

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

PABLO NEGRI FERNANDES

**CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DE
MÁRMORES DA MINA CALCÁRIO MUDADOR**

Caçapava do Sul

2019

PABLO NEGRI FERNANDES

**CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DE
MÁRMORES DA MINA CALCÁRIO MUDADOR**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado no Curso de Graduação em
Geologia da Universidade Federal do
Pampa, requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Régis
Sebben Paranhos

Caçapava do Sul

2019

FOLHA PARA FICHA CATALOGRÁFICA DA BIBLIOTECA

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).

F111651c Fernandes, Pablo Negri

CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DE MÁRMORES DA MINA CALCÁRIO MUDADOR / Pablo Negri Fernandes.

43 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação) -- Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.

"Orientação: Régis Sebben Paranhos".

1. Caracterização geomecânica de rochas. I. Título.

PABLO NEGRI FERNANDES

**CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DE MÁRMORES DA MINA CALCÁRIO
MUDADOR**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado no Curso de Graduação em
Geologia da Universidade Federal do
Pampa, requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso II defendido e aprovado em: 03/07/2019.

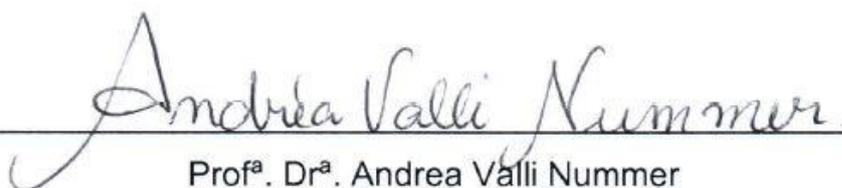
Banca examinadora:



Prof. Dr. Régis Sebben Paranhos

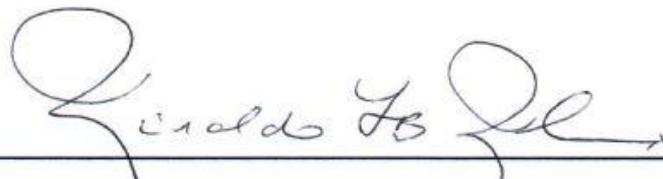
Orientador

Universidade Federal Do Pampa



Prof.ª Dr.ª Andrea Valli Nummer

Universidade Federal De Santa Maria



Prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro

Universidade Federal De Santa Maria

RESUMO

Representando 7% do PIB nacional (IBGE.2017), o setor de construção civil no Brasil é um dos mais importantes na economia nacional possuindo um número expressivo de mais 215 mil empresas atuantes na área. O elevado nível de exigências relacionados à qualidade dos materiais empregados nas atividades de construção civil, requer análises e monitoramentos cada vez mais sofisticados para a certificação da qualidade dos materiais envolvidos nos processos. O controle tecnológico de agregados consiste em um método relativamente novo, onde os agregados rochosos utilizados na produção de materiais são submetidos a uma série de análises e ensaios. Os objetivos de caracterizar e determinar parâmetros químicos e físicos são fundamentais para a determinação do potencial de utilização de cada um dos agregados. Problemas relacionados à qualidade de agregados rochosos podem gerar custos imprevistos e desnecessários no processo de produção de materiais considerados “pilares” da construção civil como cimento, brita e concreto asfáltico. Tais problemas podem ser evitados com a utilização de métodos que monitorem a qualidade desses materiais para que os mesmos sejam empregados de maneira correta em suas respectivas atividades. A pedreira Calcário Mudador localizada no município de Caçapava do Sul-RS foi escolhida para a realização do trabalho por possuir dois tipos de mármore, que se diferem tanto textural quanto composicionalmente. Ao selecionar as amostras da pedreira, as mesmas são submetidas à análises químicas, petrografia macro e microscópica e ensaios geotécnicos cujos resultados, baseados em normas, determinam características como por exemplo, forma, alterabilidade, lamelaridade, que caracterizam os parâmetros físicos dos agregados, o que possibilita a atribuição ou restrição de potencial de utilização dos mesmos para determinados projetos.

Palavras-Chave: Agregado, petrografia, geotecnia.

ABSTRACT

Representing 7% of national GDP (IBGE.2017), Brazil's civil construction sector is one of the most important in the national economy, with a significant number of more than 215 thousand companies active in the area. The high level of requirements related to the quality of materials used in construction activities requires increasingly sophisticated analyzes and monitoring for the certification of the quality of the materials involved in the processes. The technological control of aggregates consists of a relatively new method, where the rock aggregates used in the production of materials are submitted to a series of analyzes and tests. The objectives of characterizing and determining chemical and physical parameters are fundamental for determining the potential of use of each of the aggregates. Problems related to the quality of rock aggregates can generate unforeseen and unnecessary costs in the process of producing materials considered as "pillars" of civil construction such as cement, crushed stone and asphalt concrete. Such problems can be avoided by using methods that monitor the quality of these materials so that they are used correctly in their respective activities. The Limestone Mudador quarry located in the municipality of Caçapava do Sul-RS was chosen to carry out the work by having two types of marble, which differ both textural and compositional. When selecting quarry samples, they are subjected to chemical analysis, macro and microscopic petrography and geotechnical tests whose results, based on norms, determine characteristics such as shape, alterability, lamellarity, which characterize the physical parameters of the aggregates, the that allows the allocation or restriction of the potential of their use for certain projects.

Keywords: Aggregates, petrography, geotechnical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Agregados minerais	12
Figura 2 – Agregados minerais de diferentes granulometrias: (a) areia fina; (b) areia grossa; (c) pedrisco; (d) pó de pedra com pedrisco.	12
Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo.....	15
Figura 4 – Carta Imagem da mina Calcário Mudador.....	16
Figura 5 - Mapa geológico do bloco São Gabriel.	18
Figura 6 - Frente de lavra da mina Calcário Mudador	21
Figura 7 – Extração de mármore na mina Calcário Mudador.	23
Figura 8 - Mármore vermelhos e cinzas da mina calcário Mudador.	23
Figura 9 – Fluxograma com atividades desenvolvidas.....	25
Figura 10 - Visita à planta de beneficiamento da mina Calcário Mudador	26
Figura 11 - Ensaio de determinação de granulometria.....	28
Figura 12 - Ensaio de sanidade(agregado submerso em solução de sulfato de sódio)	29
Figura 13 - Ensaio de absorção e massa específica real e aparente.....	29
Figura 14 - Ensaio de Choque “Treton”. Figura 1 - Ensaio de abrasão Los Angeles	30
Figura 15- Ensaio de adesividade.....	30
Figura 16 – Ensaio de esmagamento.....	31
Figura 17 - Fotomicrografia de fraturas preenchidas por óxidos- aumento de 5x. Luz Natural.....	33
Figura 18 - Fotomicrografia de fraturas preenchidas por calcita - aumento de 5x. Luz Polarizada.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem de óxidos no mármore de coloração cinza.....	19
Tabela 2 - Porcentagem de óxidos no mármore de coloração vermelha.	20
Tabela 3 - Classificação de rochas carbonatadas em função do teor de óxidos de Magnésio e Cálcio.....	20
Tabela 4 - Classificação de Calcários em função do teor de MgO.....	21
Tabela 5 - Características exigidas aos agregados para emprego em determinadas atividades.	24
Tabela 6 - Ensaio geotécnicos realizados e suas respectivas normas.....	28
Tabela 7 -Resultados de análise granulométrica	34
Tabela 8 - Resultados de absorção e Massa específica real/aparente.	34
Tabela 9 -- Resultados de ensaio granulométrico.	37
Tabela 10 -Resultados de ensaios de absorção e massa específica real/aparente. .	38
Tabela 11 -Ensaio geotécnicos realizados e seus respectivos resultados.	39

Sumário

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Agregados Minerais	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Geral	13
2.2 Específicos	13
3 JUSTIFICATIVA	14
4 ÁREA DE ESTUDO	15
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
5.1 Geologia da área	17
Terreno São Gabriel.....	17
Complexo Metamórfico Passo Feio	17
Mármore da Mina de Calcário Mudador	19
5.2 Histórico da pedreira Calcário Mudador (Grupo CBC).....	21
6. MATERIAIS E MÉTODOS	24
6.1 ANÁLISES E ENSAIOS	25
6.2 Análise Macroscópica De Agregados	26
6.3 Análise Microscópica de Agregados	26
6.4 Determinação das Propriedades Tecnológicas	26
6.4.1 Análise granulométrica de agregados (DAER/RS-EL 102/01)	26
6.4.2 Ensaio de sanidade (DAER/RS-EL 104/01)	27
6.4.3 Ensaio de absorção e massa específica (real e aparente) (DAER/RS-EL 105/01)	27
6.4.4 Ensaio Treton (DNER-ME 399/99).....	28
6.4.5 Ensaio de abrasão “Los Angeles” (DAER/RS-EL 103/01)	28
6.4.6 Ensaio de esmagamento (DNER-ME 197/97).....	29
6.4.7 Ensaio de Adesividade (DAER/RS-EL 112/01)	29
7 RESULTADOS	31
7.1 Mármore vermelho.....	31
7.1.1 Petrografia.....	31
7.1.2 Ensaio geotécnicos	32

7.2 Mármore Cinza	33
7.2.1 Petrografia.....	33
7.2.2 Ensaios Geotécnicos.....	34
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
<u>9</u> REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico tem proporcionado interações frequentes entre a geologia e a engenharia civil na busca por complementações entre as áreas que promovam melhores e mais detalhados estudos e entendimentos utilizados na realização de obras e atividades que requerem cada vez mais precisão e confiabilidade. Segundo o Instituto brasileiro de geografia estatística (IBGE), o setor de construção civil representou 7% do PIB nacional em 2017 e registrou o número de 215.039 empresas atuantes na área, sendo um dos mais importantes setores da economia do país. Atualmente as obras de engenharia têm alcançado altos níveis de complexidade estruturais, o que faz com que a exigência pela qualidade dos materiais envolvidos e a precisão na execução dos projetos elaborados sejam cada vez mais rígidas.

