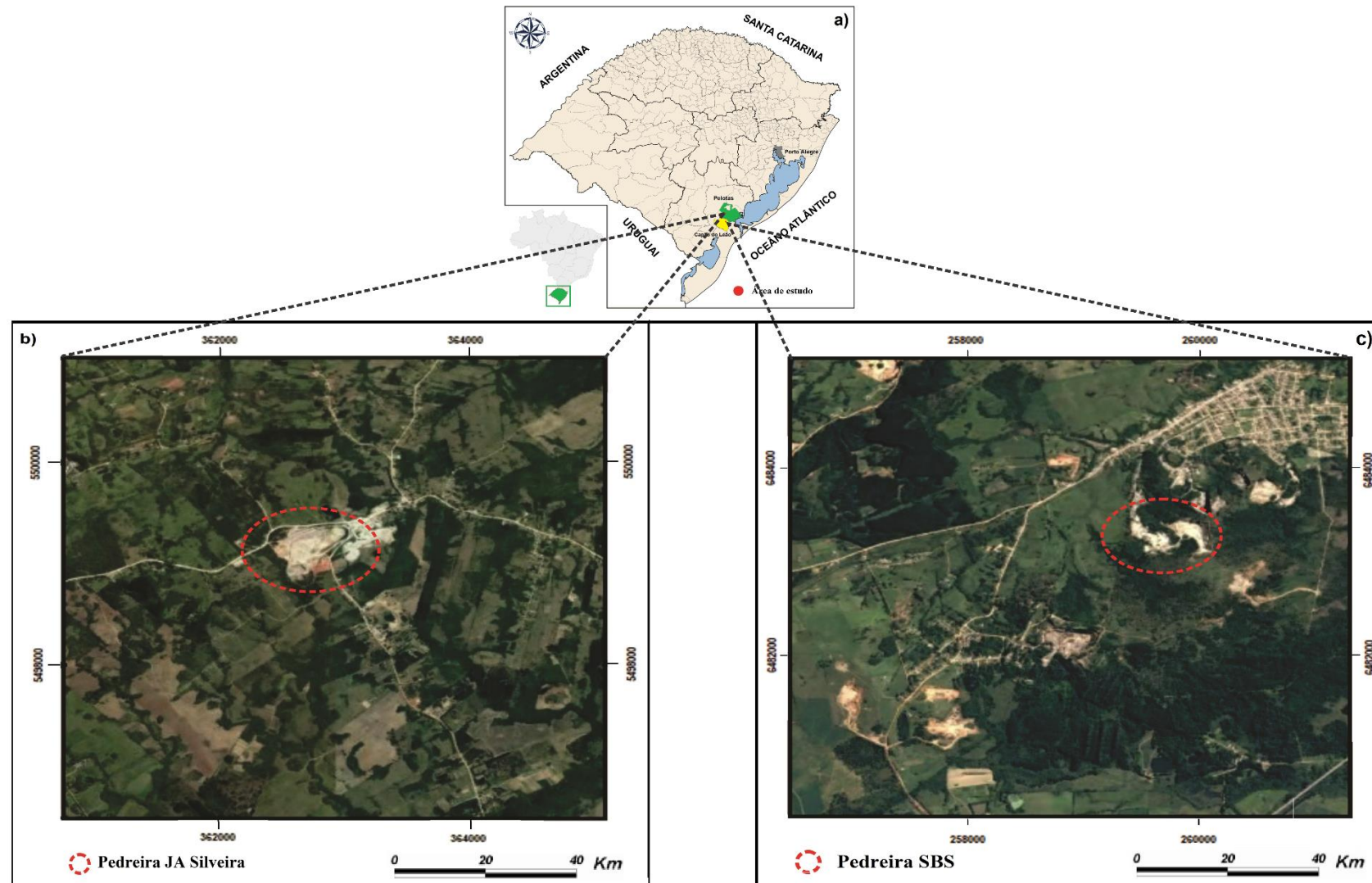
As áreas de estudo estão localizadas à cerca de 28 km de distância uma da outra. A pedreira JA Silveira está localizada no bairro Monte Bonito pertencente ao município de Pelotas, distante aproximadamente 18 Km da cidade de Pelotas e 215 Km da capital do estado, Porto Alegre (Figura 6).

O principal acesso à pedreira é feito partindo da cidade de Pelotas pela BR-392 percorrendo 12 Km a oeste, desde o entroncamento com a BR-116. Em seguida, pega-se uma estrada vicinal não pavimentada e segue-se por 3 Km onde dará acesso a jazida. A pedreira possui aproximadamente 1100 m² e está delimitada pelas coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) 362500 e 363600 mE e 6498600 e 6499500 mS, fuso 22J, utilizando o datum WGS-84.

A pedreira SBS está localizada no município de Capão do Leão, distante aproximadamente 13 Km da cidade de Pelotas e 228 Km da capital do estado, Porto Alegre (Figura 6).

O principal acesso à pedreira é feito partindo da cidade de Pelotas pela BR-116 percorrendo 6 Km a sudoeste, desde o entroncamento com a BR-392. Após percorridos, pega-se a BR-293 e anda-se por 4 Km até o acesso a Capão do Leão. Em seguida, pega-se a avenida Narciso Silva e segue-se por 3 Km até a rua Manoel Santos Vitória onde dará acesso a jazida. A pedreira possui aproximadamente 1200 m² e está delimitada pelas coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) 357700 e 358100 mE e 6493400 e 66483000 mS, fuso 22J, utilizando o datum WGS-84.

Figura 6 - Mapa de localização das áreas de estudo. Em (a) o estado do Rio Grande do Sul, em (b) a pedreira JA Silveira e em (c) a pedreira SBS



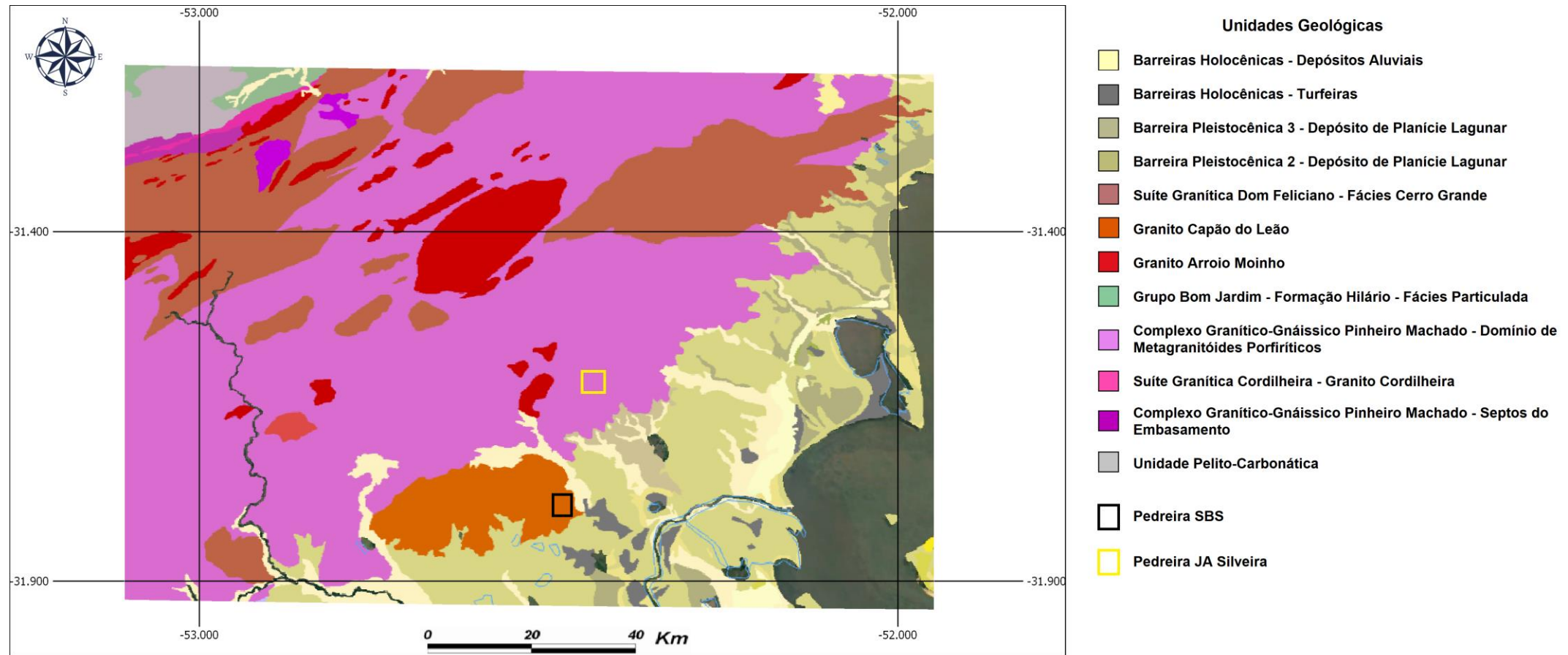
Fonte: Modificado de IBGE (2018) e Google Earth (2018)

7 GEOLOGIA LOCAL

A pedreira JA Silveira está localizada no Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado – Domínio de Metagranitóides Porfíricos, localizado no centro do Batólito de Pelotas (Figura 7). De acordo com Philipp & Campos (2004) apud Loureiro (2013), o Complexo Pinheiro Machado compõem uma faixa alongada na direção NE-SW que corresponde à unidade mais antiga da porção leste do estado e é a única que apresenta uma foliação de baixo ângulo atribuída a um evento de deformação tangencial. Os granitoides deste complexo possuem composição predominantemente granodiorítica a monzogranítica e são caracterizados por um bandamento irregular descontínuo definido por schlieren de biotita. Os granitoides estão cortados por zonas de cisalhamento dúcteis onde as rochas apresentam bandamento e aspecto gnáissico. Segundo Philipp et al. (2002), as datações por Ar-Ar apresentaram idades para o complexo que variam entre 540-530 Ma.

A pedreira SBS está localizada no Granito Capão do Leão (Figura 7). O Granito Capão do Leão está inserido na suíte Dom Feliciano, na borda do Batólito de Pelotas. De acordo com Philipp et al. (2002), o Granito Capão do Leão aflora a W da cidade de Pelotas como corpo subarredondado, com cerca de 10 km de diâmetro e cobrindo uma área de cerca de 200 Km². Trata-se de leucogranito rosa-avermelhado, com textura equigranular hipidiomórfica grossa a média. Apresenta estrutura maciça e é composicional e estruturalmente homogêneo. Apresenta, por vezes, foliação magmática dada pelo alinhamento de cristais de feldspato potássico. Contém raros enclaves microgranulares máficos, arredondados e com dimensões entre 2 a 15 cm. A sua composição dominante é sienogranítica, sendo constituído essencialmente por feldspato potássico róseo e subedral e quartzo amebóide. O plagioclásio é branco e prismático equidimensional. A biotita é rara e intersticial. Titanita, zircão, apatita, allanita, granada e minerais opacos são acessórios. Em termos geocronológicos, Philipp et al. (2002) apresenta uma idade obtida de 583 \pm 3 Ma por Pb-Pb.

Figura 7 - Mapa geológico com a localização das áreas de estudo



Fonte: Adaptado do mapa geológico da CPRM (2006)

8 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, foi primeiramente realizada a revisão bibliográfica (levantamento de dados sobre a área e metodologias), seguido por etapas de campo (coleta de material) e laboratório (estudos petrográficos, confecção de lâminas e ensaios geotécnicos) que serão descritos a seguir.

8.1 Levantamento de dados bibliográficos

A etapa de levantamento bibliográfico constituiu na pesquisa e interação de informações sobre a temática do trabalho, as áreas de estudo e os métodos utilizados. Foram consultadas diversas fontes, tais como artigos científicos, monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado, livros, publicações em congressos e simpósios e projetos de pesquisa. Além disso, foram utilizados mapas, laudos geológico e geotécnicos, fotos e banco de dados concedidos pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde já há registros de trabalhos anteriores realizados pela universidade nestas áreas. Todas as informações coletadas serviram como base para a realização do trabalho e foram somadas com os resultados que foram encontrados no decorrer do projeto para uma maior subsidência e confiabilidade dos resultados que foram obtidos.

8.2 Etapas de campo

Na preparação para os trabalhos de campo, foram analisadas cartas topográficas e imagens de satélite a fim de delimitar as principais vias de acesso para a realização dos trabalhos. Os campos foram realizados nas duas pedreiras em estudo, a fim de realizar a caracterização macroscópica do material rochoso, mineralogia, estruturas (fraturas, falhas, veios), discontinuidades (fluxo de água), grau de alteração, material de preenchimento e para coletar amostras de mão que foram usadas na confecção de lâminas petrográficas e na coleta de pedras britadas nos tamanhos 3/4 e 3/8 que foram utilizadas na realização dos ensaios geotécnicos.

8.3 Estudos petrográficos

Após concluídas as etapas de campo, as amostras de mão coletadas foram analisadas no Laboratório de Mineralogia e Petrografia da Universidade Federal do Pampa e foram descritas de acordo com a norma NBR 7389/92 da ABNT, com foco em composição mineralógica, tamanho de grão, estruturas (fraturas, veios e falhas), grau de alteração e material de preenchimento.

8.4 Confeção de lâminas petrográficas

Após descritas, as amostras foram utilizadas para a confecção de lâminas petrográficas. As lâminas foram confeccionadas no Laboratório de Mineralogia e Petrografia da Universidade Federal do Pampa e foram analisadas no Laboratório de Microscopia da Universidade Federal do Pampa com o auxílio de um microscópio polarizador da marca Zeiss. A análise microscópica teve o enfoque na identificação mais precisa da mineralogia e também a identificação de microestruturas e direções de fluxo.

8.5 Ensaio geotécnicos

As pedras britadas coletadas foram utilizadas na realização de ensaios de caracterização geotécnica do material rochoso. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria. Para Frascá e Frazão (2009) apud Almeida & Luz (2009), a caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade das rochas para futura utilização em obras de engenharia envolvem uma variada gama de ensaios e testes que possuem o objetivo de obter parâmetros químicos, físicos, mecânicos e petrográficos do material rochoso. O presente trabalho utilizará os procedimentos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e pelo Mercosul (NM), que estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Normas brasileiras e internacionais existentes para avaliação das propriedades tecnológicas do presente trabalho

Propriedades	Normas
Petrografia	NBR 7389/92
Granulometria	NBR-NM 248/03
Índice de forma (paquímetro)	NBR 7809/06
Índice de lamelaridade	DAER-RS 108/01
Absorção	NM 53/09
Massa específica na condição seca	NM 53/09
Massa específica na condição saturada superfície seca	NM 53/09
Massa específica aparente	NM 53/09
Massa unitária	NBR-NM 45/06
Índice de volume de vazios	NBR-NM 45/06
Abrasão Los Angeles	NBR-NM 51/01
Treton	DNER-ME 399/99
Esmagamento	DNER-ME 197/97
Sanidade	DNER-ME 89/94

Fonte: Autor

8.5.1 Análise petrográfica

A análise petrográfica foi realizada na forma macroscópica através da observação e descrição da amostra de mão sem e com o auxílio de uma lupa. O objetivo da descrição foi levantar as principais características da rocha, tais como mineralogia, estruturas e textura. Posteriormente foi realizada uma análise microscópica de lâminas delgadas do material com o auxílio de um microscópio polarizador da marca Zeiss. A finalidade da descrição das lâminas foi a correta classificação do material e identificação de microestruturas, composição mais detalhada da rocha e propriedades físicas e mecânicas das mesmas. O processo descrito na instrução de ensaio NBR 7389/92 (Análise petrográfica de agregados) estabelece a metodologia de análise petrográfica, tanto microscópica como

macroscópica para materiais rochosos e prescreve requisitos relacionados à apresentação dos resultados.