O controle tecnológico representa um método utilizado para determinar e monitorar diferentes propriedades físicas e químicas de materiais utilizados na construção civil, como por exemplo, agregados rochosos de diferentes composições. Tal controle tem como tarefas definir características e prever comportamentos que possuem direta influência na qualidade dos produtos gerados a partir destas rochas. Uma vez que os materiais mais consumidos no setor de construção civil são compostos por agregados rochosos, as particularidades dos minerais componentes destes agregados devem ser cuidadosamente observadas em análises macro e microscópicas, e depois correlacionadas com resultados de ensaios laboratoriais de parâmetros físicos. A aliança e correlação das informações permitem uma determinação precisa do comportamento do material em determinadas situações e condições.

Os diferentes agregados rochosos utilizados nas atividades são compostos por diferentes tipos de rochas, que ao possuírem diferenças composicionais e mecânicas, atribuem diferentes características ao produto gerado que posteriormente será empregado nas obras e projetos. As informações específicas da mineralogia em união com os ensaios mecânicos laboratoriais passaram a ser de grande importância uma vez que as empresas produtoras de cimento e concreto asfáltico necessitam destas informações para evitar utilizações de materiais inadequados às determinadas atividades. Com o aperfeiçoamento das análises químicas e dos ensaios geotécnicos, parâmetros como forma, alterabilidade,

lamelaridade, adesividade e outros passaram a ser de fundamental importância para a determinação precisa do potencial de utilização de cada agregado rochoso, uma vez que diversos projetos exigem padrões de qualidade confiáveis a respeito desses parâmetros.

Apesar de recente, o controle tecnológico de agregados trouxe informações imprescindíveis aos profissionais das áreas de geologia e engenharia civil no que diz respeito aos parâmetros físicos dos materiais. Os potenciais de utilização dos agregados rochosos estão diretamente ligados às informações e caracterizações obtidas através das análises, que de acordo com as particularidades de cada um, pois atribuem ou restringem o potencial de utilização em determinadas atividades de construção civil.

1.1 Agregados Minerai

Agregados para Construção Civil são definidos como sendo materiais granulares, sem volume e forma determinados, de propriedades estabelecidas para uso em diversos campos da engenharia civil, como por exemplo, a pedra britada, cascalhos e as areias naturais ou artificiais (moagem de rocha). Os agregados são abundantes em todas as partes do mundo e podem ser naturais ou artificiais, sendo os naturais os que se encontram de forma particulada na natureza e os artificiais aqueles que são produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas, entre outros materiais utilizados na construção civil. A utilização e aplicação das areias e britas estão diretamente relacionados com sua granulometria, chegando ao consumidor final misturados ao cimento ou sem nenhuma mistura adicional, entretanto, é misturado ao concreto que os maiores volumes de agregados chegam ao consumidor final. Uma menor fração da produção é utilizada sem mistura aglomerante é utilizada em outras atividades de construção civil como por exemplo em muros de contenção, em base e sub-base de pavimentos e estradas, e outras aplicações.

Os agregados minerais utilizados nas diversas atividades de construção civil podem ser encontrados na natureza de diversas formas e tamanhos (figuras 1 e 2), características que estão diretamente relacionadas com os tipos de rochas e os processos naturais que formaram as mesmas.

De acordo com a atividade em que estão sendo empregados, os agregados minerais são utilizados tanto em tamanhos pequenos (areias finas para obras)

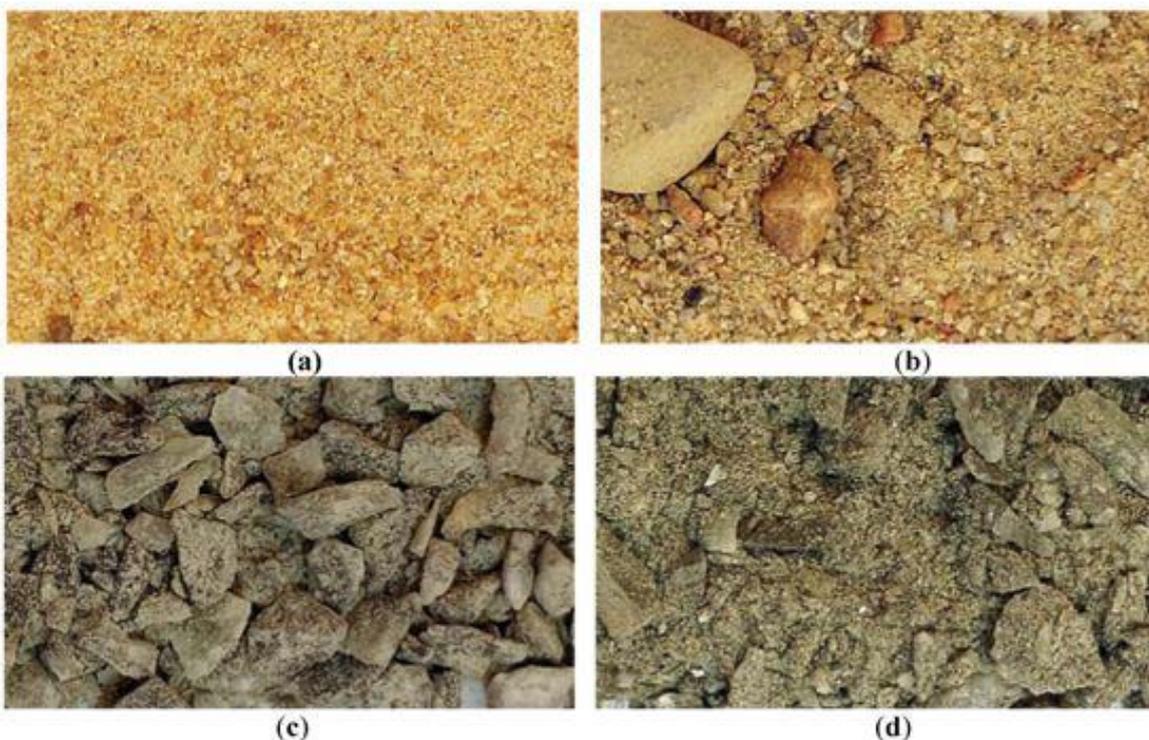
quanto em tamanhos grandes (blocos para estruturas de contenção), fazendo com que existam tipos de agregados mais indicados para determinadas atividades. É importante salientar que a relação custo/benefício sempre é levada em consideração no que diz respeito à utilização de grandes quantidades de agregados em obras de engenharia civil, uma vez os agregados disponíveis próximos às localidades das obras nem sempre apresentam as características desejáveis.

Figura 2 – Agregados minerais



Fonte: asope.com.br

Figura 3 – Agregados minerais de diferentes granulometrias: (a) areia fina; (b) areia grossa; (c) pedrisco; (d) pó de pedra com pedrisco.



Fonte: Modro, N.L.R 2009

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Determinar os parâmetros físicos e químicos dos diferentes tipos de mármores coletados na pedreira Calcário Mudador, para que os seus comportamentos mecânicos possam ser previstos em diferentes situações e fazendo com que os potenciais de utilização sejam devidamente atribuídos ou restringidos nos processos e projetos de construção civil e rodoviária.

2.2 Específicos

- Visitar e coletar amostras na pedreira Calcário Mudador;

- Selecionar as amostras de interesse e separar os tipos de mármores;

- Desenvolver análises petrográficas macro e microscópicas para determinação precisa da mineralogia, graus de alteração e presença de estruturas comprometedoras (microfraturas);

- Realizar os ensaios laboratoriais de parâmetros físicos para que o comportamento mecânico dos materiais coletados seja determinado;

- Promover análises comparativas entre a petrografia e os resultados dos ensaios geotécnicos, possibilitando uma previsão do comportamento dos materiais.