8.5.2 Granulometria

O peneiramento das amostras obedece a sequência metodológica estabelecida pela norma da ABNT NBR NM 248/2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica) que descreve a série de peneiras a serem utilizadas (Quadro 1).

Quadro 1 - Conjunto de peneiras sucessivas com as aberturas de malha utilizadas no ensaio de granulometria

Série de peneiras

<i>Série Normal</i>	<i>Série Intermediária</i>
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: ABNT NBR NM 248/2003

Após a passagem da amostra por cada peneira da série, deve-se realizar a pesagem individual das diferentes frações retidas e com umidade natural de cada material sem que houvesse sido lavado antes ou posteriormente com a finalidade de obter a porcentagem de cada fração em relação à massa da amostra inicial de modo como se encontrava na pedreira, para obter assim o traçado da curva granulométrica do material (ABNT NBR NM 248/2003).

8.5.3 Ensaio de forma

Os processos mecânicos de britagem fragmentam a rocha formando um produto que é constituído de fragmentos com forma e dimensões variadas (agregados). A forma das partículas ou dos fragmentos depende da estrutura da rocha e secundariamente de sua textura (PAIVA, 2017). No presente trabalho, os métodos utilizados para determinar o índice de forma foram: índice de forma pelo método do paquímetro e determinação do índice de lamelaridade.

8.5.3.1 Índice de forma (paquímetro)

A determinação do índice de forma do agregado pelo paquímetro é determinado pela média da relação entre o comprimento (c), que é a maior dimensão possível de ser medida e a espessura (e), que é a menor distância entre planos paralelos das faces dos grãos do agregado (NBR 7809/06). O resultado padrão do ensaio é entre 1 e 3, quanto mais próximo de 3 mais lamelar é o agregado e quanto mais próximo de 1 mais cúbico é o agregado.

8.5.3.2 Índice de lamelaridade

O índice de lamelaridade é obtido de acordo com a norma DAER/RS 108/01. São utilizadas 200 partículas de cada fração retida de acordo com o tamanho dos grãos da amostra, no caso do presente trabalho, os tamanhos de grãos são 3/4 e 3/8. Assim, no caso dos grãos 3/4, utilizará as peneiras 1/2 (12,7 mm), 3/8 (9,52 mm) e 1/4 (6,35 mm). Já para as amostras 3/8, utilizará somente a peneira 1/4 (6,35 mm).

Esse índice permite classificar o agregado como lamelar ou não-lamelar de acordo com sua espessura que deve ser menor ou igual a 0,6 da sua dimensão nominal.

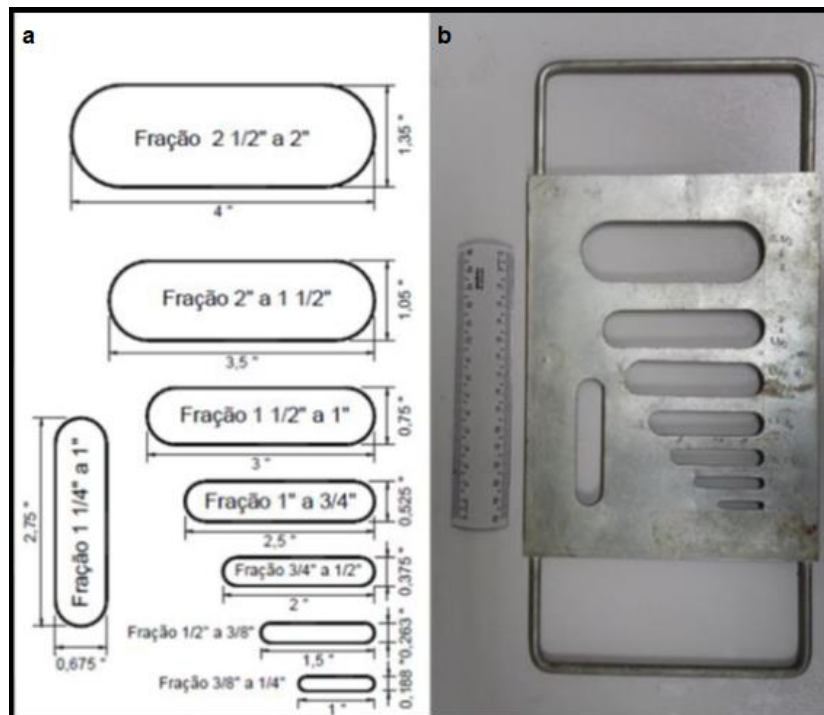
Quadro 2 - Relação entre tamanho do agregado e dimensões das aberturas da placa

Tamanho do agregado		Dimensões das aberturas	
Passa na peneira	Retido na peneira	Largura	Comprimento
2 1/2" (63,5 mm)	2" (50,8 mm)	1,35" (34,3 mm)	4" (101,6 mm)
2" (50,8 mm)	1 1/2" (38,1 mm)	1,05" (26,7 mm)	3,5" (88,9 mm)
1 1/2" (38,1 mm)	1 1/4" (31,8 mm)	0,75" (19,1 mm)	3" (76,2 mm)
1 1/4" (31,8 mm)	1" (25,4 mm)	0,675" (17,2 mm)	2,75" (69,9 mm)
1" (25,4 mm)	3/4" (19,1 mm)	0,525" (13,3 mm)	2,5" (63,5 mm)
3/4" (19,1 mm)	1/2" (12,7 mm)	0,375" (9,53 mm)	2,0" (50,8 mm)
1/2" (12,7 mm)	3/8" (9,52 mm)	0,263" (6,68 mm)	1,5" (38,1 mm)
3/8" (9,52 mm)	1/4" (6,35 mm)	0,188" (4,78 mm)	1,0" (25,4 mm)

Fonte: DAER (2001)

Determina-se na placa de lamelaridade (Figura 8), as porcentagens passantes e retidas. O índice de lamelaridade corresponde ao quociente entre a massa das partículas lamelares passantes na abertura da placa pela massa total da amostra, expresso em porcentagem.

Figura 8 - Placa utilizada para o ensaio de lamelaridade. Em a especificando os tamanhos das aberturas da placa e em b a placa utilizada para realização do ensaio



Fonte: Modificado de Paiva (2017)

8.5.4 Ensaio físicos

Os ensaios físicos são usados para determinar propriedades como densidade, absorção, massa específica, massa aparente, massa unitária e volume de vazios dos agregados. Propriedades como mineralogia, microestruturas, grau de compactação e porosidade interferem nos resultados destes ensaios.

8.5.4.1 Absorção

Segundo a norma NM 53/09 (Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água), a absorção é definida como o aumento da massa do agregado, devido ao preenchimento dos seus poros por água, expresso como porcentagem de sua massa seca. O material deve ser lavado e em seguida colocado em uma estufa por 24 horas. Após isso, deve ser determinado seu peso seco. A absorção é dada pela relação da massa do material após um período de 24 horas submerso em água pela massa inicial da amostra seca, seguindo a Equação 1. A recomendação é utilizar materiais com absorção menor que 3%.

$$a = \frac{(B-A)}{A} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

a = absorção de água, expressa em %;

B = massa da amostra na condição saturada superfície seca, em g;

A = massa da amostra seca, em g.

8.5.4.2 Massa específica na condição seca

Segundo a norma NM 53/09 (Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água), a massa específica na condição seca é definida como a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os vazios permeáveis. É obtida pela Equação 2.

$$\gamma_s = \frac{A}{A - C}$$

Eq. 2

Onde:

γ_s = massa específica do agregado na condição seca, em g/cm³;

A = massa do agregado seco, em g;

C = massa do agregado imerso em água.

8.5.4.3 Massa específica na condição saturada superfície seca

É definida como a relação entre a massa do agregado na condição saturada superfície seca e o seu volume, excluindo os vazios permeáveis. É obtida através da Equação 3.

$$\gamma_{sss} = \frac{B}{B - C}$$

Eq. 3

Onde:

γ_{sss} = massa específica do agregado na condição saturada superfície seca, em g/cm³;

B = massa do agregado na condição saturada superfície seca, em g;

C = massa do agregado imerso em água.

8.5.4.4 Massa específica aparente

É definida como a massa específica do agregado seco e é determinada pelo seu correspondente volume deslocado de água. É obtida através da Equação 4.

$$\gamma_{ssa} = \frac{A}{B - C}$$

Eq. 4

Onde:

γ_{ssa} = massa específica aparente;

A = massa do agregado seco, em g;

B = massa do agregado na condição saturada superfície seca, em g;

C = massa do agregado imerso em água.

8.5.4.5 Massa unitária

A massa unitária é definida pela NBR NM 45/2006 (Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios) como a relação entre a massa não compactada do material e o seu volume. O método empregado foi o Método C pelo qual se determina a massa unitária do material no estado solto. A massa unitária depende do nível de compactação do agregado e, portanto, para um material com determinada massa específica, a massa unitária dependerá da granulometria e da forma das partículas.

O cálculo para a obtenção da massa unitária está representado na Equação 5.

$$\rho_{ap} = \frac{M_{ar} - M_r}{V}$$

Eq. 5

Onde:

ρ_{ap} = Massa unitária do agregado, em kg/m³;

V = Volume do recipiente, em m³;

M_{ar} = massa do recipiente com o agregado, em kg;

M_r = massa do recipiente vazio, em kg.

8.5.4.6 Índice de volume de vazios

É definido como o espaço entre os grãos de uma massa de agregado. É obtido através da Equação 6.

$$E_v = \frac{100[(d_1 \rho_w) - \rho_{ap}]}{d_1 \rho_w}$$

Eq. 6

Onde:

E_v = Índice de volume de vazios

ρ_{ap} = Massa unitária do agregado, em kg/m³;

d_1 = Massa específica do agregado seco;

ρ_w = Massa específica da água, em kg/m³.

8.5.5 Ensaio mecânicos

São ensaios que determinam a resistência do agregado. No presente trabalho foram abordados desgaste, abrasão e esmagamento. As características da rocha que interferem nos resultados destes ensaios são principalmente tenacidade e dureza. Características secundárias que também interferem nos ensaios são microestruturas e presença de minerais de alteração.

8.5.5.1 Abrasão Los Angeles

A norma NBR NM 51/01 (Agregado graúdo - Ensaio de abrasão Los Angeles) define o ensaio como sendo o desgaste sofrido pelo agregado, quando colocado na máquina Los Angeles juntamente com uma carga abrasiva. O desgaste é convencionalmente expresso pela porcentagem, em peso, do material que passa, após o ensaio, pela peneira de malhas quadradas de 1,7 mm (ABNT nº12). A abrasão Los Angeles é determinada pela Equação 7.

$$A_n = \frac{m_n - m'_n}{m_n} \times 100 \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

A_n = abrasão Los Angeles da graduação n, com aproximação de 1%;

M_n = massa total da amostra seca, colocada na máquina;

M'_n = massa da amostra lavada e seca, após o ensaio (retirada da peneira de 1,7 mm);

n = graduação escolhida para o ensaio.

8.5.5.2 Determinação da perda ao choque no aparelho Treton

Segundo o DNER-ME 399/99 (Agregados – Determinação da perda ao choque no aparelho Treton), a amostra para ensaio deve ser constituída de partículas passando na peneira de 19 mm e retidas na peneira de 16 mm, escolhidas as partículas de forma cúbica, bem angulares e de aproximadamente mesmo tamanho. O peso em gramas, da amostra a ensaiar, deve ser 50 vezes a massa específica aparente das partículas do agregado a ensaiar, sendo tolerada uma diferença de +/- 3 gramas. O número de partículas para cada ensaio deve ser

entre 15 e 20. A diferença entre a massa original da amostra e do material retido na peneira de 1,7 mm será expressa como porcentagem da massa original da amostra, e anotada como a perda ao choque da amostra ensaiada. A perda ao choque do material ensaiado é a média aritmética dos resultados obtidos no mínimo em 3 ensaios. A perda ao choque é calculada através da Equação 8.

$$T = \frac{M_r}{M_i} \times 100 \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

T = perda ao choque (Tretón), expressa em %;

M_r = massa do material retido na peneira de 1,7 mm, em g;

M_i = massa original da amostra, em g.

8.5.5.3 Esmagamento

A norma DNER ME 197/97 (Agregados – Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos) simula o efeito da compressão da compactação durante a construção em campo ou pelo tráfego dos veículos no pavimento levando ao desgaste do material pelo atrito interno. O material deve ser peneirado, seco, pesado, e, em seguida, submetido a compactação. Após isso, o corpo de prova retido na peneira de 2,4 mm deverá ser pesado. A resistência do agregado ao esmagamento é calculada pela redução da massa em relação a sua massa inicial em porcentagem conforme a Equação 9.

$$R = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

R = resistência do agregado ao esmagamento, expresso em %;

M_i = massa inicial da amostra seca antes do ensaio, em g;

M_f = massa final do material retido na peneira 2,4 mm, em g.

8.5.6 Ensaio químicos

Este ensaio tem como objetivo determinar a quantidade de material que é perdida quando em contato com uma solução. Propriedades como mineralogia, microestruturas e minerais de alteração influenciam no resultado do ensaio.

8.5.6.1 Sanidade (alterabilidade)

A característica de resistência à desintegração química é quantificada através de ensaio que consiste em atacar o agregado com solução saturada de sulfato de sódio ou de magnésio aumentando a desintegração da amostra simulando o efeito do tempo, conforme método DNER-ME 089/94 (Agregados - Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio). O ensaio ocorre na imersão do agregado na solução permanecendo submerso de 16 a 18 horas de modo que o nível da solução fique 1 cm acima da amostra, seguidos de secagem em estufa até a constância de peso. A Equação 10 introduz a fórmula para o cálculo da alterabilidade do material.

$$S = \frac{(A+B)}{100} \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

S = perda de massa, expresso em %;

A = % retida das frações da composição granulométrica, expresso em %;

B = média ponderada entre o peso da fração da amostra antes e depois do ensaio, expresso em %.

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Quadro 3 demonstra os resultados de todos os ensaios realizados. Em seguida são descritos cada um dos ensaios realizados, bem como os resultados obtidos.