3 JUSTIFICATIVA

Nos dias atuais, o controle tecnológico de agregados vai muito além dos procedimentos tomados apenas na obra e se somam a esses os procedimentos de todo processo de produção, manipulação, transporte e ensaios (PEREIRA, 2008). A alta exigência dos projetos de engenharia civil atuais torna indispensável a certificação da qualidade e durabilidade dos materiais envolvidos, garantindo precisão e segurança, componentes fundamentais para obtenção de sucesso execução de projetos de engenharia. Materiais fundamentais na construção civil como concreto hidráulico e concreto asfáltico são compostos por agregados minerais cujas características específicas têm influência direta tanto na qualidade do produto final quanto no comportamento dos mesmos quando empregados em pavimentações e estruturas. Presente em diversas áreas da geologia e da engenharia civil, os controles tecnológicos atuam de modo preventivo evitando problemas nos processos industriais de produção de materiais que dependem diretamente da análise e determinação das características destes agregados minerais constituintes.

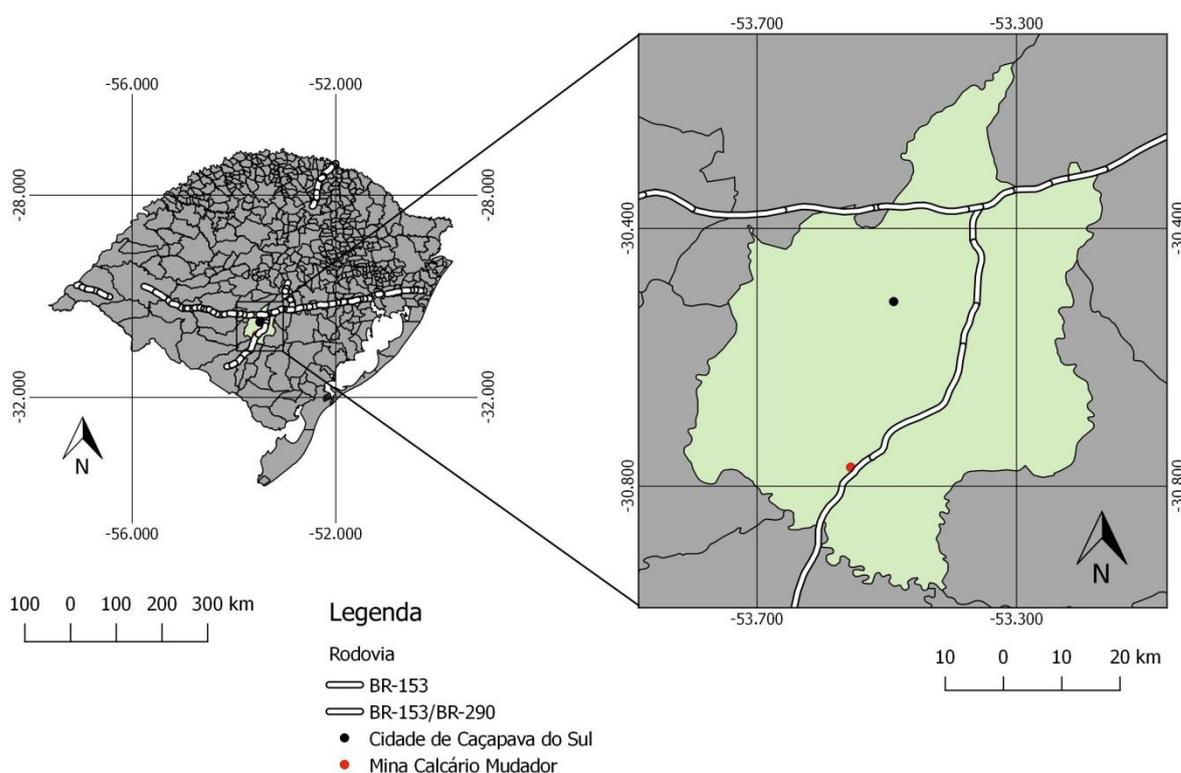
Frequentemente, pedreiras constataam diferenças de qualidade no material extraído para os processos, como por exemplo, rochas para britagem apresentando altos níveis de alteração e desagregação física (“esfarelamento”) ou problemas mecânicos presentes nos concretos asfálticos por utilização indevida de minerais inadequados para tal atividade, são exemplos de problemas geradores de grandes custos e que podem ser evitados pelos controles tecnológicos, que monitoram esses parâmetros para certificação de que estão sendo empregados os materiais adequados para cada tipo de atividades e produções realizadas.

Conceitos específicos da geologia como informações obtidas através de análises microscópicas de lâminas petrográficas passaram a ser de fundamental importância para a determinação das propriedades dos materiais, visto que altos graus de alteração e presença de microestruturas somente observados ao microscópio podem comprometer seriamente a qualidade e influenciar o comportamento do produto, o que pode restringir seu potencial e possibilidade de utilização no mercado da construção civil e rodoviária.

4 ÁREA DE ESTUDO

A pedra gaúcha “Calcário Mudador” está localizada às margens da rodovia federal BR-153, pertencendo ao município de Caçapava do Sul (Figura 3), na porção centro-sul do estado. A pedra foi selecionada por possuir dois tipos distintos de mármore, sendo eles: Mármore calcítico e mármore dolomítico. As análises comparativas entre os diferentes mármore são de extrema importância para obtenção de conclusões a respeito de seus respectivos comportamentos e conseqüentemente, seus potenciais de utilização. As particularidades de cada tipo de rocha tal como as condições do ambiente e os distintos processos geológicos que as formaram atribuem características texturais, composicionais e estruturais aos corpos rochosos.

Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo.



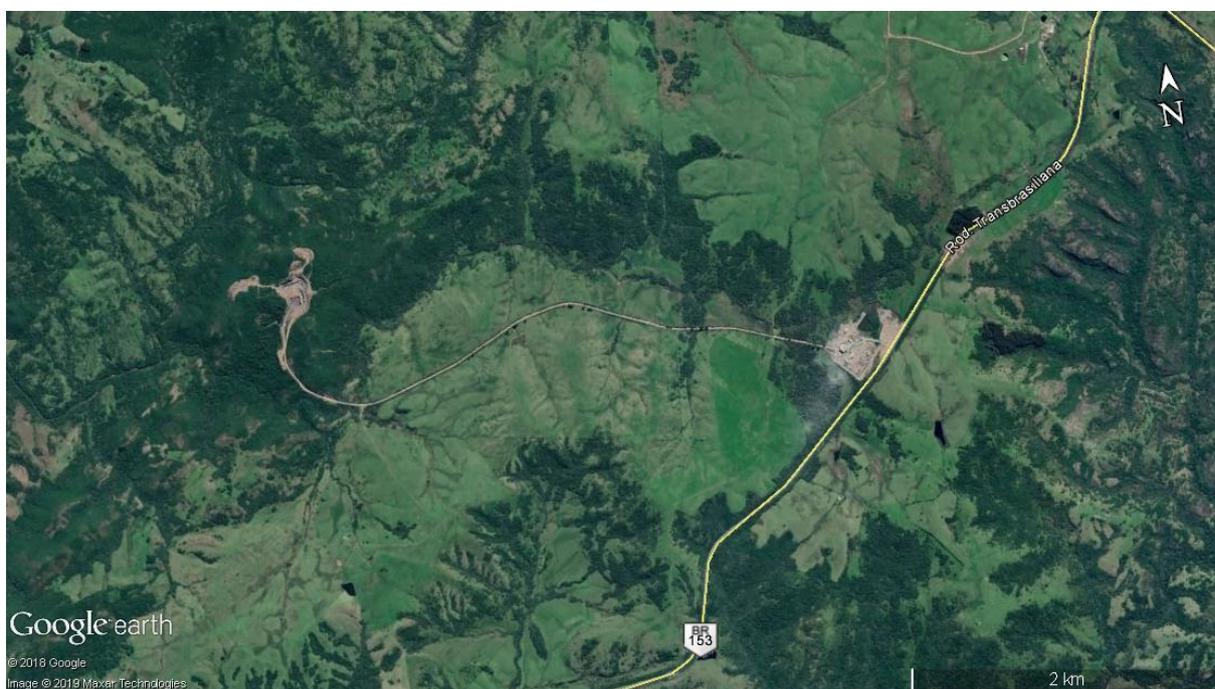
Fonte: Autor.

Os trajetos até o local da mina Calcário Mudador podem ser realizados de duas maneiras distintas: percorrendo 237 Km pela rodovia BR-290 (a partir da capital), acessando, então, a rodovia BR-153 (Transbrasiliana) no sentido à cidade

de Bagé, onde 129km à frente se localiza a entrada da empresa às margens da rodovia.

Uma outra maneira de acesso à mina é percorrendo 247 Km na rodovia BR-290 (a partir da capital), acessando então a rodovia BR-392 e percorrendo mais 24 Km nesta rodovia. Então se chegará ao acesso à rodovia BR-153 (Transbrasiliana), onde se deverá percorrer mais 29 Km até chegar na entrada da empresa (figura 4), às margens da rodovia.