Os resultados da pedreira SBS foram obtidos de Back (2018) e foram utilizados para complementar a pesquisa e realizar uma correlação com os resultados encontrados na pedreira JA Silveira.

Quadro 3 – Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica

Pedreira	JA Silveira	SBS*
Rocha	Monzogranito	Sienogranito
Textura	Fanerítica grossa	Fanerítica grossa
Estruturas	Maciça	Maciça com foliação em alguns pontos
Paquímetro 3/4	1.57	1.99
Paquímetro 3/8	2.5	2.61
Lamellaridade (%) 3/4	23.1	24.96
Lamellaridade (%) 3/8	27.88	37.75
Absorção (%) 3/4	0.54	0.69
Absorção (%) 3/8	1.46	1.05
Massa específica cond. seca (g/cm ³) 3/4	2.75	2.66
Massa específica cond. seca (g/cm ³) 3/8	2.55	2.58
Massa específica cond. sat. sup. seca (g/cm ³) 3/4	2.77	2.63
Massa específica cond. sat. sup. seca (g/cm ³) 3/8	2.59	2.54
Massa específica aparente (g/cm ³) 3/4	2.8	2.61
Massa específica aparente (g/cm ³) 3/8	2.65	2.51
Massa unitária (kg/dm ³) 3/4	1.39	1.4
Massa unitária (kg/dm ³) 3/8	1.21	1.35
Índice de volume de vazios (%) 3/4	0.05	0.05
Índice de volume de vazios (%) 3/8	0.05	0.05
Abrasão Los Angeles (%)	22.2	26.39
Treton (%)	14.22	18.7
Esmagamento (%)	22.08	26.38
Sanidade (%) 3/4	1.28	1.72
Sanidade (%) 3/8	8.34	8.98

Fonte: Autor, *Back (2018)

9.1 Análise petrográfica

Após a escolha das jazidas, foram realizadas visitas às pedreiras onde foi realizada a descrição dos maciços rochosos, com enfoque em propriedades como: tipo de rocha, modo de ocorrência, presença de estruturas, grau de alteração, identificação do tipo litológico e demais aspectos pertinentes ao tema do trabalho.

A seleção das amostras de mão que foram coletadas para a fabricação das lâminas petrográficas foi baseado em critérios visuais de representatividade do

material em função das características do maciço rochoso, assim foram coletadas amostras de todos os tipos rochosos que ocorrem na jazida para que houvesse uma representatividade mais significativa. O material britado utilizado na pesquisa foi coletado das pilhas “3/4” e “3/8”, localizadas nas praças de britagens das diferentes pedreiras.

9.1.1 Pedreira JA Silveira

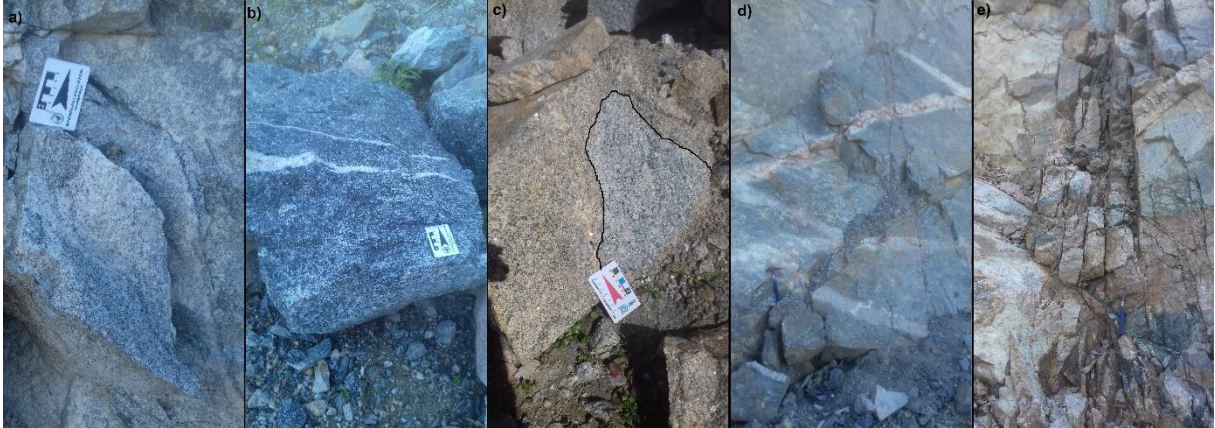
Figura 9 - Vista frontal da pedreira JA Silveira



Fonte: Autor

A pedreira JA Silveira possui uma rocha predominantemente monzogranítica de coloração branca e preta onde predomina o branco. Porém ocorre bastante heterogeneidade ao longo da jazida, ocorrendo também granodioritos de coloração branca e preta onde predomina o preto, porções de sienogranitos de coloração predominantemente rosada e também veios de pegmatito e quartzo presentes em todas as partes da pedreira. A Figura 9 mostra uma visão frontal da jazida e a Figura 10 e a Figura 11 demonstram em detalhes os diferentes tipos litológicos encontrados na jazida.

Figura 10 - Diferentes tipos litológicos encontrados na pedreira. Em (a) o monzogranito, em (b) o granodiorito sendo cortado por veios de quartzo, em (c) uma rocha perto de uma falha com destaque para a diferença entre a rocha sã e a rocha alterada, em (d) uma foto do monzogranito com destaque para os veios de pegmatito que cortam a rocha e em (e) uma falha com destaque para a presença de uma rocha mais alterada e friável



Fonte: Autor

A textura é predominantemente fanerítica inequigranular, predominando os grãos mais grossos (cerca de 1 cm). A estrutura é maciça com presença de fraturas ao longo de toda pedreira. A rocha é predominantemente sã ou pouco alterada ao longo de toda a pedreira, com exceção de zonas de falhas, onde ocorrem rochas mais friáveis devido à percolação de água e mais alteradas por óxidos.

Figura 11 - Foto de uma parte da jazida onde fica bem evidente a heterogeneidade da mesma. Em (a) ocorre monzogranito, em (b) granodiorito, em (c) veios de pegmatito e em (d) rocha alterada



Fonte: Autor

Foram coletadas 9 amostras de mão ao longo de todas as porções da pedreira e elas foram descritas macroscópica e microscopicamente segundo as normas da NBR 7389/92 (Análise petrográfica de agregados). As Tabelas 4 à 12 descrevem os resultados obtidos através da análise petrográfica.

As amostras são descritas como monzograníticas com tendências à granodioríticas. Texturalmente são inequigranulares, hipidiomórficas, mesocráticas, holocristalinas e faneríticas média a grossa. Os quartzos são subédricos com pontuais extinções ondulantes, de tamanho médio 0,3 mm a 1 mm. Os plagioclásios constituem a maioria da composição das rochas. São subédricos e, por vezes, apresentam argilização. Ocorrem casualmente como glomeropórfiros associados a máficos, de tamanho 0,2 mm a 1 mm. Os feldspatos são constituintes subordinados na composição e encontram-se argilizados, anédricos a subédricos e, às vezes, ocorrem de forma intersticial com limites não muito definidos. As biotitas são subédricas com ocorrência intersticial, sofrem cloritização, aparecem em glomeropórfiros de tamanho médio de 0,4 mm. A sericita ocorre entre os plagioclásios, sendo resultado de alteração. Ela é anédrica e alongada com tamanho

variando de 0,1 mm até 0,6 mm. Hornblendas aparecem pontualmente em estado alterado associadas às biotitas subédricas, com tamanho médio de 0,3 mm.

Tabela 4 - Análise Petrográfica da Amostra 1 da Pedreira JA Silveira


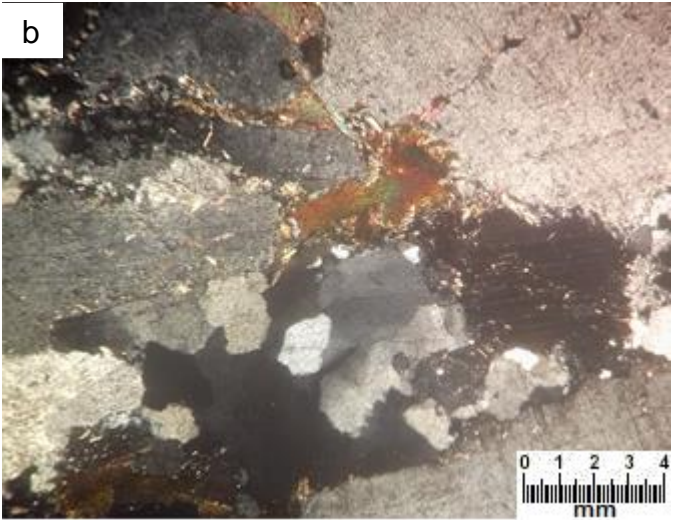
ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira Silveira – Amostra 1
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Monzogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 45% Quartzo, 40% Plagioclásio e 15% Biotita
Minerais acessórios: Pirita, Sericita, Microclínio e Óxidos
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Sericita e Óxidos
Características
Cor: Branca, preta e cinza (estado seco) / Cinza escura e preta (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica média
Estado de alteração: Rocha pouco alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha muito coerente
Potencial de utilização: Revestimento, rocha ornamental e pedra britada
Observações adicionais: Amostra retirada da frente de lavra. A presença de minerais de sericita na composição da rocha pode interferir no seu uso como agregado, pois a sericita é um mineral hidratado e a presença de água no uso do agregado pode acelerar o processo de alteração do mesmo
Microscopia ótica
Ocorre uma pequena quantidade de sericita nos minerais de plagioclásio, indicando um estado de alteração.
Fotos
Figura 12 - Detalhes da amostra 1. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz polarizada mostrando quartzo (em cinza), plagioclásio (em preto), biotita (marrom) e sericita (pontinhos claros no plagioclásio preto) (aumento 5x).
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>b</p>  </div> </div>

Tabela 5 - Análise Petrográfica da Amostra 2 da Pedreira JA Silveira


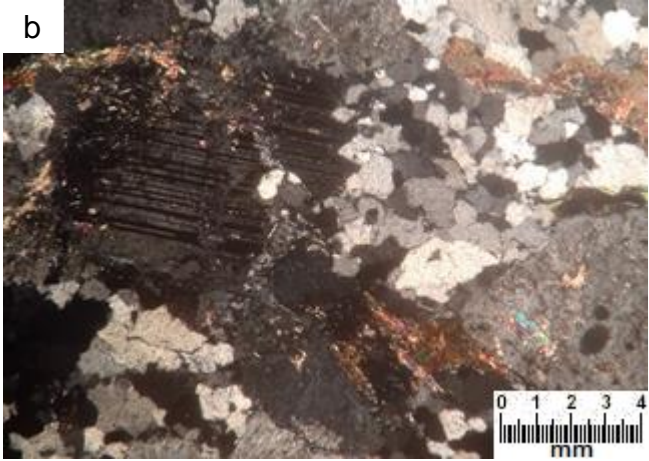
ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira Silveira – Amostra 2
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Monzogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 50% Quartzo, 20% Plagioclásio e 15% Biotita
Minerais acessórios: 5% Óxidos
Minerais carbonáticos: Presentes em quantidade muito pequena
Minerais deletérios: Óxidos
Características
Cor: Branca e preta (estado seco) / Preta e cinza escura (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica inequigranular
Estado de alteração: Rocha pouco alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha coerente
Potencial de utilização: Revestimento interno e externo, rocha ornamental e pedra britada para uso em concreto, pavimentação e fundações
Observações adicionais: Amostra retirada da frente de lavra
Microscopia ótica
Ocorre presença de bastante quantidade de óxidos, principalmente no contato entre os minerais. Os grãos de quartzo estão bastante oxidados, assim como os de plagioclásio, porém os óxidos se encontram principalmente no quartzo.
Fotos
Figura 13 - Detalhes da amostra 2. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz polarizada mostrando quartzo (grãos de coloração cinza e outros brancos), plagioclásio (grão preto com linhas de clivagem), biotita (grãos marrons) e óxidos no contato entre os grãos (parte colorida próxima ao conto superior da foto) (aumento 5x).
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>b</p>  </div> </div>

Tabela 6 - Análise Petrográfica da Amostra 3 da Pedreira JA Silveira

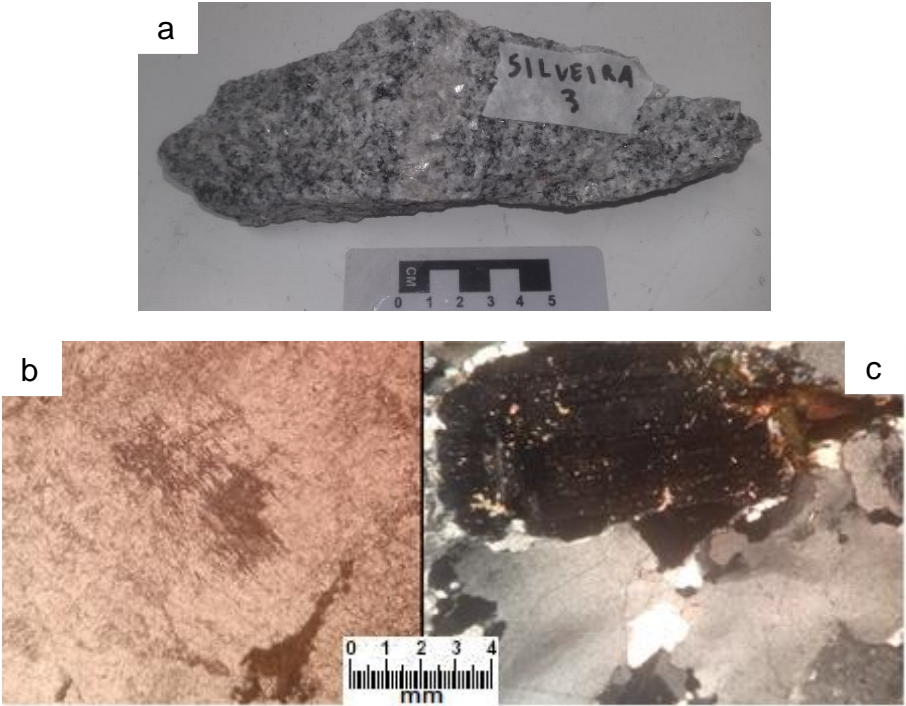
ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira Silveira – Amostra 3
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Monzogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 45% Plagioclásio, 40% Quartzo e 15% Biotita
Minerais acessórios: Óxidos, Sericita e Mircrocínio
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Óxidos e Sericita
Características
Cor: Branca e preta (estado seco) / Preta e cinza (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica inequigranular
Estado de alteração: Rocha pouco alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha coerente
Potencial de utilização: Revestimento, rocha ornamental e pedra britada
Observações adicionais: Possui um veio de quartzo, com cerca de 1 cm cortando a amostra. A presença de sericita pode interferir no uso como agregado
Microscopia ótica
Ocorre grande quantidade de óxidos presentes nos plagioclásios. Ocorre também minerais de sericita, indicando uma alteração dos plagioclásios. As biotitas ocorrem intrudidas por quartzo em grande parte da lâmina
Fotos
Figura 14 - Detalhes da amostra 3. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz natural com destaque para o plagioclásio oxidado. (c) Lâmina petrográfica à luz polarizada mostrando quartzo (cinza), plagioclásio (preto com linhas de clivagem), biotita (marrom) e sericita (minerais claros no plagioclásio preto) (aumento 5x).


Tabela 7 - Análise Petrográfica da Amostra 4 da Pedreira JA Silveira


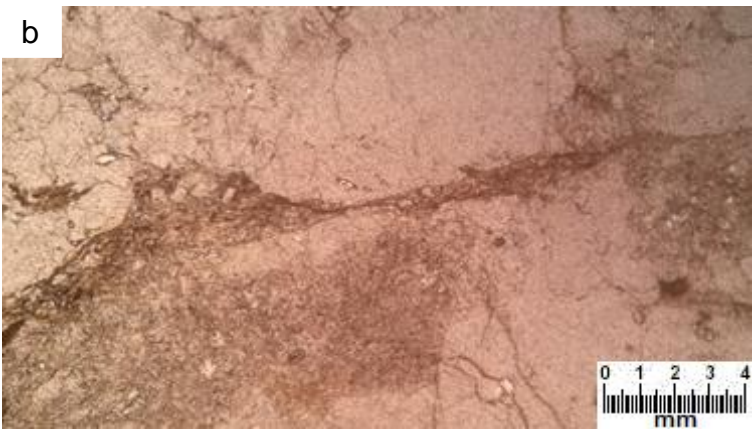
ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira Silveira – Amostra 4
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Monzogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 50% Quartzo e 25% Plagioclásio
Minerais acessórios: 20% Óxidos e 5% Biotita
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Óxidos
Características
Cor: Branca, preta e amarelada (estado seco) / Preta e amarelada (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica inequigranular
Estado de alteração: Rocha alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha pouco coerente
Potencial de utilização: Não é recomendado utilizar esta rocha como agregado
Observações adicionais: Ocorre uma intrusão de pegmatito em uma parte da amostra. O pegmatito é composto por quartzo, plagioclásio e óxidos
Microscopia ótica
Ocorrem microfraturas preenchidas por óxidos no quartzo e no plagioclásio. Ocorre grande quantidade de óxidos que se encontram nas microfraturas, nos contatos entre os grãos e como alteração do quartzo e do plagioclásio
Fotos
Figura 15 - Detalhes da amostra 4. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz natural com destaque para as microfraturas e os contatos entre os grãos, ambos preenchidos por óxidos (aumento 5x).
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>b</p>  </div> </div>

Tabela 8 - Análise Petrográfica da Amostra 5 da Pedreira JA Silveira

ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira Silveira – Amostra 5
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Monzogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 45% Quartzo e 35% Plagioclásio
Minerais acessórios: 15% Óxidos e 5% Biotita
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Óxidos
Características
Cor: Branca, preta e amarelada (estado seco) / Preta, cinza e amarelada (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica inequigranular
Estado de alteração: Rocha alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha friável
Potencial de utilização: Esta rocha não tem potencial para utilização como agregado
Observações adicionais: Esta amostra foi retirada de um local onde ocorre uma falha, onde ocorreu percolação de água. A rocha está bem alterada, principalmente nos plagioclásios. O alto grau de alteração impossibilitou a confecção de lâmina petrográfica
Fotos

Figura 16 - Detalhes da amostra 5. (a) Amostra de mão.

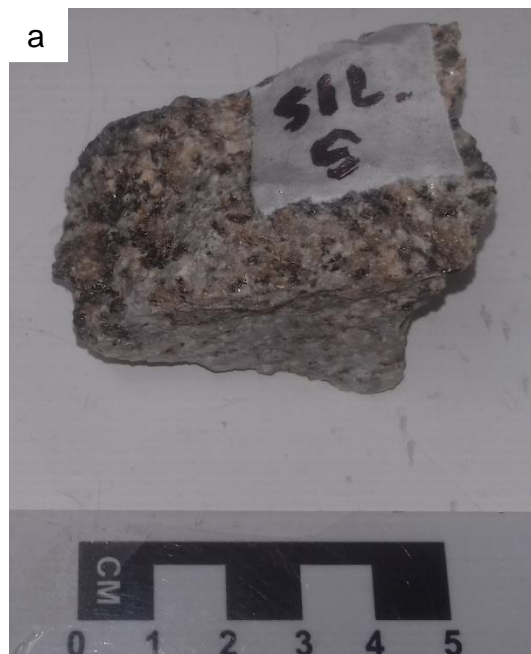


Tabela 9 - Análise Petrográfica da Amostra 6 da Pedreira JA Silveira

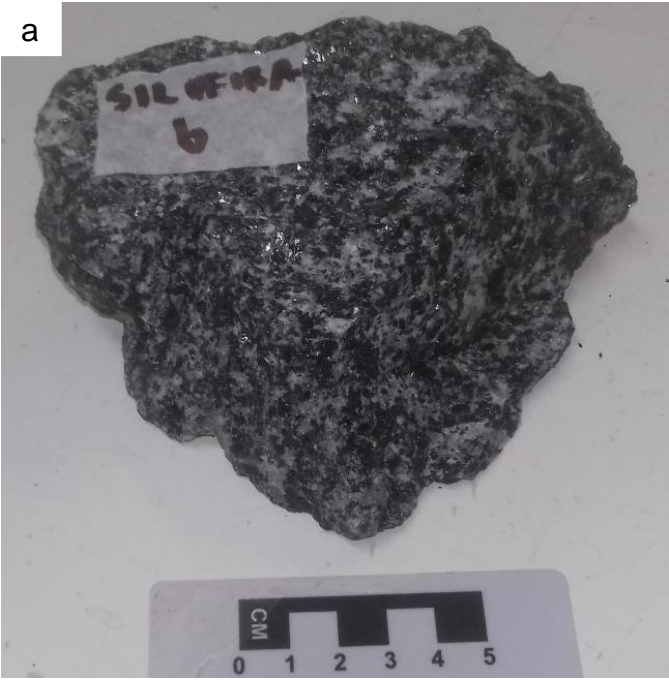

ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira Silveira – Amostra 6
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Granodiorito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 50% Biotita, 40% Plagioclásio e 10% Quartzo
Minerais acessórios: Pirita, Hornlenda e Óxidos
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Óxidos
Características
Cor: Branca, preta e cinza (estado seco) / Cinza escura e preta (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica inequigranular
Estado de alteração: Rocha pouco alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha muito coerente
Potencial de utilização: Revestimento interno e externo, rocha ornamental e pedra britada para uso em concreto, pavimentação, lastros ferroviários e fundações
Observações adicionais: Esta amostra foi retirada de um bolsão de granodiorito que intrude o monzogranito ao longo de toda a pedreira.
Microscopia ótica
As biotitas ocorrem próximas umas das outras. Ocorrem minerais de hornblenda associados à biotita. Ocorrem pequenas quantidades de óxidos, porém são muito isoladas e pontuais
Fotos
Figura 17 - Detalhes da amostra 6. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz polarizada mostrando a dominância de biotita (marrom) na composição, plagioclásios (listrados) e quartzo (cinza, preto e branco) (aumento 5x).
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>b</p>  </div> </div>

Tabela 10 - Análise Petrográfica da Amostra 7 da Pedreira JA Silveira

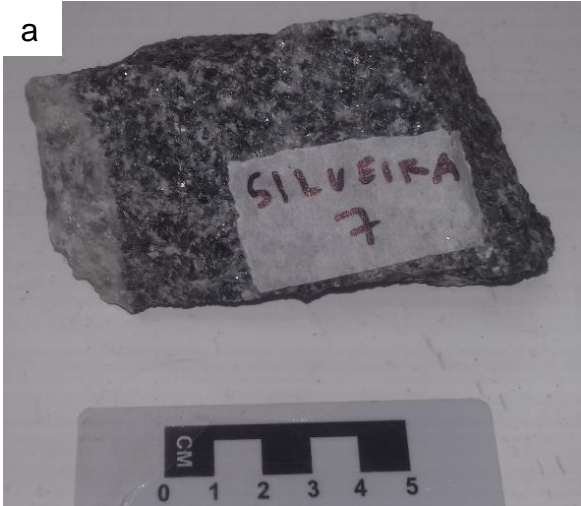
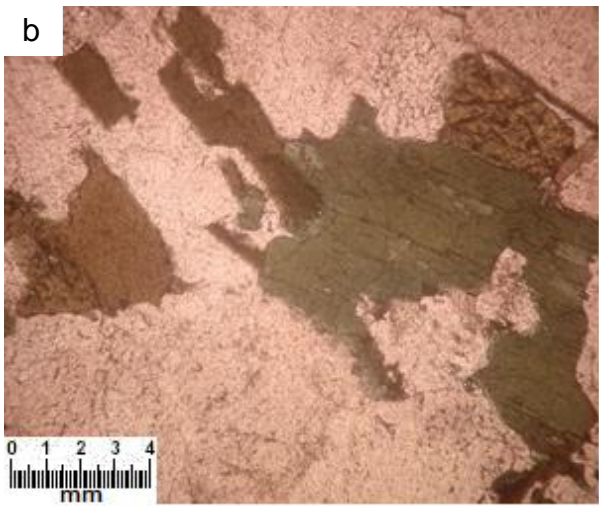
ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira Silveira – Amostra 7
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Monzogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 45% Biotita, 35% Plagioclásio e 10% Quartzó
Minerais acessórios: Pirita e Hornblenda
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Ausentes
Características
Cor: Branca e preta (estado seco) / Preta e cinza escura (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica inequigranular
Estado de alteração: Rocha sã
Propriedades físico-mecânicas: Rocha muito coerente
Potencial de utilização: Revestimento interno e externo, rocha ornamental e pedra britada para uso em concreto, pavimentação, lastros ferroviários e fundações
Observações adicionais: Ocorre um veio de quartzó com cerca de 1 cm que corta um parte da amostra
Microscopia ótica
Ocorrem hornblendas associadas à biotita. Não foi visualizada presença de óxidos e nenhum mineral deletério
Fotos
Figura 18 - Detalhes da amostra 7. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz natural mostrando a presença de biotita (marrom) e hornblensa (verde) (aumento 5x).
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>b</p>  </div> </div>

Tabela 11 - Análise Petrográfica da Amostra 8 da Pedreira JA Silveira


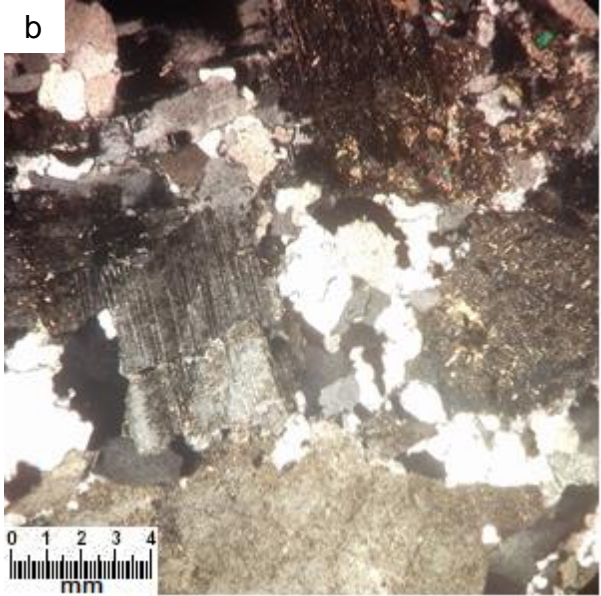
ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira Silveira – Amostra 8
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sienogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 45% Feldspato Alcalino, 30% Quartzo e 20% Plagioclásio
Minerais acessórios: 5% Biotita, Óxidos e Clorita
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Óxidos e Clorita
Características
Cor: Branca e rosa (estado seco) / Branca e rosa escura (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica inequigranular
Estado de alteração: Rocha pouco alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha coerente
Potencial de utilização: Revestimento, rocha ornamental e pedra britada
Observações adicionais: Esta amostra foi retirada ao lado de uma falha, sendo a única parte da pedreira onde ocorre esse tipo de rocha. A clorita e os óxidos estão presentes em função da alteração dos feldspatos
Microscopia ótica
Os cristais de feldspato alcalino ocorrem bastante alterados com presença de óxidos e clorita. Ocorrem microfraturas em alguns grãos de quartzo e estas microfraturas estão preenchidas por óxidos.
Fotos
Figura 19 - Detalhes da amostra 8. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz polarizada mostrando plagioclásio (listrado), quartzo (grãos brancos e grãos pretos) e feldspato alcalino alterado com presença de óxidos e clorita (grãos escuros com minerais claros) (aumento 5x).
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>b</p>  </div> </div>

Tabela 12 - Análise Petrográfica da Amostra 9 da Pedreira JA Silveira

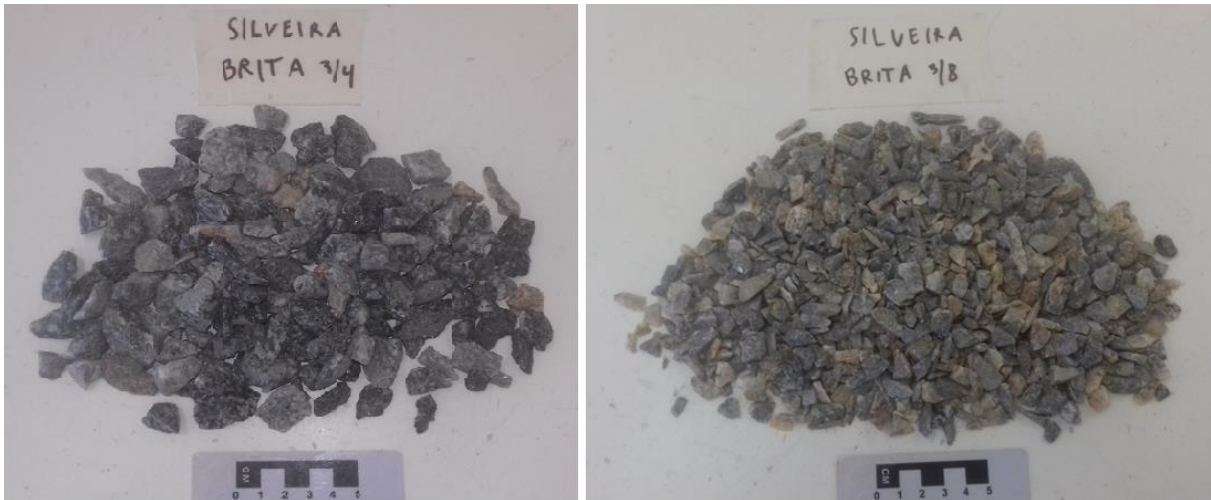
ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira Silveira – Amostra 9
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Granito – Devido ao elevado grau de alteração, não foi possível identificar o tipo de granito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 40% Argilominerais, 30% Quartzos e 15% Plagioclásio
Minerais acessórios: 10% Óxidos, 5% Biotita e Clorita
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Argilominerais, Óxidos e Clorita
Características
Cor: Amarelada (estado seco) / Amarelada (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica inequigranular
Estado de alteração: Rocha alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha friável
Potencial de utilização: Esta rocha não tem potencial para utilização como agregado
Observações adicionais: Esta amostra foi retirada ao lado de uma falha, onde ocorreu percolação de água. A rocha está bem alterada. A biotita está sofrendo um processo de cloritização. Os feldspatos estão bastante alterados e sendo preenchidos por óxidos. O alto grau de alteração impossibilitou a confecção de lâmina petrográfica
Fotos

Figura 20 - Detalhes da amostra 9. (a) Amostra de mão.