Figura 5 – Carta imagem da planta de beneficiamento e frente de lavra da empresa Calcário Mudador.



Fonte: Google Earth

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Geologia da área

Terreno São Gabriel

A pedreira Calcário Mudador está por sua vez localizada no município de Caçapava do Sul e pertence ao terreno São Gabriel (figura 5), que está localizado na porção centro- oeste do Rio Grande do Sul, limitando-se à SW com o terreno Taquarembó através do Lineamento de Ibaré (*Hartmann et al., 2007*) e a leste com as unidades da Bacia do Camaquã através da Sutura de Caçapava (*Costa, 1997*). Constitui-se de gnaisses cálcio-alcálicos juvenis (*Babinski et al., 1996*) cortados por metagranitóides, todos incluídos no Complexo Cambaí e intrusivos nas sequências Vulcano sedimentares dos complexos Palma e Bossoroca. O Complexo Cambaí possui idades de zircão (TIMS e SHRIMP) em torno de 735 - 680 Ma (*Babinski et al., 1996*). O Complexo Bossoroca é constituído de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas andesíticas e dacíticas, representando a parte vulcânica principal do arco magmático desenvolvido no Terreno São Gabriel. O Cinturão Metamórfico Vacacaí (*Laux et al., 2010*) é uma importante faixa metavulcanossedimentar do Terreno São Gabriel, a qual bordeja toda a associação de rochas juvenis desta unidade, sendo constituída por metassedimentos, metavulcânicas e metaultramáficas com idade em torno de 760 a 730 Ma. A faixa não está contemplada no trabalho de *Hartmann et al. (2007)* e pode constituir uma associação de bacia Neoproterozóica amalgamada contra a associação de arcos juvenis do terreno São Gabriel.

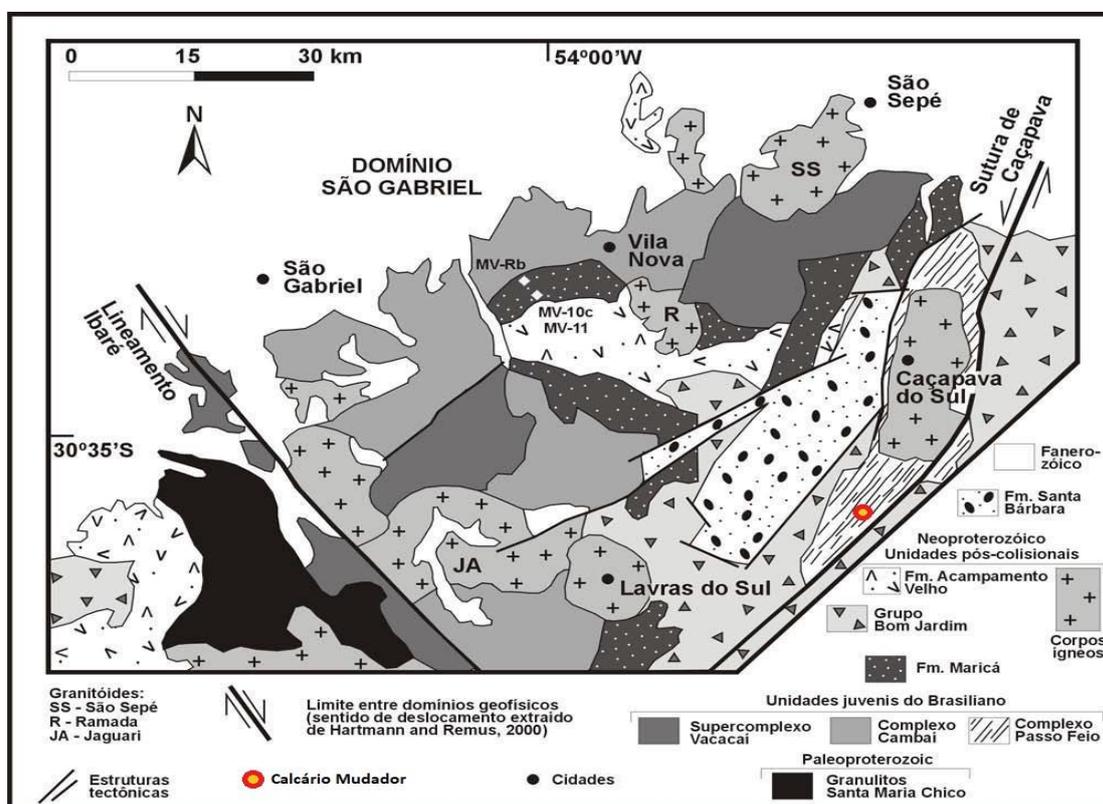
Complexo Metamórfico Passo Feio

Os primeiros trabalhos de mapeamentos realizados no local foram os de Ribeiro (1966), Bitencourt (1983) e Remus (2000), onde segundo os autores, o complexo metamórfico Passo Feio corresponde a uma unidade vulcano-sedimentar metamorfizada, intrudida pelo Granito Caçapava (figura 5). Sua litologia é variada, ocorrendo filitos, quartzito, xistos pelíticos, mármore, metaconglomerados, anfíbolitos, rochas calcissilicáticas, além de metabasaltos e xistos magnesianos. Soliani Jr. (1986), obteve a idade de 556 Ma. para o resfriamento do evento metamórfico utilizando métodos de datação K/Ar enquanto Remus (2000), obteve a idade de 700 Ma para o metamorfismo do Complexo metamórfico Passo Feio através do método de datação utilizando U/Pb em zircões.

Segundo os autores Goulart et al. (2011), os mármore de Caçapava do sul são classificados como mármore dolomíticos. De acordo com as análises químicas de elementos maiores, o teor médio de CaO nas amostras é de 31,78%, de MgO é de 20,64% . Já com relação ao Si₂O, os valores nas amostras variaram de 0,79% a 10,11%, com uma média de 3,36%. Os autores ressaltam que a relação existente entre as concentrações de CaO e MgO são bem próximas, tendo o CaO um teor aproximado a 30% e o predominantes na composição da dolomita, mineral que chega a ter de 76 à 98% da composição dos mármore dolomíticos.

Bitencourt (1983), definiu que existiram duas fases de metamorfismo que atingiram o complexo. A primeira teria atingido a fácies anfíbolito, onde o baixo grau de metamorfismo pode ser constatado através da presença de andaluzitas. A segunda teria atingido a fácies xisto verde. Duas fases distintas de deformação estão presentes neste evento, onde a primeira só pode ser observada e constatada à nível microscópico e a segunda teria dado origem às foliações magmáticas regionais.

Figura 6 - Mapa geológico do bloco São Gabriel, onde está inserido o complexo metamórfico Passo feio, local onde se encontra a mina Calcário Mudador.



Fonte: Modificado de Borba et al.2007.

Mármore da Mina de Calcário Mudador

O mármore é uma rocha metamórfica considerada de “qualidade superior” no ramo da construção civil pelo fato de ser resistente às condições climáticas, ter durabilidade e possuir propriedades isolantes. Este tipo de rocha se trata de um material de grande importância para o setor de construção civil, não só pelas suas características e propriedades naturais, como também pela sua beleza. O Mármore é muito utilizado no ramo construção civil e por possuir aparências e cores “exóticas”, é considerado como um material de excelente grau de acabamento, sendo muito utilizado e apreciado em atividades de revestimentos.

Também pode ser utilizado como substituto da areia nos processos de produção de concreto, e segundo a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), um estudo comprovou que a utilização de sobras de mármore utilizadas no lugar da areia convencional melhorou em 16% as propriedades do concreto, de acordo com o cimento usado na atividade. Para os fins ornamentais, o acabamento e repasse desse material como produto final aos consumidores são realizados pelas marmorarias, que são empresas responsáveis pela criação e transformação de chapas brutas, em produtos processados e com um maior valor agregado, prontos para serem comercializados.

Fabris. J (2015) em seu trabalho de conclusão de curso realizou análises químicas nos mármore da mina Calcário Mudador (tabelas 1 e 2) para a determinação de suas mineralogias, com o objetivo de determinar potenciais para utilização como corretivos de acidez de solos.

Tabela 1 - Teor de óxidos no mármore de coloração cinza da mina calcário mudador.

Calcário Preto- Arroio Mudador					
Amostra	PN	%CaO	%MgO	%CaO + %MgO	%RI
JF-MD-PR-01	104,5	33,64	22,38	56,02	4,5
JF-MD-PR-02	100,4	29,72	19,15	48,87	5,4
JF-MD-PR-03	100,8	30,28	19,55	49,83	5,0
JF-MD-PR-04	102,4	32,45	21,68	54,13	5,6
JF-MD-PR-05	105,7	32,7	22,8	55,5	4,0
Média dos parâmetros	102,76	31,76	21,11	52,87	4,9
Desvio padrão	2,06	1,5	1,49	2,95	0,59

Fonte: *FABRIS 2015*.

Tabela 2 - Teor de óxidos no mármore de coloração rosa/vermelha da mina calcário mudador.

Calcário Rosa- Arroio Mudador					
Amostra	PN	%CaO	%MgO	%CaO +	
				%MgO	%RI
JF-MD-RO-01	92,75	26,24	21,1	47,34	17
JF-MD-RO-02	90,77	24,95	15,31	40,26	21,8
JF-MD-RO-03	94,2	27,2	14,71	41,91	19,5
JF-MD-RO-04	93,6	31,12	14,92	46,04	12,1
JF-MD-RO-05	87,7	26,32	15,32	41,64	17,5
Média dos parâmetros	91,80	27,17	16,27	43,44	17,58
Desvio padrão	2,36	2,10	2,43	2,74	3,22

Fonte: *FABRIS 2015*.

M.C. Aguiar e A.G.P. Silva (2016) em seu trabalho “Caracterização de resíduo de mármore para fabricação de rocha artificial” fazem a seguinte classificação (tabela 3) para os teores de MgO % e razão MgO / Ca presentes nas rochas carbonáticas:

Tabela 3 - Classificação de rochas carbonatadas em função do teor de óxidos de Mg e Ca.

Classificação	Teores de MgO %	Razão MgO / CaO
Calcário Calcítico	0,0 - 0,1	0,00 – 0,02
Calcário Magnesiano	1,2 - 4,3	0,03 – 0,08
Calcário Dolomítico	4,4 - 10,5	0,09 – 0,25
Dolomítico Calcítico	10,6 – 19,1	0,26 – 0,56
Dolomito	≥ 19,2	≥ 0,57

Fonte: *M.C. Aguiar e A.G.P. Silva (2016)*

Tabela 4 - Classificação de Calcários em função do teor de óxido de magnésio.

DENOMINAÇÃO DOS CALCÁRIOS	PETTIJOHN-%MgO	BIGARELLA-%MgO
Calcário calcítico	0,0 a 1,1	0,0 a 1,1
Calcário magnesiano	1,1 a 2,1	1,1 a 4,3
Calcário dolomítico	2,1 a 10,8	4,3 a 10,5
Dolomítico calcítico	10,8 a 19,5	10,5 a 19,1
Dolomito	19,5 a 21,7	19,1 a 22,0

Fonte: Pettijohn (1957) e Bigarella (1956)

5.2 Histórico da empresa Calcário Mudador (Grupo CBC)

O Rio Grande do Sul, notadamente no século 19, atraiu inúmeros naturalistas, engenheiros de minas e geólogos, que aqui vieram estudar e conhecer as ocorrências de cobre nativo. Sabe-se que no período 1688 a 1756, no auge do desenvolvimento dos Sete Povos das Missões, foram fundidos sinos e outros objetos de uso cotidiano, usando cobre nativo encontrado no basalto. Já em 1825, o naturalista alemão Friedrich Von Sellow, descobre as primeiras ocorrências de cobre em Caçapava do Sul, assim como, realizou os primeiros estudos da geologia no município. “Andradas” e “Santa Bárbara”, segundo Scott, eram conhecidas desde 1864, e em 1866, o Governo Imperial assinou as primeiras concessões para exploração de cobre nativo em basalto no Rio Grande do Sul, encontrado em Quaraí. Atualmente é responsável pela extração de calcários e mármore na mica Calcário Mudador (figura 6).

Figura 7 - Frente de lavra da mina Calcário Mudador



Fonte: BACK A.H 2018.

Em 1865, surgiram as primeiras notícias da existência de Sulfetos de Cobre Auríferos, nas imediações do Rio Vacacaí, em São Gabriel. Marca também, a descoberta mais importante, a “Mina de Cobre do Camaquã”. A empresa mineradora CBC atualmente é a responsável pelas atividades de extração realizadas na pedreira Calcário Mudador.

Os agregados minerais são componentes de diversos materiais empregados em atividades de construção civil, onde para cada uma delas existe um agregado mineral específico indicado para tal atividade (tabela 5) e as características desejáveis para que o mesmo material seja empregado de maneira correta e confiável. As atribuições e exigências no que diz respeito às propriedades físicas e químicas de cada rocha só foi possível devido ao desenvolvimento das tecnologias na área das geociências, que possibilitou caracterizações cada vez mais precisas e detalhadas dos materiais estudados, podendo atribuir ao mesmos potenciais de utilização com muito mais precisão e confiabilidade.

Atualmente, os mármore cinzas são lavrados preferencialmente para comercialização como corretivos de acidez de solo, fazendo com que a extração para esse fim seja mais seletiva (figura 7), ou seja, para fins de correção de acidez de solo a lavra é feita de maneira mais seletiva enquanto para fins de construção civil a extração é feita sem nenhum tipo de seleção, lavrando os mármore de cores distintas juntos e misturando os mesmos nas pilhas de britagem. As bancadas de mármore da mina calcário mudador apresentam diferenças evidentes (figura 8) devido às suas posições, sendo o mármore vermelho presente nas porções mais superficiais da mina e o mármore cinza localizado nas porções mais basais da frente de lavra, o que fica evidente pelo contraste de coloração entre as duas rochas.

Figura 7 – Extração de mármore na mina Calcário Mudador.



Figura 8 – Mármores vermelhos e cinzas da mina calcário Mudador .



Tabela 5 - Características exigidas aos agregados para emprego em determinadas atividades.

	Qualidades Desejáveis nos Agregados	Principais Funções dos Materiais Rochosos
Concreto Betuminoso	<p>Forma das partículas equidimensionais, que promovam o embricamento e garantam a resistência mecânica;</p> <p>Textura superficial de média a alta para garantir a correta adesividade;</p> <p>Alta tenacidade e resistência ao polimento para suportar as ações mecânicas oriunda dos veículos;</p> <p>Alta abrasividade e dureza para evitar as deformações permanentes;</p> <p>Ausência de minerais expansíveis e alteráveis capazes de resistir às alterações intempéricas;</p>	<p>Melhorar as condições de rolamento quanto à microtextura, promovendo a segurança do usuário;</p> <p>Resistir e distribuir para as fundações os esforços verticais provenientes do tráfego;</p> <p>Resistir aos esforços cisalhantes tomando mais duráveis a superfície do pavimento;</p>
Concreto Hidráulico	<p>Adequada distribuição granulométrica que garanta maior compacidade e menor índice de vazios, permitindo maior economia de cimento;</p> <p>Forma das partículas equidimensionais, aumentando compacidade e promovendo maior resistência mecânica;</p> <p>Textura superficial intermediária afim de permitir correta aderência da argamassa/agregado;</p> <p>Alta resistência mecânica que suportem as solicitações advindas dos esforços estruturais;</p> <p>Ausência de impurezas e minerais alteráveis mantendo a qualidade do concreto e evitando reações alcali agregado;</p>	<p>Contribuir na resistência do concreto aos esforços solicitantes, ao desgaste e à ação das intempéries;</p> <p>Diminuir os custos através da economia de cimento;</p>
Lastro Ferroviário	<p>Alta tenacidade para suportar o impacto dos instrumentos de compactação evitando comalção;</p> <p>Alta resistência ao desgaste para resistir às ações de atrito e movimentações horizontais;</p> <p>Partículas equidimensionais que garantam correto embricamento, mantendo sua estabilidade geométrica;</p> <p>Ausência de minerais alteráveis capazes de resistir ao intemperismo;</p>	<p>Proporcionar base sólida aos dormentes, distribuindo as cargas de forma uniforme;</p> <p>Assegurar drenagem, evitando que os dormentes se desestabilizem;</p> <p>Preencher os vazios entre os dormentes; impedir o ascensão de lama na plataforma; dificultar crescimento de vegetação na via;</p> <p>Permitir elasticidade à via;</p>
Enrocamento e Filtros	<p>Baixa alterabilidade de seus minerais, capazes de suportar os ciclos de saturação e secagens evitando a desagregação;</p> <p>Correta distribuição granulométrica que garanta o embricamento e estabilidade estrutural ou a permeabilidade necessária à drenagem de águas pluviais;</p> <p>Minerais de difícil solubilização que garantam a durabilidade do material;</p>	<p>Compor o maciço da barragem de núcleo de terra; compor muros de arrumo na forma de blocos ou gabiões;</p> <p>Formar camadas de proteção de aterros viários, barragens de terra, pilares de pontes e erosão pelo impacto de ondas;</p> <p>Promover a drenagem da fundação; criação de um meio poroso que garanta a interceptação de fluxos preferenciais de água;</p>

Fonte: BACK A. H 2018

BACK A. H (2018) em sua dissertação de mestrado “Avaliação das propriedades químicas e geomecânicas de agregados oriundos de jazidas de rochas de diferentes litologias do estado do RS” teve como um dos seus objetos de estudo os mármores da mina Calcário Mudador, onde os mesmos foram submetidos à ensaios geotécnicos e análises, porém sem serem separados e analisados de maneira individual (Mármores cinza e vermelho).