Também foram coletadas amostras britadas nas frações 3/4 e 3/8 (Figura 21) que foram utilizadas na realização dos ensaios geotécnicos.

Figura 21 – Amostras britadas coletadas nas frações 3/4 e 3/8



Fonte: Autor

As pedras britadas da pilha 3/4 possuem tamanho e composição heterogênea. Ocorre predominância de monzogranitos, mas também ocorrem britas apenas de granodioritos, apenas de quartzo e também britas provenientes de falhas que ocorrem alteradas. As pedras britadas possuem esfericidade baixa e variam de angulares a sub angulares. As britas 3/4 foram classificadas como rugosas.

As britas da pilha 3/8 possuem tamanho e composição heterogênea. Ocorre predominância de monzogranitos, mas também ocorrem britas apenas de granodioritos, apenas de quartzo, britas provenientes de falhas que ocorrem alteradas e também algumas poucas britas de sienogranito. As pedras britadas possuem esfericidade baixa e variam de angulares a sub angulares. As britas 3/8 foram classificadas como polidas.

As pedras britadas encontradas nas pilhas estão de acordo com o que se encontra na pedreira, pois ocorre muita heterogeneidade na composição, ocorrendo monzogranitos, granodioritos, sienogranitos e até britas provenientes dos veios de quartzo. Isso demonstra que todo o material da pedreira é britado sem nenhum critério de seleção.

9.1.2 Pedreira SBS

Figura 22 - Vista frontal da pedreira SBS



Fonte: Autor

A pedreira SBS possui uma rocha predominantemente sienogranítica de coloração branca e rosa. Ocorre uma pequena mudança composicional em pontos bem isolados da jazida, mudando a rocha para um monzogranito. A Figura 22 mostra a visão frontal da jazida e a Figura 23 e Figura 24 demonstram a pequena variação de rochas que ocorre na jazida.

Figura 23 - Diferentes tipos litológicos encontrados na pedreira. Em (a) o sienogranito e em (b) o monzogranito



Fonte: Autor

A textura é predominantemente fanerítica média a grossa, predominando os grãos mais grossos (entre 0,5 e 2 cm). A estrutura é maciça com presença de fraturas ao longo de toda pedreira. Ocorre uma foliação bem sutil em um ponto isolado da pedreira. A rocha é predominantemente pouco alterada ao longo de toda a pedreira, com exceção de zonas de fraturas e falhas, onde ocorrem rochas mais friáveis devido à percolação de água e mais alteradas por minerais de alteração.

Figura 24 - Foto de zonas de falhas na jazida, onde fica evidente em (a) rocha pouco alterada e em (b) rocha alterada



Fonte: Autor

Foram coletadas 6 amostras de mão ao longo de todas as porções da pedreira e elas foram descritas macroscópica e microscopicamente segundo as

normas da NBR 7389/92 (Análise petrográfica de agregados). As Tabelas 13 à 18 descrevem os resultados obtidos através da análise petrográfica.

A coleta e descrição das amostras de mão e das lâminas petrográficas foram realizadas em parceria com Back (2018), visando complementar o trabalho da autora.

As amostras são classificadas como sienogranitos. As texturas são fanerítica média a grossa, equigranular, leucocráticas, hipidiomórficas, holocristalina e mesmo que os minerais estejam muito alterados, eles conservam sua identidade. Os grãos de quartzos variam o tamanho de 1,5 mm quando inteiros, 0,2 mm quando recristalizados, possuindo formato subédrico amebóide e com limites bem definidos, além de ser inclusão em alguns feldspatos e minerais acessórios e frequentemente apresentar extinção ondulante bem desenvolvida. Os feldspatos são majoritários e aparecem em duas variedades, como microclínio com a clássica macla xadrez e minoritariamente como ortoclásios com pertita. Ambas possuem grau de argilização moderado a alto, grão de 2 mm de tamanho médio e textura poiquilotópica de quartzos e plagioclásios. Os plagioclásios são subordinados, bastante alterados por argilização e sericitização e, por vezes zonados, tamanho médio de 2 mm. Estes, mostram-se com frequente deformação na estrutura. A biotita pontualmente se conserva per se, pois ela mostra cloritização e é disposta intersticialmente. O esfeno é anédrico, bastante alterado com textura cheia de inclusões e preenchimentos em forma de buracos, bastante fraturado tamanho médio de 0,5 mm. A granada é rara, subédrica e absolutamente argilizada com 0,4 mm de tamanho médio.

Tabela 13 - Análise Petrográfica da Amostra 1 da Pedreira SBS

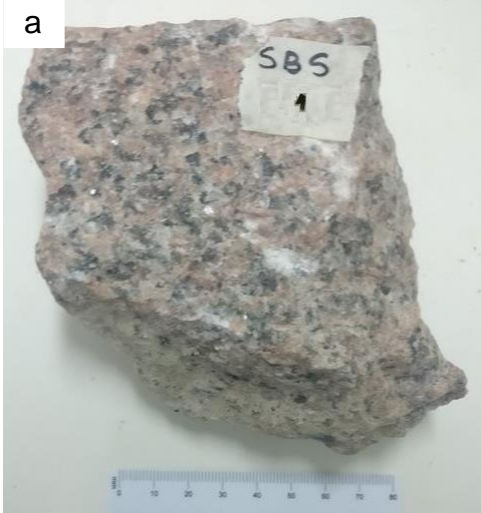
ANÁLISE PETROGRÁFICA	
Pedreira SBS – Amostra 1	
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sienogranito	
Composição mineralógica	
Minerais essenciais: 45% Feldspato Alcalino, 20% Quartzo, 20% Biotita e 15% Plagioclásio	
Minerais acessórios: Óxidos e Hornblenda	
Minerais carbonáticos: Ausentes	
Minerais deletérios: Óxidos	
Características	
Cor: Vermelho claro (estado seco) / Vermelho (estado úmido)	
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica	
Estado de alteração: Rocha pouco alterada	
Propriedades físico-mecânicas: Rocha coerente	
Potencial de utilização: Revestimento, rocha ornamental e pedra britada em concreto, pavimentação e fundações	
Observações adicionais: Amostra retirada da frente de lavra	
Microscopia ótica	
Ocorre bastante alteração dos feldspatos alcalinos por processos de argilização e oxidação. Apresenta microfraturas e quartzo microcristalino. As biotitas e as hornblendas ocorrem isoladas	
Fotos	
Figura 25 - Detalhes da amostra 1. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz polarizada com destaque para plagioclásio alterado por argilização (aumento 2,5/0.08).	
a	b
	

Tabela 14 - Análise Petrográfica da Amostra 2 da Pedreira SBS

ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira SBS – Amostra 2
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sienogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 45% Feldspato Alcalino, 20% Quartzo, 20% Biotita e 15% Plagioclásio
Minerais acessórios: Máficos e Óxidos
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Óxidos
Características
Cor: Rosada, branca e preta (estado seco) / Preta, rosa escura e cinza escura (estado úmido)
Estrutura/textura: Foliada / Fanerítica média inequigranular
Estado de alteração: Rocha pouco alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha coerente
Potencial de utilização: Revestimento, rocha ornamental e pedra britada para concreto, pavimentação e fundações
Observações adicionais: A foliação segue uma orientação preferencial. Grande parte dos cristais possuem tamanho parecido, porém ocorrem alguns porfiroclastos maiores.
Microscopia ótica
Corte transversal: Ocorre predominância de plagioclásios, contém grande quantidade de quartzo microcristalino (recristalização dinâmica). Os plagioclásios estão bastante alterados por processos de argilização, o quartzo microcristalino se encontra entre grandes cristais de plagioclásio. Embora a rocha apresenta foliação ao ser analisada macroscopicamente, na análise microscópica não foram encontradas orientações ou estiramentos nos minerais.
Corte longitudinal: Ocorre predominância de plagioclásios (bastante alterados), quartzo hipocristalino com microfraturas presentes. Ocorre argilização dos plagioclásios e não apresenta orientação, como visto macroscopicamente.
Fotos
Figura 26 - Detalhes da amostra 2. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica com corte paralelo à foliação, evidenciando alteração dos plagioclásios (aumento 2,5/0.08). (c) Lâmina petrográfica com corte perpendicular à foliação, evidenciando recristalização dinâmica (cisalhamento) (aumento 2,5/0.08). Ambas as lâminas à luz polarizada.

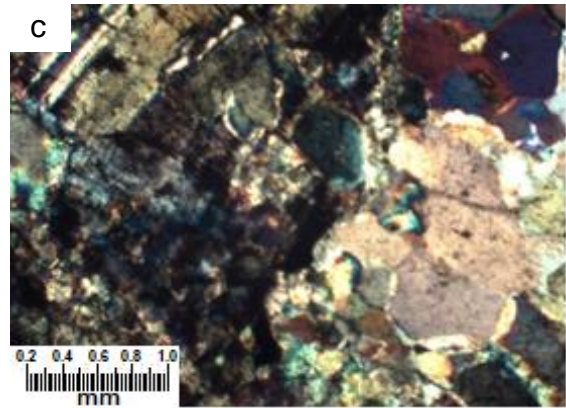
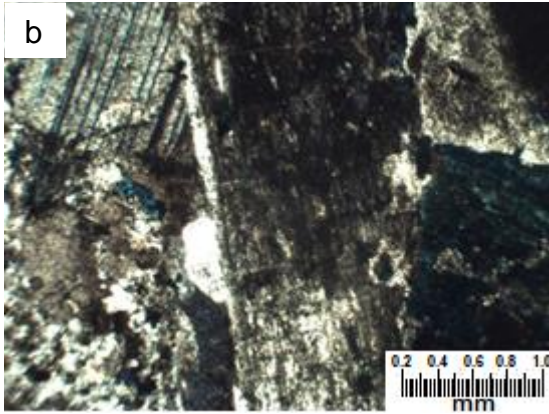


Tabela 15 - Análise Petrográfica da Amostra 3 da Pedreira SBS

ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira SBS – Amostra 3
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sienogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 30% Argilominerais, 25% Feldspato Alcalino, 25% Quartzo, 10% Biotita e 10% Óxidos
Minerais acessórios: Biotita, Óxidos e Argilominerais
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Óxidos e Argilominerais
Características
Cor: Rosada clara (estado seco) / Rosada escura (estado úmido)
Estrutura/textura: Foliada / Fanérfica média inequigranular
Estado de alteração: Rocha alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha friável
Potencial de utilização: Esta rocha não tem potencial para ser utilizada como agregado por estar muito alterada
Observações adicionais: Esta amostra foi retirada de um local onde ocorre uma falha. Rocha bem alterada, principalmente nos feldspatos. O alto grau de alteração impossibilitou a confecção de lâmina petrográfica
Fotos
Figura 27 - Detalhes da amostra 3. (a) Amostra de mão.



Tabela 16 - Análise Petrográfica da Amostra 4 da Pedreira SBS

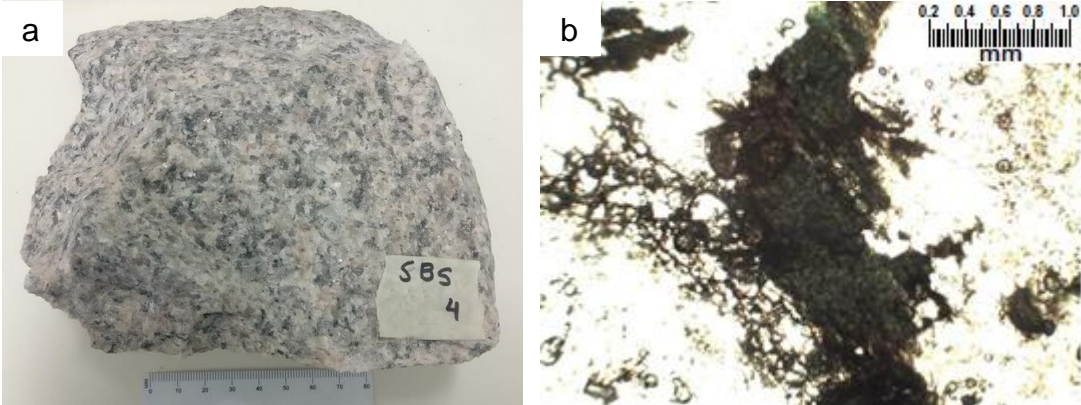
ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira SBS – Amostra 4
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Monzogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 40% Plagioclásio, 30% Biotita, 15% Quartzo, 10% Feldspato Alcalino e 5% Óxidos
Minerais acessórios: Clorita, Óxidos e Hornblenda
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Clorita e Óxidos
Características
Cor: Cinza claro (estado seco) / Cinza (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica média
Estado de alteração: Rocha pouco alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha coerente
Potencial de utilização: Revestimento interno e externo, rocha ornamental e pedra britada para concreto, pavimentação, lastros ferroviários e fundações
Observações adicionais: Esta amostra foi retirada na parte da pedreira onde já ocorre o monzogranito. Os minerais máficos aparecem em maior quantidade, apesar de ainda serem vistos alguns feldspatos.
Microscopia ótica
Os plagioclásios estão presentes em maior quantidade e se apresentam bastante alterados. A grande quantidade de cloritas sugere alteração hidrotermal. As biotitas e as hornblendas ocorrem isoladas
Fotos
Figura 28 - Detalhes da amostra 4. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz polarizada com destaque para a presença de clorita como mineral de alteração (aumento 2,5/0.08).


Tabela 17 - Análise Petrográfica da Amostra 5 da Pedreira SBS


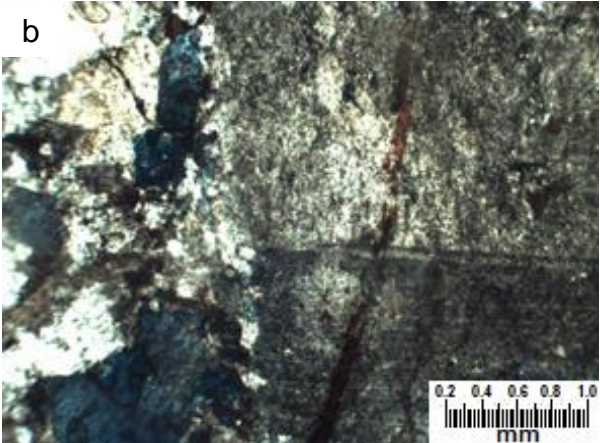
ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira SBS – Amostra 5
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sienogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 45% Feldspato Alcalino, 20% Quartzo, 20% Plagioclásio e 15% Máficos
Minerais acessórios: Óxidos
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Óxidos
Características
Cor: Branca e preta (estado seco) / Preta e cinza escura (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica média inequigranular
Estado de alteração: Rocha pouco alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha coerente
Potencial de utilização: Revestimento, rocha ornamental e pedra britada
Observações adicionais: Esta amostra foi retirada em uma parte da pedreira onde está começando a mudar a composição de sienogranito para monzogranito. Nesta amostra fica evidente que já ocorre uma maior quantidade de máficos, porém ainda é um sienogranito
Microscopia ótica
Os plagioclásios são predominantes e se apresentam bastante alterados por argilização. É visível, em alguns pontos, sinais de processos hidrotermais. Possui microfraturas preenchidas por clorita e óxidos
Fotos
Figura 29 - Detalhes da amostra 5. (a) Amostra de mão. (b) Lâmina petrográfica à luz polarizada com destaque para as fraturas preenchidas por óxidos (aumento 2,5/0.08).
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>b</p>  </div> </div>

Tabela 18 - Análise Petrográfica da Amostra 6 da Pedreira SBS

ANÁLISE PETROGRÁFICA
Pedreira SBS – Amostra 6
Classificação petrográfica: Rocha Ígnea Plutônica – Sienogranito
Composição mineralógica
Minerais essenciais: 30% Argilominerais, 25% Feldspato Alcalino, 25% Quartzo, 10% Biotita e 10% Óxidos
Minerais acessórios: Biotita, Óxidos e Argilominerais
Minerais carbonáticos: Ausentes
Minerais deletérios: Óxidos e Argilominerais
Características
Cor: Rosa claro (estado seco) / Rosa fraco (estado úmido)
Estrutura/textura: Maciça / Fanerítica média inequigranular
Estado de alteração: Rocha alterada
Propriedades físico-mecânicas: Rocha friável
Potencial de utilização: Esta rocha não pode ser utilizada para agregado (muito alterada)
Observações adicionais: Amostra retirada em um local onde ocorre uma falha. O feldspato alcalino está muito alterado, e a presença de óxidos é grande ao longo de toda a amostra. O alto grau de alteração impossibilitou a confecção de lâmina petrográfica
Fotos

Figura 30 - Detalhes da amostra 6. (a) Amostra de mão.



Também foram coletadas amostras britadas nas frações 3/4 e 3/8 (Figura 31) que foram utilizadas na realização dos ensaios geotécnicos.

Figura 31 - Amostras britadas coletadas nas frações 3/4 e 3/8



Fonte: Autor

As pedras britadas da pilha 3/4 possuem um tamanho heterogêneo e uma composição onde predomina o sienogranito, sem muitas variações, porém as britas não tem uma composição padrão. As pedras britadas possuem esfericidade baixa e variam de angulares a sub angulares. As britas 3/4 foram classificadas como polidas.

As pedras britadas da pilha 3/8 possuem um tamanho heterogêneo e uma composição onde predomina o sienogranito, sem muitas variações, porém as britas não tem uma composição padrão. As pedras britadas possuem esfericidade que varia de alta a baixa e no arredondamento variam de sub angulares a sub arredondadas. As britas 3/8 foram classificadas como polidas.

As pedras britadas encontradas nas pilhas estão de acordo com o que se encontra na pedreira, pois ocorre pouca heterogeneidade na composição, predominando o sienogranito e variando em uma pequena parte da pedreira para o monzogranito.

9.2 Granulometria

A granulometria dos agregados pode ser considerada uma de suas principais propriedades podendo interferir nas características intrínsecas de alterabilidade, durabilidade e intemperização da rocha nas características das misturas asfálticas

como rigidez, trabalhabilidade, estabilidade. Para os agregados empregados em enrocamentos e filtros, a correta distribuição granulométrica também visa garantir adequado imbricamento, estabilidade estrutural e permeabilidade necessária à drenagem de águas pluviais (BACK, 2018).

O presente ensaio teve como objetivo a identificação da porcentagem da composição granulométrica presente nas pilhas 3/4 e 3/8. O ensaio foi executado utilizando uma série de peneiras especificadas na ABNT NBR NM 248/2003 e foi realizado em um equipamento que agitava continuamente as peneiras para que os agregados passassem ou ficassem retidos nas mesmas (Figura 32).

Figura 32 – Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria



Fonte: Autor

Ambas as pedreiras apresentaram uma composição granulométrica semelhante. Na pilha 3/4 as maiores porcentagens ficaram retidas nos tamanhos 1/2 e 3/8 enquanto que na pilha 3/8 as maiores porcentagens ficaram retidas entre as peneiras 1/4 e 4. As Tabelas 19, 20, 21 e 22 demonstram os resultados obtidos.

Tabela 19 - Frações granulométricas da pilha 3/4 da pedreira JA Silveira

Peneira nº	Tamanho (mm)	Peso retido (g)	% Retida
3/4	19	140	1.41
1/2	12.5	4880	49.07
3/8	9.5	3080	30.97
1/4	6.3	1720	17.3
4	4.8	80	0.8
8	2.4	40	0.4
16	1.2	0	0
Fundo	<0.15	5	0.05
Total		9945	100

Fonte: Autor

Tabela 20 - Frações granulométricas da pilha 3/8 da pedreira JA Silveira

Peneira nº	Tamanho (mm)	Peso retido (g)	% Retida
3/8	9.5	80	1.07
1/4	6.3	4940	66.26
4	4.8	1660	22.27
8	2.4	740	9.93
16	1.2	20	0.27
30	0.6	0	0
50	0.3	10	0.13
Fundo	<0.15	5	0.07
Total		7455	100

Fonte: Autor

Tabela 21 - Frações granulométricas da pilha 3/4 da pedreira SBS

Peneira nº	Tamanho (mm)	Peso retido (g)	% Retida
3/4	19	518.1	7.21
1/2	12.5	3466.1	48.21
3/8	9.5	1988.3	27.64
4	4.8	1157.4	16.1
10	2.0	39.3	0.55
40	0.425	6.2	0.09
Fundo	<0.15	14.5	0.2
Total		7189.9	100

Fonte: Back (2018)

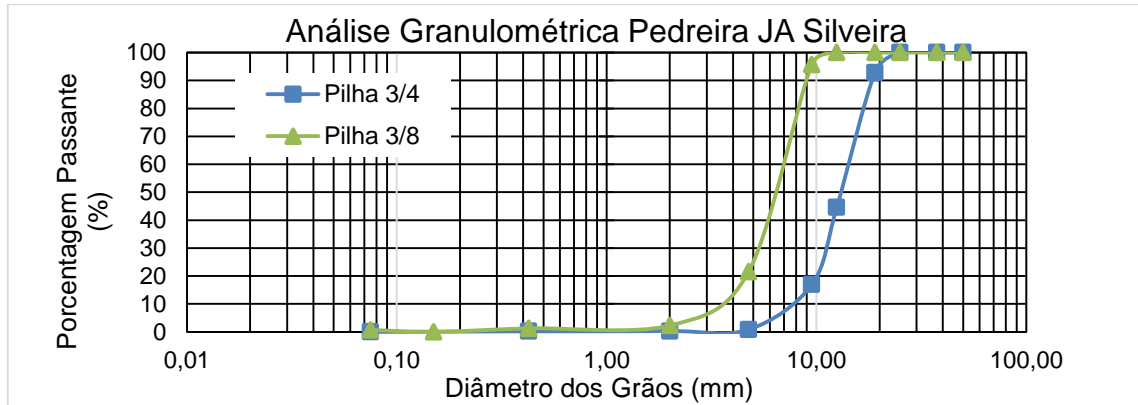
Tabela 22 - Frações granulométricas da pilha 3/8 da pedreira SBS

Peneira nº	Tamanho (mm)	Peso retido (g)	% Retida
3/8	9.5	295.2	4.27
4	4.8	5127.5	74.16
10	2.0	1332.3	19.27
40	0.425	71.4	1.03
200	0.075	38.7	0.56
Fundo	<0.075	49.1	0.71
Total		6914.2	100

Fonte: Back (2018)

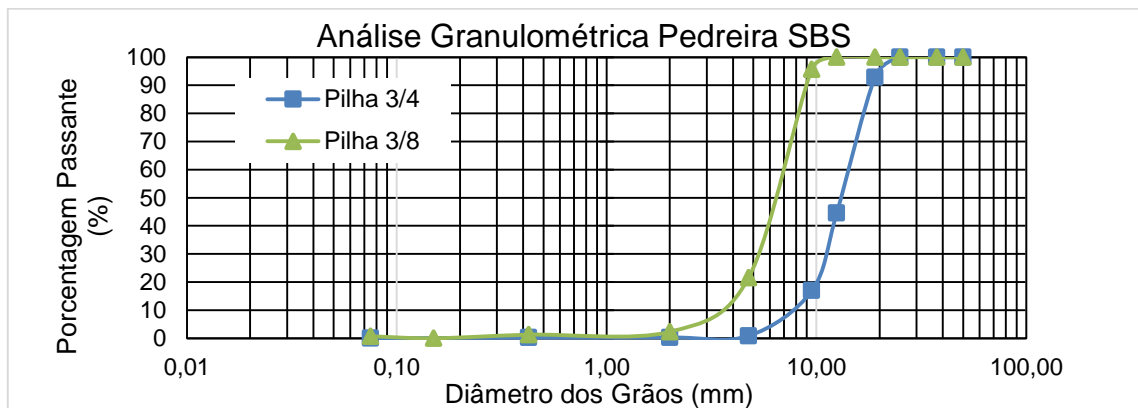
A partir destes dados obtidos, foi gerada a curva granulométrica. A curva granulométrica foi determinada através da soma das massas retidas em cada peneira e a comparação desses somatórios com a massa inicial da amostra seca. Dessa forma, calculou-se a porcentagem acumulada de material seco em cada peneira, somando-se a porcentagem retida na peneira com as retidas nas peneiras de maiores aberturas. As curvas granulométricas estão representadas na Figura 33 e na Figura 34.

Figura 33 – Curvas granulométricas dos agregados da jazida JA Silveira



Fonte: Autor

Figura 34 - Curvas granulométricas dos agregados da jazida SBS



Fonte: Adaptado de Back (2018)

Observando os resultados, podemos concluir que para a fração 3/4 a brita JA Silveira possui uma granulometria com menor dispersão do que a brita SBS. Já na fração 3/8 ocorre o contrário, a brita SBS que apresentou uma granulometria com menor dispersão.

9.3 Índice de forma (paquímetro)

Para a realização deste ensaio foram escolhidos aleatoriamente 200 grãos que ficaram retidos nas peneiras 3/4 (19 mm), 1/2 (12.5 mm) e 3/8 (9.5 mm). O ensaio se baseou na média entre a maior dimensão do agregado e a menor dimensão do agregado (Figura 35). Os resultados estão representados no Quadro 4.

Figura 35 – Ensaio de índice de lamelaridade pelo método do paquímetro. Em (a) as amostras selecionadas para o ensaio e em (b) um agregado sendo ensaiado



Fonte: Autor

Quadro 4 – Resultados do ensaio do índice de lamelaridade pelo método do paquímetro

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	1.57	1.99
3/8	2.5	2.61

Fonte: Autor, *Back (2018)

Podemos concluir que os agregados da pedra SBS apresentam uma forma mais lamelar em relação aos agregados da pedra JA Silveira, que são mais cúbicos. Esta forma mais lamelar dos agregados da pedra SBS pode ser explicada por a pedra SBS apresentar uma foliação em uma determinada parte do maciço e também uma maior quantidade de fraturas em relação à pedra JA Silveira. Isto ocorre pois a forma dos agregados está relacionada às estruturas e textura do maciço rochoso. Outro fator importante que interfere na lamelaridade é a dureza dos minerais. O monzogranito possui uma quantidade maior de quartzo em sua composição, assim, por apresentar uma dureza maior, a tendência é que as partículas sejam mais cúbicas, como ocorreu no ensaio. Além disso, as britas de monzogranito possuem uma maior rugosidade em relação ao sienogranito. A fração 3/8 apresentou resultados significativamente maiores em relação à fração 3/4. Isso

se deve ao processo de britagem também influenciar na forma das partículas, assim, quanto menor as partículas, maior a tendência de serem mais lamelares.

9.4 Índice lamelaridade

Este ensaio consistiu em classificar os agregados conforme seu índice de lamelaridade. Para um agregado ser considerado lamelar, ele deve ser menor que 0.6 da sua dimensão nominal. E ensaio consiste em determinar a porcentagem de partículas que passam na placa de lamelaridade (Figura 36) em função do total de partículas utilizadas no ensaio. O resultado do ensaio está representado no Quadro 5.

Figura 36 – Ensaio de lamelaridade pelo uso da placa do DAER.



Fonte: Autor

Quadro 5 – Resultados do ensaio do índice de lamelaridade pela placa do DAER

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	23.1 %	24.96 %
3/8	27.88 %	37.75 %

Fonte: Autor, *Back (2018)

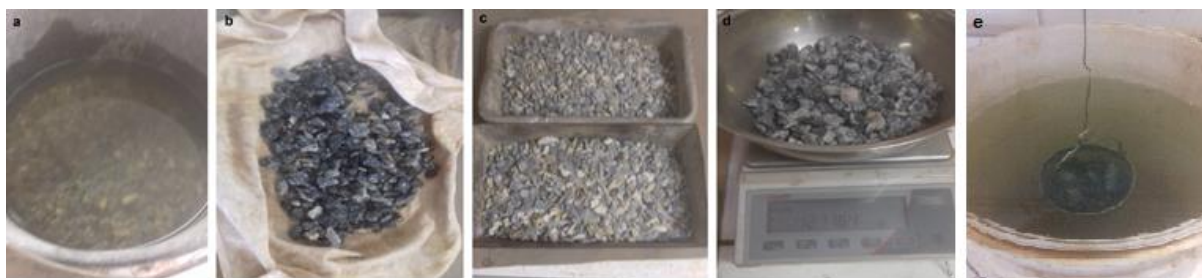
Os resultados encontrados estão em conformidade com o ensaio de forma realizado com o paquímetro. A pedra SBS possui maior índice de agregados lamelares do que a pedra JA Silveira. Além da dureza dos minerais, outro fator que contribui para o resultado encontrado é a presença de porfiroclastos, pois em

ambas as pedreiras a textura é fanerítica, com presença de minerais grandes. A fração 3/8 apresentou resultados maiores em relação à fração 3/4, pelo mesmo motivo que foi abordado no paquímetro. Outro fator que pode ter influenciado nos diferentes resultados são as etapas de britagem, pois elas podem ter sido diferentes nas duas pedreiras. De acordo com os resultados encontrados, os agregados das duas pedreiras possuem uma boa qualidade para serem utilizados em obras de pavimentação, pois para ser considerado de boa qualidade, o agregado deve ter menos que 40% de partículas lamelares em sua composição.