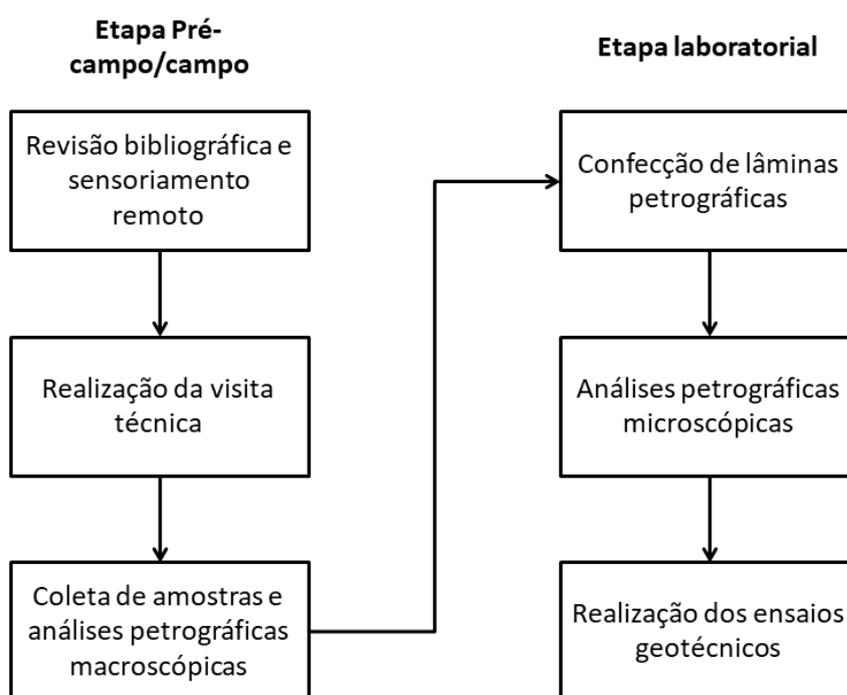
6. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho, as atividades foram divididas em duas etapas distintas:

I) Etapa de campo: Nesta etapa será realizada uma visita técnica para análises e descrições das fácies da pedra Calcário Mudador tal como a coleta de materiais, onde os mesmos serão selecionados de acordo com a observação de suas características macroscópicas como mineralogia, textura e presença de estruturas.

II) Etapa Laboratorial: Depois de selecionadas e coletadas, as amostras são levadas ao laboratório de mecânica de rochas onde são separadas e preparadas para serem laminadas para análises microscópicas e submetidas a ensaios geotécnicos para a obtenção de resultados que representem seus respectivos comportamentos mecânicos. As características mineralógicas observadas através da microscopia tal como os resultados dos ensaios das rochas do Calcário Mudador, são comparados com as informações referentes à outros tipos de rochas, de pedreiras distintas cujos ensaios já foram realizados em trabalhos anteriores. Abaixo um fluxograma (figura 7) representa a sequência de etapas no trabalho:

Figura 9 - Fluxograma com atividades desenvolvidas.



Fonte: Autor.

Com a autorização da empresa responsável (CBC), a saída de campo foi realizada no dia 18 de janeiro de 2019, onde a mina foi visitada e o material selecionado e coletado nas “pilhas de britagem”(figura 8). Os dois tipos de mármore que ocorrem na mina Calcário Mudador se encontravam misturados nas pilhas de britagem, o que significa que os diferentes materiais (mármore cinza e rosa) são lavrados e britados juntos, sem separação.

Figura 10 - Visita à planta de beneficiamento da mina Calcário Mudador.



Fonte: Autor.

Os dois tipos de mármore analisados no trabalho foram separados para que os resultados dos ensaios expressassem o comportamento individual de cada uma das rochas em questão.

6.1 ANÁLISES E ENSAIOS

6.2 Análise Macroscópica De Agregados

Com a realização das visitas técnicas, as distintas pedreiras escolhidas para a realização do trabalho tem o seu material rochoso analisado e descrito separadamente por fácies, analisando suas particularidades de acordo com parâmetros como composição mineralógica, textura, graus de alteração e presença de estruturas comprometedoras.

6.3 Análise Microscópica de Agregados

O material rochoso coletado e analisado macroscopicamente é levado para o laboratório de laminação, onde o técnico responsável seguindo as normas da NBR 12768/92, executa os procedimentos necessários para a confecção das lâminas petrográficas, que serão utilizadas para determinar graus de alteração e presença de microestruturas a nível microscópico

6.4 Determinação das Propriedades Tecnológicas

Os ensaios apresentados a seguir foram realizados na segunda etapa do projeto (TCC II), utilizando as máquinas do laboratório de mecânica de rochas localizado no departamento de engenharia civil da Universidade Federal de Santa Maria. Os dois tipos de mármore coletados foram separados para que os ensaios fossem feitos em cada um, separadamente. Para o entendimento e manuseio correto das máquinas e aparelhos, os ensaios foram acompanhados por técnicos responsáveis pelos laboratórios que forneceram auxílio em dúvidas e dificuldades.

6.4.1 Análise granulométrica de agregados (DAER/RS-EL 102/01)

A determinação das dimensões das partículas do agregado (figura 9) e de suas respectivas percentagens de ocorrência são obtidas através dos ensaios de granulometria (DAER/RS-EL 102/01), onde as partículas são submetidas à britagens nas frações 3/4 e 3/8.

Os ensaios geotécnicos (tabela 6) são realizados baseados em suas respectivas normas nacionais e internacionais:

Tabela 6 - Ensaio geotécnicos realizados e suas respectivas normas

Ensaio	Norma
Análise granulométrica de agregados	DAER/RS-EL 102/01
Sanidade	DAER/RS-EL 104/01
Absorção	DAER/RS-EL 105/01
Massa específica real	DAER/RS-EL 105/01
Massa específica aparente	DAER/RS-EL 105/01
Treton	DNER-ME 399/99
Abrasão Los Angeles	DAER/RS-EL 103/01
Esmagamento	DNER-ME 197/97
Adesividade	DAER/RS-EL 112/01

Fonte: Autor.

Figura 11 - Ensaio de determinação de granulometria.



Fonte: Autor.

6.4.2 Ensaio de sanidade (DAER/RS-EL 104/01)

O ensaio de sanidade baseado na norma (DAER/RS-EL 104/01) consiste em um método onde o agregado é avaliado quanto a sua resistência à desintegração pela ação de uma solução de sulfeto de sódio, onde fica submerso por 24 horas (figura 10).

6.4.3 Ensaio de absorção e massa específica (real e aparente) (DAER/RS-EL 105/01)

O ensaio de absorção baseado na norma (DAER/RS-EL 105/01) é um procedimento onde o material é pesado antes e depois de um determinado período de emersão em água (figura 11), a fim de determinar a quantidade que foi

absorvida pelos minerais.

Figura 12 - Ensaio de sanidade(agregado submerso em solução de sulfato de sódio)



Fonte: DAER/RS-EL 104/01)

Figura 13 -Ensaio de absorção e massa específica real e aparente.



Fonte: Autor.

6.4.4 Ensaio Treton (DNER-ME 399/99)

O ensaio Treton é um método que determina a perda de material ao choque em materiais pétreos britados(figura 12), pelo emprego do aparelho Treton, em amostra obedecendo à uma faixa granulométrica padronizada.

6.4.5 Ensaio de abrasão “Los Angeles” (DAER/RS-EL 103/01)

O ensaio de abrasão Los Angeles (DAER/RS-EL 103/01) é um método que consiste em submeter o agregado a choques e desgastes durante a rotação de um tambor metálico(figura 13), que tem seu efeito intensificado pela ação de bolas metálicas presentes em seu interior, que promovem a desagregação física do material, que é quantificada através de uma fórmula matemática.

Figura 8 - Ensaio de Choque “Treton”. Figura 9 - Ensaio de abrasão Los Angeles



Fonte: Autor.

6.4.6 Ensaio de esmagamento (DNER-ME 197/97)

Consiste em um método para a determinação da resistência ao esmagamento (figura 16) de agregados graúdos, de grãos com granulometria variando entre 9,5 mm e 12,5 mm, definidos na DNER-EM 037/97.

6.4.7 Ensaio de Adesividade (DAER/RS-EL 112/01)

O ensaio para determinação da adesividade (figura 15) baseado na norma (DAER/RS-EL 112/01) consiste em um método onde se determina a adesão dos agregados minerais a materiais betuminosos.

Figura 10 - Ensaio de adesividade



Fonte: Autor.

Figura 11 - Ensaio de esmagamento



Fonte: Autor.

7 RESULTADOS

Os ensaios geotécnicos laboratoriais realizados no departamento de engenharia civil da Universidade Federal de Santa Maria em união com a análise de lâminas petrográficas forneceram informações de fundamental importância para o entendimento dos materiais analisados, onde as interpretações dos resultados numéricos obtidos com os ensaios aliados às descrições petrográficas de caráter qualitativo, tornaram possíveis tanto o entendimento quanto a previsão do comportamento mecânico dos agregados minerais. Como já dito, os mármores analisados no trabalho foram separados para que os resultados dos ensaios expressassem o comportamento individual de cada uma das rochas em questão.