9.5 Absorção

As amostras utilizadas nos ensaios de absorção, massa específica e índice de volume de vazios foram colocadas submersas em água pelo período de 24 horas, em seguida foram pesadas e posteriormente colocadas em estufa por mais 24 horas (Figura 37). Os resultados do ensaio de absorção estão demonstrados no Quadro 6.

Figura 37 – Etapas para os ensaios de absorção, massa específica, massa unitária e índice de volume de vazios. Em (a) os agregados submersos em água, em (b) os agregados sendo preparados para pesagem com a superfície seca, em (c) os agregados secos após ficarem na estufa, em (d) a pesagem dos agregados secos e em (e) a pesagem dos agregados submersos



Fonte: Autor

Quadro 6 – Resultados do ensaio de absorção

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	0.54 %	0.69 %
3/8	1.46 %	1.05 %

Fonte: Autor, *Back (2018)

A absorção em ambas as rochas foi baixa em virtude de serem rochas ígneas que possuem uma estrutura maciça, baixa porosidade e poucas microestruturas. A

foliação que foi constatada presente no sienogranito não interferiu no resultado deste ensaio, isto pode ter acontecido pelo fato das britas coletadas não terem sido retiradas do local onde ocorria a foliação ou ainda pelo fato de a foliação ser apenas superficial e não chegando a penetrar profundamente o agregado. O agregado 3/8 da pedra JA Silveira obteve um resultado superior com relação à SBS, isto pode ser explicado em razão do estado de alteração inicial das britas, pois, como foi mencionado, ocorre uma grande heterogeneidade na composição da pedra JA Silveira, sendo que muitas porções ocorrem bastante alteradas. A absorção na fração 3/8 foi superior em relação à fração 3/4 e isto pode ser explicado pelo fato de a brita 3/8 ter uma maior superfície de contato com o líquido, ocorrendo assim, maior absorção. Ambas as rochas estão de acordo com o recomendado para uso na construção civil, pois o recomendado é utilizar agregados com absorção menor que 3%.

9.6 Massa específica na condição seca

É dado pela relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os vazios permeáveis. Após ficarem imersas por 24 horas para o ensaio de absorção, as amostras foram colocadas na estufa pelo período de 24 horas. Em seguida foi realizada a pesagem do material. Os resultados da massa específica na condição seca estão representados no Quadro 7.

Quadro 7 – Resultados do ensaio de massa específica na condição seca

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	2.75 g/cm ³	2.66 g/cm ³
3/8	2.55 g/cm ³	2.58 g/cm ³

Fonte: Autor, *Back (2018)

9.7 Massa específica na condição saturada superfície seca

Neste ensaio as amostra que ficaram imersa em água por 24 horas são retiradas e sua superfície externa é seca com uma toalha. Em seguida é realizada a pesagem do material. Os resultados da massa específica saturada superfície seca estão representados no Quadro 8.

Quadro 8 – Resultados do ensaio de massa específica na condição saturada superfície seca

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	2.77 g/cm ³	2.63 g/cm ³
3/8	2.59 g/cm ³	2.54 g/cm ³

Fonte: Autor, *Back (2018)

9.8 Massa específica aparente

É dado pela relação entre a massa do agregado seco e seu volume total. A principal diferença deste ensaio para o ensaio de Massa específica na condição seca é que este ensaio leva em consideração os vazios permeáveis, enquanto o ensaio de Massa específica na condição seca exclui os vazios permeáveis. Os resultados da massa específica aparente estão representados no Quadro 9.

Quadro 9 – Resultados do ensaio de massa específica aparente

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	2.8 g/cm ³	2.61 g/cm ³
3/8	2.65 g/cm ³	2.51 g/cm ³

Fonte: Autor, *Back (2018)

As rochas da pedreira JA Silveira são compostas principalmente de plagioclásios (densidade 2,6 g/cm³ a 2,76 g/cm³), quartzo (densidade 2,6 g/cm³ a 2,65 g/cm³) e biotita (densidade 2,8 g/cm³ a 3,4 g/cm³) enquanto que as rochas da pedreira SBS são compostas principalmente por feldspato alcalino (densidade 2,54 g/cm³ a 2,76 g/cm³). As britas 3/4 da pedreira JA Silveira apresentaram um maior valor em relação às outras em função das mesmas terem sido classificadas como rugosas, enquanto que às outras foram classificadas como polidas. Analisando os resultados dos três ensaios de massa descritos acima, podemos concluir que eles estão de acordo com a composição dos agregados, sendo que os agregados da pedreira JA Silveira possuem uma maior densidade e maior compacidade na rocha.

9.9 Massa unitária

Os resultados do ensaio de massa unitária estão expressos no Quadro 10.

Quadro 10 – Resultados do ensaio de massa unitária

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	1.39 kg/dm ³	1.4 kg/dm ³
3/8	1.21 kg/dm ³	1.35 kg/dm ³

Fonte: Autor, *Back (2018)

Os resultados obtidos apresentaram maior valor de massa unitária para os agregados da pedreira SBS. Isto pode ser explicado pelo fato de a brita SBS ser mais lamelar e também apresentar uma graduação mais dispersa, enquanto que a brita JA Silveira apresenta partículas mais cúbicas e de uma graduação menos dispersa.

9.10 Índice de volume de vazios

Determina o espaço entre os grãos do agregado. Podem ser considerados espaços vazios: microestruturas, vesículas e poros. Os resultados do ensaio estão representados no Quadro 11.

Quadro 11 - Resultados do ensaio de índice de volume de vazios

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	0.05%	0.05%
3/8	0.05%	0.05%

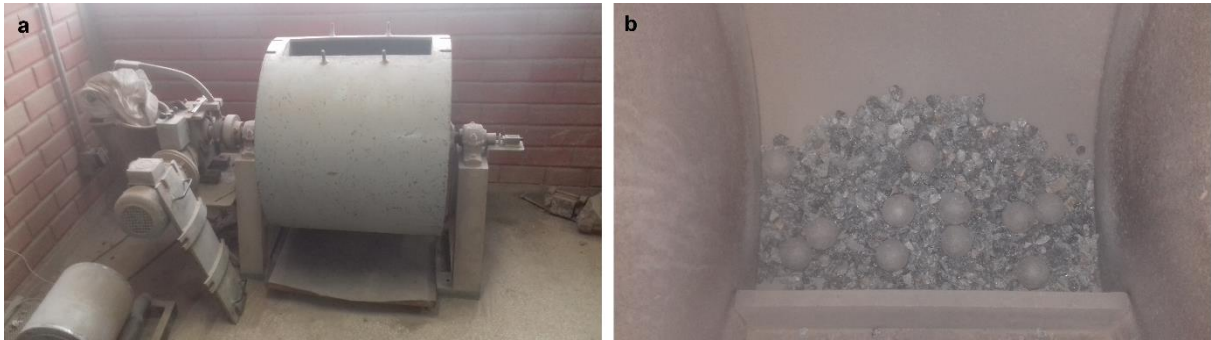
Fonte: Autor, *Back (2018)

Os resultados encontrados foram de valores iguais para todas as frações das duas pedreiras. Este resultado está de acordo com as condições do maciço rochoso, pois ambos possuem uma rocha ígnea que apresenta porosidade primária baixa, estrutura maciça e poucas microestruturas.

9.11 Abrasão Los Angeles

Este ensaio foi realizado colocando o material graúdo dentro de um tambor juntamente com uma carga abrasiva (Figura 38a). A carga abrasiva consistiu de 11 esferas de ferro com cerca de 420 gramas cada (Figura 38b).

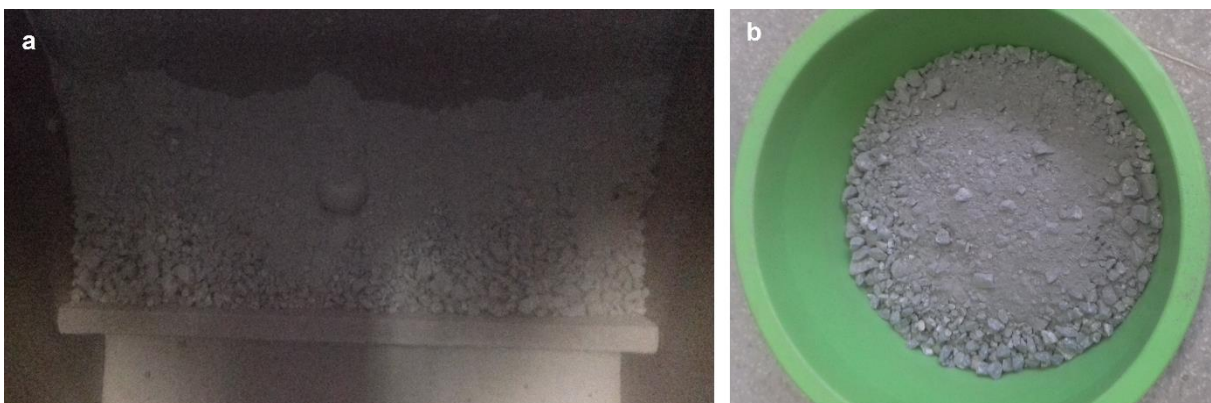
Figura 38 – Ensaio de abrasão Los Angeles. Em (a) o tambor utilizado no ensaio e em (b) os agregados colocado no interior do tambor juntamente com a carga abrasiva



Fonte: Autor

Em seguida o tambor foi girado em 500 voltas, retirou-se o material e foi passado na peneira nº12 com malhas de 1,7 mm a fim de determinar a quantidade de material perdida (Figura 39).

Figura 39 – Resultado do ensaio de abrasão Los Angeles. Em (a) o material resultante no interior do tambor e em (b) o material retirado



Fonte: Autor

Os resultados do ensaio de abrasão Los Angeles estão representados no Quadro 12.

Quadro 12 – Resultados do ensaio de abrasão Los Angeles

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	22.2 %	26.39 %

Fonte: Autor, *Back (2018)

Quanto maior for a dureza dos minerais que compõem a rocha, menor será a abrasão ou desgaste sofrido. A maior perda de massa obtida após o ensaio de abrasão foi da brita SBS com 26,39%. Isso ocorre pois a brita SBS é constituída principalmente por feldspato alcalino (dureza 6 a 6,5), enquanto que a brita JA Silveira é composta principalmente por plagioclásio (dureza 6 a 6,5) e quartzo (dureza 7).

O DNIT especifica como resultados aceitáveis para utilização da brita em obras de pavimentação resultados de abrasão entre 40% e 55% dependendo do uso. Assim, podemos concluir que as duas britas possuem potencial para utilização, pois seus resultados estão dentro dos limites aceitáveis.

9.12 Determinação da perda ao choque no aparelho Treton

Este ensaio foi realizado escolhendo aleatoriamente 20 grãos graúdos (Figura 40a) e colocando no interior de um recipiente onde um pêndulo com 14,9 kg se chocou com os grãos (Figura 40b). Em seguida, o material foi retirado e peneirado (Figura 37c). O material passante na peneira com abertura de 1,7 mm é pesado e considerado o que foi perdido no ensaio. O ensaio é repetido 3 vezes e é calculado como sendo a média dos 3 resultados.

Figura 40 – Ensaio de perda ao choque no aparelho Treton. Em (a) os 20 grãos escolhidos para o ensaio, em (b) o aparelho Treton utilizado e em (c) os grãos após o ensaio



Fonte: Autor

Os resultados de perda ao choque pelo aparelho Treton estão demonstrados no Quadro 13.

Quadro 13 – Resultados do ensaio de determinação da perda ao choque no aparelho Treton

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	14.22 %	18.7 %

Fonte: Autor, *Back (2018)

Os principais parâmetros que interferem no resultado deste ensaio são tenacidade, dureza e presença de microestruturas e minerais de alteração. A tenacidade é uma medida de quantidade de energia que um material pode absorver antes de fraturar. O monzogranito possui uma alta quantidade de biotita em sua composição, a biotita é um mineral com alta tenacidade, ou seja, possui uma alta resistência contra choques. A presença feldspato alcalino como mineral principal na composição do sienogranito auxilia para a alta perda ao choque do material pois a rocha apresenta baixa tenacidade em virtude da granulação. Ou seja, quanto maior a granulação (textura), maior a probabilidade de haverem pontos de fraqueza, aumentando a ocorrência de microestruturas nos minerais e diminuindo a resistência da rocha. Estas características influenciaram para que a perda ao choque fosse maior no sienogranito.

Como observado no ensaio de abrasão, o ensaio de perda ao choque registrou o sienogranito SBS como maior quantidade de material perdido. Isto ocorre pelo fato do monzogranito possuir maior quantidade de minerais de quartzo em sua composição e também pelo fato do sienogranito possuir uma foliação que atua como planos de fraqueza, resultando na alta desagregação do agregado e possivelmente aumentando a alteração do material.

Não são especificados valores padrões deste ensaio para determinar o uso dos agregados em obras de pavimentação, porém quando se refere ao uso para lastros ferroviários, a perda de massa não deve ultrapassar o valor de 25%. Sendo assim, ambas as rochas estão de acordo e poderiam ser utilizadas neste tipo de obra.

9.13 Esmagamento

Este ensaio avalia o desempenho do agregado ao desgaste pelo atrito interno simulando compressão. Os grãos foram peneirados e foram utilizados os que ficaram retidos entre as peneiras de abertura 9,5 mm e 12,5 mm. Em seguida, os grãos foram pré-compactados em um cilindro de aço rígido por meio de um soquete. Posteriormente, este material foi submetido a uma carga uniforme de 400 kN à razão de 40 kN por minuto, como é exemplificado na Figura 41. Após o ensaio, o material ensaiado foi peneirado e o material que passou da peneira de 2,4 mm é considerado perdido.

Figura 41 – Ensaio de esmagamento. Em (a) as amostras utilizadas, em (b) o equipamento realizando o ensaio e em (c) as amostras após o ensaio



Fonte: Autor

Os resultados de perda de material por esmagamento estão demonstrados no Quadro 14.

Quadro 14 – Resultados do ensaio de esmagamento

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	22.08 %	26.38 %

Fonte: Autor, *Back (2018)

O ensaio de esmagamento é determinado por características como dureza, presença de microestruturas e minerais de alteração e também pela lamelaridade das partículas. Isso ocorre pelo fato de que partículas lamelares permitem uma maior quantidade de vazios e possibilitam que as partículas se quebrem e se reorganizem durante o esmagamento. Como ocorreu nos dois ensaios mecânicos anteriores, no ensaio de esmagamento o sienogranito teve maior perda de material do que o monzogranito, principalmente em função da sua composição e, neste ensaio, pela maior presença de partículas lamelares em sua composição. Pode-se realizar uma correlação entre o ensaio de Abrasão Los Angeles e o ensaio de Esmagamento. Em ambos, os resultados de perda encontrados foram muito semelhantes. Isto ocorre pois os dois ensaios são influenciados pelas mesmas características, como dureza, presença de microestruturas e minerais de alteração. Em função dos resultados terem atingido um valor muito semelhante, eles expressam uma maior confiabilidade em função de sua correlação.