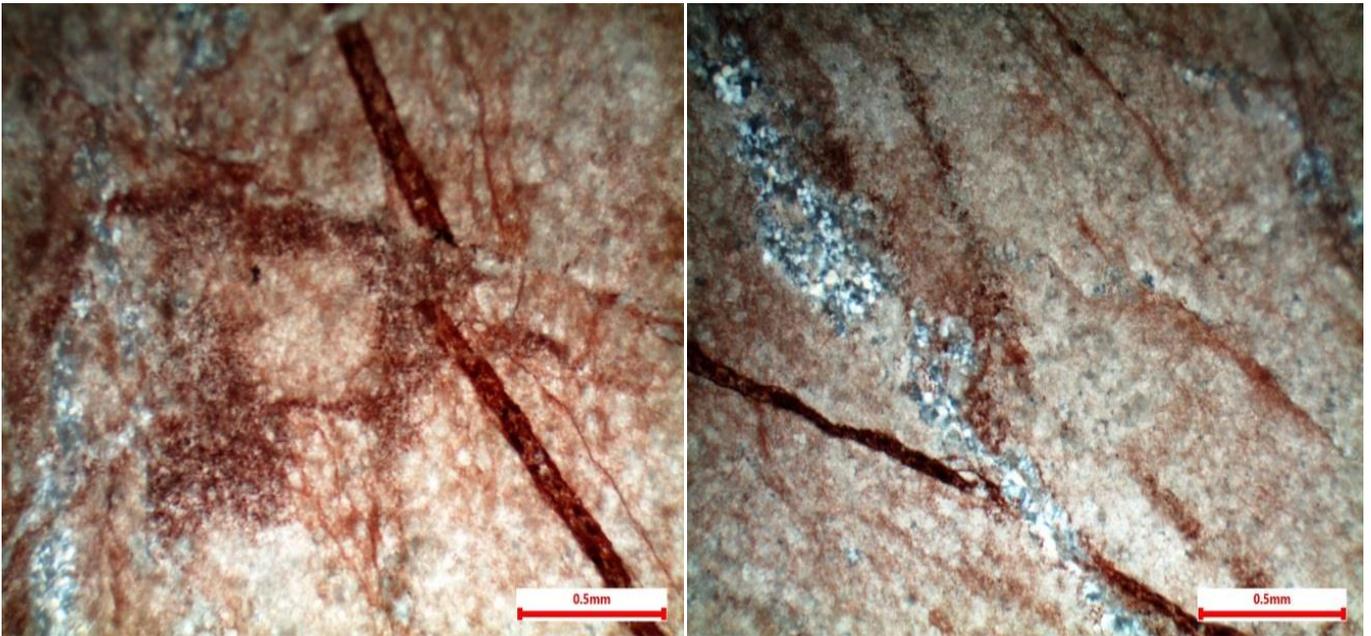
7.1 Mármore vermelho

7.1.1 Petrografia

Na apreciação petrográfica, foram feitas descrições macro e microscópicas do material de coloração vermelho, que apresentou as seguintes características:

- Predominância de minerais de calcita embora apresente dolomita em quantidades consideráveis;
- Textura Granoblástica;
- Arranjo inequigranular apresentando contatos interlobados entre os grãos;
- Grande quantidade de fraturas preenchidas por materiais distintos, predominando os preenchimentos de quartzo e óxido de ferro(figura 16);
- Grau de oxidação elevado.

Figura 12 - Fotomicrografia de fraturas preenchidas por óxidos- aumento de 5x. Luz Natural.



Os minerais presentes nas amostras de mármore vermelho apresentaram a seguinte proporção determinada por estimativas visuais:

- Minerais essenciais: - 60% Calcita, 15% Dolomita, 15% Óxidos de Ferro , 10% Quartzo.
- Minerais Acessórios: Óxidos de ferro.
- Minerais carbonáticos: Sim.
- Minerais deletérios: Óxidos de ferro.

Os minerais de calcita e dolomita possuem características muito semelhantes no que diz respeito às propriedades microscópicas, sendo necessária a observação de particularidades como cores de interferência e ângulos de extinção.

7.1.2 Ensaio geotécnicos

Ensaio de granulometria

Os ensaios de granulometria realizados mostraram que a maior parte do material de coloração rosada coletado na pedreira Calcário Mudador se encontrava na fração $\frac{3}{4}$ " (tabela 7). Como já haviam dito os funcionários do local no dia da visita, a fração $\frac{3}{4}$ " predomina representando quase 75% da amostra inicial, de 16kg.

Tabela 7 - Resultados de análise granulométrica

Peneiras		Determinação
Nº	mm	Peso Retido(kg)
3/4"	19	0,64
1/2"	12,5	9,32
3/8"	9,5	3,42
4	4,75	2,58
Fundo	<0,15	0,036

Fonte: Autor.

Ensaio de Sanidade

Após concluir todos os processos referentes ao ensaio de sanidade, obteve-se o valor numérico de 0,2, ou seja, 0,2% da massa de material que foi submetido à submersão em uma solução de sulfato de sódio foi "alterada" quimicamente, o que alterou consequentemente o seu peso inicial.

Ensaio de Absorção, Massa específica Real e aparente

As amostras tiveram seus pesos determinados na balança de precisão antes e depois de serem submetidas à uma submersão em água por um período de 48h, fornecendo os valores de absorção e o das massas específicas (tabela 8).

Tabela 8 - Resultados de absorção e Massa específica real/aparente.

Massa específica real (g/dm ³)	2,819
Massa específica aparente (g/dm ³)	2,817
Absorção(%)	0,17

Fonte: Autor.

Ensaio Treton

Ao submeter o mármore de coloração vermelha ao ensaio de resistência ao impacto/choque (ensaio treton), obtivemos o valor final de 12,14. Isso significa que **12,14%** do material inicial foi perdido pela ação dos impactos.

Ensaio de Abrasão “Los Angeles”

O ensaio de abrasão “Los Angeles” mede a resistência à abrasão do material submetido à choques com esferas dentro de um tambor metálico e no caso das amostras de mármore rosa, a porcentagem de rocha perdida pelo processo de abrasão foi de **14,1%** em relação ao peso da amostra inicial.

Ensaio de esmagamento

Importante para a previsão de resistência à cargas, o ensaio de esmagamento realizado nas amostras coletadas revelaram que **12,5%** do peso inicial da amostra foi perdido pela ação de carga exercida pela máquina.

Ensaio de adesividade

Os concretos asfálticos são misturas compostas por diversas substâncias como por exemplo o ligante asfáltico, derivado do petróleo cuja eficiência está diretamente ligada à composição química das rochas em questão. No caso do mármore vermelho do Calcário Mudador, o ensaio revelou um caráter não-satisfatório, ou seja, as amostras não reagiram de forma eficiente ao ligante asfáltico.

O ensaio de adesividade é um ensaio de caráter qualitativo, ou seja, seus resultados não são numéricos como os demais ensaios.

7.2 Mármore Cinza

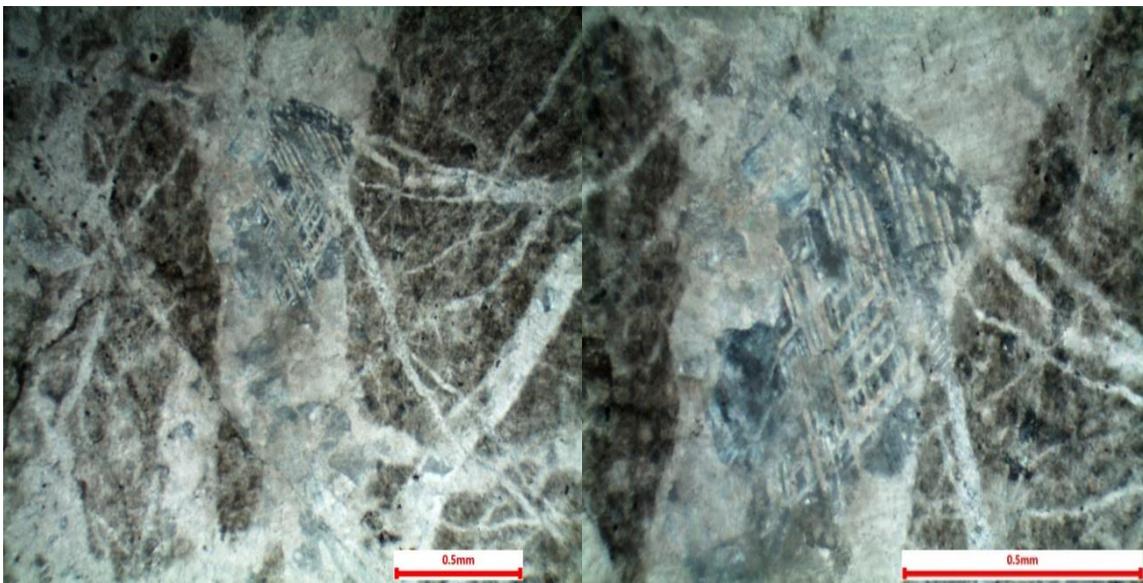
7.2.1 Petrografia

Na apreciação petrográfica, foram feitas descrições macro e microscópicas do material de coloração vermelha, que apresentou as seguintes

características:

- Nos campos da lâmina observados, os minerais de dolomita aparecem em maior quantidade que os de calcita, sendo alguns de difícil identificação;
- Textura Granoblástica;
- Arranjo inequigranular apresentando contatos levemente interlobados entre os minerais;
- Bastante fraturas, sendo a maioria delas preenchidas por calcita (Figura 17) e por quartzo em pequenas quantidades, não possuindo óxidos.