A recomendação é utilizar agregados com perda de material menor que 30% ou 35% dependendo da aplicação. Portanto, os agregados das duas pedreiras estão em condições de serem utilizados para obras de engenharia.

9.14 Sanidade (alterabilidade)

Apesar dos agregados obterem bons resultados nos ensaios mecânicos, eles podem sofrer processos de alteração ou desintegração quando expostos ao clima ou aos mais diversos tipos de reagentes. A característica de resistência à desintegração química é quantificada através de ensaio que consiste em atacar o agregado com solução saturada de sulfato de sódio ou de magnésio aumentando a desintegração da amostra simulando o efeito do tempo.

O ensaio de sanidade consistiu em deixar o agregado submerso na solução entre 16 a 18 horas e em seguida levá-lo a estufa por 6 horas (Figura 42). Em seguida repetia-se todo o processo durante 5 ciclos.

Figura 42 - Agregado imerso na solução



Fonte: Back (2015)

Os resultados de perda de material pelo ensaio de sanidade estão demonstrados no Quadro 15.

Quadro 15 – Resultados do ensaio de sanidade

Pilha	JA Silveira	SBS*
3/4	1.28 %	1.72 %
3/8	8.34 %	8.98 %

Fonte: Autor, *Back (2018)

O ensaio de sanidade é determinado por características como composição da rocha, reatividade dos minerais com a solução e também microestruturas, como fraturas. Os resultados obtidos demonstram que o monzogranito possui uma menor alterabilidade do que o sienogranito. Isto pode ser explicado pela maior quantidade de quartzo que ocorre no monzogranito e também pelo fato de o sienogranito possuir uma foliação que facilita a alterabilidade.

A pilha 3/8 resultou em um índice de alterabilidade muito maior e isto se deve a sua maior superfície de contato com a solução no ensaio. O ensaio de sanidade possui uma correlação com o ensaio de absorção, ou seja, quanto maior a absorção, maior deve ser a alterabilidade do material. Esta correlação ocorreu na pilha 3/4, onde o sienogranito obteve maior absorção e maior alterabilidade, porém não ocorreu para a pilha 3/8. Isto pode ter ocorrido devido a heterogeneidade da pedra

JA Silveira, uma vez que as britas utilizadas no ensaio de absorção não foram as mesmas utilizadas no ensaio de sanidade.

10 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, podemos concluir que na pedreira SBS é explorado um sienogranito que contém pequenas frações de monzogranito, de textura fanerítica, possuindo pequenas partes foliadas, bastante fraturado e contendo uma rocha pouco alterada. Já na pedreira JA Silveira é explorado um monzogranito bastante heterogêneo, possuindo bolsões de granodiorito, intrusões de pegmatito e pequenas partes de sienogranito, de textura fanerítica, bastante fraturado e contendo boa parte de rocha pouco alterada, porém com porções com maior alteração.

A análise petrográfica mostrou-se fundamental para a identificação inicial das características e do comportamento dos maciços rochosos, tais como textura, composição, grau de alteração e presença de estruturas. Os ensaios de caracterização geotécnica complementaram a análise petrográfica e foram importantes para a determinação de um comportamento do agregado e assim realizar a determinação de um uso com melhor otimização para o mesmo. Através dos resultados dos ensaios, podemos concluir que o monzogranito apresentou melhores resultados nos ensaios de forma. No ensaio do paquímetro o sienogranito obteve 1,99 para a fração 3/4 e 2,61 para a fração 3/8 contra 1,57 para a fração 3/4 e 2,5 para a fração 3/8 do monzogranito e no ensaio de lamelaridade o sienogranito apresentou resultados de 24,95% para a fração 3/4 e 37,75% para a fração 3/8 enquanto o monzogranito obteve 23,1% para a fração 3/4 e 27,88% para a fração 3/8. Assim, podemos concluir que as pedras britadas do sienogranito são mais lamelares, enquanto as pedras britadas do monzogranito são mais cúbicas. O sienogranito apresentou melhores resultados no ensaio físico de massa unitária, obtendo 1,4 kg/dm³ para a fração 3/4 e 1,35 kg/dm³ para a fração 3/8, indicando que possui uma maior massa em estado solto do que o monzogranito. Através disso podemos concluir que a granulometria do sienogranito é ligeiramente mais heterogênea do que a do monzogranito, podendo ocupar assim a maior quantidade de espaços vazios e obtendo maiores resultados no ensaio.

O monzogranito apresentou melhores resultados em alguns ensaios físicos, nos ensaios mecânicos e nos ensaios químicos. No ensaio de absorção apresentou valores de 0,54% para a fração 3/4 contra 0,69% da mesma fração do sienogranito. Porém, na fração 3/8, o sienogranito obteve melhores resultados, 1,05% contra 1,46% do monzogranito. Com relação aos ensaios de massa específica, o monzogranito apresentou resultados minimamente superiores ao sienogranito, obtendo assim uma maior densidade.

O monzogranito obteve resultados mais satisfatórios nos ensaios mecânicos de abrasão Los Angeles, 22,2% contra 26,39% do sienogranito, resistência ao choque no aparelho Treton, 14,22% contra 18,7% do sienogranito, e esmagamento, 22,08% contra 26,38% do sienogranito. Com isso, concluímos que os resultados mais satisfatórios do monzogranito foram devido à sua composição granulométrica com maior dureza e tenacidade de seus minerais e ausência de microestruturas.

No ensaio químico de sanidade, o monzogranito obteve 1,28% para a fração 3/4 e 8,34% para a fração 3/8 enquanto o sienogranito obteve 1,72% para a fração 3/4 e 8,89% para a fração 3/8. Com isso, concluímos que o monzogranito possui minerais menos reativos e mais resistentes a degradação química.

Ambas as pedreiras possuem potencial para utilização do material rochoso como agregado. A pedreira SBS possui potencial de utilização do agregado como revestimentos, rocha ornamental e pedra britada com uso para concreto e pavimentação. Já a pedreira JA Silveira possui potencial para utilização como revestimento interno e externo, rocha ornamental e pedra britada para uso em concreto, pavimentação e, por ter se saído melhor nos ensaios, para obras de maior porte como lastros ferroviários e fundações.

O conhecimento geológico se mostrou uma ferramenta eficaz no auxílio do controle tecnológico de agregados, pois sugeriu uma otimização de uso para os agregados que são exploradas, evitando desperdício de material, levando em conta a atividade de destino do agregado.

11 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa e visando a complementação e otimização da mesma, sugere-se:

- Ampliar o estudo realizando ensaios com maior quantidade de rochas de diferentes litologias, realizando comparações e correlações entre elas;
- Estabelecer um controle tecnológico, determinando o melhor uso para os agregados de diferentes litologias;
- Realizar experimentos testando diferentes tipos de agregados em obras de pavimentação e na produção de concreto e determinar as diferenças entre eles.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Agregados - Determinação da Composição Granulométrica - NBR NM 248/03**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

ABNT. **Agregados - Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios – Método C - NBR NM 45/06**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.

ABNT. **Agregados Graúdo - Determinação Da Resistência Ao Esmagamento De Agregados Graúdos - NBR-ME 9938/13**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

ABNT. **Agregados Graúdos - Determinação De Massa Específica, Massa Específica Aparente E Absorção - NBR NM 53/09**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.

ABNT. **Agregados Graúdos - Determinação do Índice de Forma pelo Método do Paquímetro - NBR NM 7809/83**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983.

ABNT. **Agregados Graúdos - Ensaio de abrasão “Los Angeles” - NBR NM 51/01**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.

ABNT. **Agregado para Concreto – Especificações - NBR 7211/05**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

ABNT. **Rochas para Revestimento, Análise Petrográfica - NBR 12.768/92**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.

ABNT. **Agregados - Análise Petrográfica de Agregado para Concreto – NBR 7389/92**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.

ALMEIDA, S. L. M. & LUZ, A. B. **Manual de Agregados para a Construção Civil**. Rio de Janeiro: CETEM/ MCT. 2009.

BACK, A.H. **Macroanálise de uma jazida de rocha em Santa Maria/RS e caracterização de seu material granular.** 2015. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

BACK, A.H. **Avaliação das propriedades químicas e geomecânicas de agregados oriundos de jazidas de rochas de diferentes litologias do estado do RS.** 2018. 179 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

BITENCOURT, M.F.; GASTAL M.C.P.; KIRCHEIN R.E.; COSTA K.B.; TOLEDO F.A.L. **Reavaliação preliminar das relações estratigráficas do Complexo Granítico Encruzilhada (CGE), RS.** In: Simpósio Internacional Neoproterozóico-Cambriaco de la Cuenca del Plata, I., Las Palomas- Minas, Bol. Res. Expandidos, v.2, no 34, 6p. 1993.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Métodos de Lavra. [200-].** Disponível em:<http://www.redeaplmineral.org.br/pormin/noticias/legislacao/metodos_de_lavra.pdf> Acesso em 14 de maio de 2018.

CALDAS, R.S. **Relação entre características da rocha e comportamento na britagem para produção de agregado.** 2015. 120 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CHEMALE Jr, F. **Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense.** Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO-UFRGS, Porto Alegre. 2000.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul. 2006.** Disponível em:<http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf> Acessado em 25 de março de 2018.

DAER - **Determinação do Índice de Lamelaridade – DAER/RS – EL 108/01.** Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Rio Grande do Sul: 2001.

DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Manual de ensaios: Volume II, 2001.** Unidade de Normas e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/27154706-manual-de-ensaios-vol-ii.pdf>> Acessado em 21 de maio de 2018.

DNER. **Agregado – Análise Granulométrica - DNER-ME 83/98.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1998.

DNER. **Agregado – Avaliação Da Durabilidade Pelo Emprego De Soluções De Sulfato De Sódio Ou De Magnésio – DNER-ME 89/94.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1994.

DNER. **Agregado – Determinação da Absorção e da Densidade do Agregado Graúdo – DNER-ME 195/97.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1997.

DNER. **Agregado – Determinação da Massa Unitária do Agregado em Estado Solto – DNER-ME 152/95.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1995.

DNER. **Agregado – Determinação do Índice de Forma – DNER-ME 86/94.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1994.

DNER. **Agregado Graúdo – Determinação da Resistência do Esmagamento – DNER-ME 197/97.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1997.

DNER. **Agregado Graúdo – Ensaio de abrasão "Los Angeles" – DNER-ME 35/98.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1998.

DNER. **Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica de Agregado Miúdo por Meio do Frasco Chapman – DNER-ME 194/98**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1998.

DNER. – **Materiais Rochosos Usados em Rodovias – Análise Petrográfica – DNER-IE 006/94**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1994.

DNER. **Agregados – Determinação da Perda ao Choque no Aparelho Treton – DNER-ME 399/99**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro: 1994.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação. Instituto de Pesquisas Rodoviárias**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2006.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Agregados para a construção civil**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>> Acessado em 25 de março de 2018.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral – Pernambuco. **Código de Mineração**. Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/cm_00.php> Acessado em 01 de abril de 2018.

FIGUEIRA, H. V. O.; LUZ, A. B.; ALMEIDA S. L. M. Britagem e Moagem. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios – 5ª Edição**. Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia Mineral. 2010. Cap.4, p.143–211.

FRAZÃO, E. B. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil – São Paulo: ABGE, 2002**.

HARTMANN, L.A.; CHEMALE Jr, F.; PHILIPP, R.P. **Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano**. 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Porto Alegre. 2007.

LOUREIRO, P.O. **Evolução magmática do complexo Pinheiro Machado na região de Monte Bonito, Pelotas, RS**. 2013. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MACIEL FILHO, C.L. & NUMMER, A.V. **Introdução à Geologia de Engenharia** – Santa Maria: Editora Ufsm, 2014.

PAIVA, P.S. **Caracterização e avaliação das propriedades geomecânicas para uso em pavimentação de agregados de rochas vulcânicas da porção central do Rio Grande do Sul**. 2017. 165 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de Construção**. Editora Globo. Porto Alegre, 1976.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. Editora Globo. Porto Alegre, 1982.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland**. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

PHILIPP, R.P. **A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul**. 1998. 269 p. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

PHILIPP, R.P. & MACHADO, R. **Suítes graníticas do batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: Petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos**. Revista Brasileira de Geociências. 2001.

PHILIPP, R.P., MACHADO, R.; CHEMALE Jr, F. 2007. **A geração dos granitóides Neoproterozóicos do Batólito Pelotas: evidências dos isótopos de Sr e Nd e implicações para o crescimento continental da porção sul do Brasil**. In:

Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.). 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre, Comunicação e Identidade, p. 59-77.

PHILIPP, R.P.; PIMENTEL M.M.; CHEMALE Jr, F. **Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology.** Brazilian Journal of Geology. 2016.

PHILIPP, R.P.; ALMEIDA, D.P.M.; GOMES, M.E.B.; PINTAÚDE, D.A. **Geoquímica do Granito Bela Vista, Piratini, RS: uma contribuição ao conhecimento do magmatismo alcalino no setor Oriental do Escudo.** Acta Geológica Leopoldensia. 1991.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S.; LAFON, J.M. **O magmatismo granítico neoproterozóico do batólito Pelotas no sul do Brasil: Novos dados e revisão da geocronologia regional.** Revista Brasileira de Geociências. 2002.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a terra.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

RAMOS, R.C. **Geologia da Associação Metamáfica-Ultramáfica da Região de Arroio Grande, RS.** 2011. 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

SÁNCHEZ, L. E. **Minerais Industriais 1 – Agregados. Apresentação.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1995.

SÁNCHEZ, L. E. **Minerais Industriais 2 – Brita.** Apresentação. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1995.

SANGUEBUCHE, T.R. **Implementação do equipamento Treton no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC/UFSC) para caracterização de agregados de pedreiras do estado do Rio Grande do Sul.** 2017. 74 p. Trabalho

de Conclusão de Curso. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

SILVA, R.F. **O granito Capão do Leão: Magmatismo tipo-I altamente fracionado no sudeste do cinturão Dom Feliciano, RS.** 2016. 75 p. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

STRECKEISEN, A. L. **Classification and nomenclature of igneous rocks. Final report of an inquiry.** Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen, 107, 144-240. 1967.

TICS– Tecnologias de Comunicação e Informação nos Cursos de Graduação. **Apostila de Materiais de Construção Básicos.** 2011, Universidade Aberta do Brasil, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense.

VASQUEZ, M. L. **Evolução petrogenética dos granitos da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul-RS.** 1997. 195 p. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1997.