Figura 13 – Fotomicrografia de fraturas preenchidas por calcita - aumento de 5x. Luz Polarizada



Fonte: Autor.

Os minerais observados na composição mineralógica do mármore cinza apresentaram a seguinte proporções:

-Minerais essenciais: 50% Dolomita, 30% Calcita, 10% Óxidos de Ferro, 105 Quartzos.

-Minerais acessórios: Óxidos de ferro.

-Minerais carbonáticos: Sim.

-Minerais deletérios: Óxidos de ferro.

Os minerais de calcita e dolomita possuem características muito semelhantes no que diz respeito às propriedades microscópicas, sendo necessária a observação de particularidades como cores de interferência e ângulos d

7.2.2 Ensaio Geotécnicos

Ensaio de granulometria

Assim como o mármore de coloração vermelha, o mármore mais escuro também se encontra em maiores quantidades na fração $\frac{3}{4}$ " (tamanho padrão de britagem da empresa), seguida pela fração $\frac{3}{8}$ ", onde juntas correspondem à 80% da amostra (tabela 9), que tinha peso inicial de 22kg.

Tabela 9 -- Resultados de ensaio granulométrico.

Peneiras		Determinação
Nº	mm	Peso Retido(kg)
$\frac{3}{4}$ "	19	0,22
$\frac{1}{2}$ "	12,5	15,24
$\frac{3}{8}$ "	9,5	5,18
4	4,75	1,34
Fundo	<0,15	0,050

Fonte: Autor.

Ensaio de Sanidade

Após concluir todos os processos referentes ao ensaio de sanidade, obteve-se o valor numérico de 0,1, ou seja, 0,1% da massa de material que foi submetido à

submersão em uma solução de sulfato de sódio foi “alterada” quimicamente, o que alterou consequentemente o seu peso inicial.

Ensaio de Absorção, Massa específica Real e aparente

As amostras tiveram seus pesos determinados na balança de precisão antes e depois de serem submetidas à uma submersão em água por um período de 48h, fornecendo assim, os valores de absorção e o das massas específicas (tabela 10).

Tabela 10 - Resultados de ensaios de absorção e massa específica real/aparente.

Massa específica real (g/dm ³)	2,839
Massa específica aparente (g/dm ³)	2,835
Absorção(%)	0,21

Fonte: Autor.

Ensaio Treton

Ao submeter o mármore de coloração rosada ao ensaio de resistência ao impacto/choque (ensaio treton), obtivemos o valor final de 11,63. Isso significa que 11,63% do material inicial foi perdido pela ação dos impactos.

Ensaio de Abrasão “Los Angeles”

O ensaio de abrasão “Los Angeles” mede a resistência à abrasão do material submetido à choques com esferas dentro de um tambor metálico e no caso das amostras de mármore vermelho, a porcentagem de rocha perdida pelo processo de abrasão foi de 16,96% em relação ao peso da amostra inicial.

Ensaio de esmagamento

Importante para a previsão de resistência à cargas, o ensaio de esmagamento realizado nas amostras de coloração cinza coletadas, revelaram que 13,22% do peso inicial da amostra foi perdido pela ação de carga exercida pela máquina.

Ensaio de adesividade

Os concretos asfálticos são misturas compostas por diversas substâncias como por exemplo o ligante asfáltico, derivado do petróleo cuja eficiência está diretamente ligada à composição química das rochas em questão. No caso do mármore cinza do Calcário Mudador, o ensaio revelou um caráter não-satisfatório, ou seja, as amostras não reagiram de forma eficiente ao ligante asfáltico.

Tabela 11 -Ensaio geotécnicos realizados e seus respectivos resultados comparados aos resultados de Back A.H(2018):

Ensaio	Mármore Vermelho	Mármore Cinza	Mármore vermelho e cinza (Back A. H 2018)
Massa específica real (g/dm ³)	2,819	2,839	2,845
Massa específica aparente (g/dm ³)	2,817	2,835	2,822
Sanidade(%)	0,2	0,1	0,2
Absorção(%)	0,17	0,21	0,25
Treton(%)	12,14	11,63	13,13
Abrasão Los Angeles(%)	14,1	16,96	14,38
Esmagamento(%)	12,65	13,22	14,22
Adesividade	Não satisfatório	Não satisfatório	Não satisfatório

Fonte: Autor.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dois tipos de mármore separados e analisados no presente trabalho são classificados ambos como mármore dolomítico, onde as proporções dolomita/calcita apresentam variações na rochas de colorações distintas.

Como já dito anteriormente na revisão bibliográfica, Goulart et al. (2011) em seu trabalho já classificavam os mármore do local como mármore dolomítico, com conteúdos de óxidos de magnésio ultrapassando 20%.

A coloração distinta e as variações nas proporções calcita/dolomita levantam dúvida sobre a classificação precisa dos dois tipos de rocha, porém as classificações de rochas carbonatadas já existentes classificam ambos como mármore dolomítico, pela sua quantidade de óxido de magnésio presente nas rochas. Devido às variações nas proporções dos óxidos de magnésio, o mármore vermelho foi classificado como mármore dolomítico-calcítico, e o mármore cinza foi classificado como mármore dolomítico.

A coloração avermelhada de um dos materiais se explica pela grande quantidade de óxidos presente entre os grãos e nos preenchimentos das fraturas enquanto o mármore cinza apresentou quantidades insignificantes de óxidos, possuindo suas fraturas preenchidas por calcita e quartzo em menores quantidades. A petrografia microscópica constatou que a mineralogia das duas rochas não se difere tanto como sugerido ao início do trabalho e que por isso, alguns dos ensaios geotécnicos realizados tenham expressado um comportamento semelhante nos dois tipos distintos de mármore.

Através da determinação das propriedades tecnológicas dos agregados e suas análises petrográficas microscópicas foi possível realizar análises comparativas entre as rochas, como por exemplo:

- O mármore cinza apresentou uma perda de material por abrasão consideravelmente maior do que o mármore rosa, o que pode ser relacionado com a maior quantidade de fraturas presentes nas amostras, que agem como planos de fraqueza, diminuindo sua resistência à abrasão;
- Apesar de possuir um potencial de absorção maior, o mármore cinza sofreu menos alterações químicas quando submetido ao ataque químico com a solução de sulfato de sódio, pelo ensaio de sanidade;

- Os ensaios treton e de esmagamento não apresentaram diferenças significantes no que diz respeito ao comportamento mecânico dos agregados; fornecendo valores bem próximos nos dois casos;

Após as análises comparativas entre os resultados, os potenciais de utilização dos agregados analisados podem ser atribuídos ou restringidos da mesma maneira, ou seja, não houve obtenção de resultados que apresentem diferenças nos comportamentos mecânicos suficientes para determinar atribuições e restrições na suas utilizações. Embora a coloração bastante distinta entre as amostras sugira uma diferença considerável entre as rochas, as mineralogias e seus comportamentos mecânicos comprovam que as duas são semelhantes no que diz respeito a composição química e conseqüentemente, seu comportamento mecânico.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Agregados - Análise Petrográfica de Agregado para Concreto Parte-2 : Agregado Graúdo - NBR 7389-2. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. Agregados - Determinação da Composição Granulométrica - NBR NM 248/13. 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 - Ensaio de abrasão "Los Ángeles"- NBR NM 51/01. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.

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

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

ABNT. Agregados - Análise Petrográfica de Agregado para Concreto Parte-2 : Agregado Graúdo - NBR 7389-2. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

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

ALMEIDA, L. C. - Notas de Aula da Disciplina “Estruturas IV – Concreto Armado”, Faculdade de Engenharia Civil - Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. – Manual de Agregados para a Construção Civil – Rio

BACK A. H., AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E GEOMECÂNICAS DE AGREGADOS ORIUNDOS DE JAZIDAS DE ROCHAS DE DIFERENTES LITOLOGIAS DO ESTADO DO RS, 2018.

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.

MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER A. V., Introdução à Geologia de Engenharia – Santa Maria: Editoraufsm, 2014.