



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL
PPGEMinas - UFPE

“CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO GRANITO DÁLIA PARA
FINS ORNAMENTAIS”

Alinne Marianne Martins Araújo
Engenheira de Minas

Recife
2015

Alinne Marianne Martins Araújo

“CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO GRANITO DÁLIA PARA
FINS ORNAMENTAIS”

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mineral na área de concentração de Rochas Ornamentais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Felisbela Maria da Costa Oliveira

Co Orientador: Prof. Dr. Evenildo Bezerra de Melo

Recife
2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

A663c Araújo, Alinne Marianne Martins.
Caracterização tecnológica do granito Dália para fins ornamentais/Alinne Marianne Martins Araújo. - Recife: O Autor, 2015.

113 folhas, il.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Felisbela Maria da Costa Oliveira.
Coorientador: Prof. Dr. Evenildo Bezerra de Melo.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral, 2015.
Inclui Referências.

1. Engenharia Mineral. 2. Pegmatito. 3. Caracterização tecnológica. 4. Granito Dália. I. Oliveira, Felisbela Maria da Costa (Orientadora). II. Melo, Evenildo Bezerra de (Coorientador). III. Título.

622.35 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2015-137



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL
PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO
DE MESTRADO DE

ALINNE MARIANNE MARTINS ARAÚJO

**“CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO GRANITO DÁLIA PARA FINS
ORNAMENTAIS”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ROCHAS ORNAMENTAIS

A comissão examinadora composta pelos professoras abaixo sob a presidência da Dr^a. Felisbela Maria da Costa Oliveira, considera a candidata

ALINNE MARIANNE MARTINS ARAÚJO, Aprovada.

Recife, 16 de Abril de 2015.

Orientadora Prof.^a Dr^a Felisbela Maria da Costa Oliveira

Co-Orientador: Prof. Dr. Evenildo Bezerra de Melo

Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa

Prof. Dr. . Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros

A

Mercês, mãe, guerreira e grande incentivadora intelectual,

Meu esposo Diego Barbosa pelo carinho, amor, apoio e compreensão,

Minhas companheiras e amigo de quatro patas: Shakyra, Pietra, Louie, Morena e Armany.

E para todos aqueles que dedicam um tempo da sua vida para ajudar os animais abandonados.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força e coragem todos os dias nesta caminhada;

A Mercês, minha mãe, incentivadora maior da busca por resposta às minhas inquietações intelectuais, concretizada, em parte, com esse mestrado;

A Diego, amado esposo, que compreendeu os momentos ausentes, as inquietudes e as dificuldades inerentes a essa “esposa-estudante”;

Aos meus amigos de quatro patas Pietra, Morena, Joulie e Armany pela drástica redução em suas brincadeiras, e em especial a Shakyra por sempre viajar comigo e me fazer companhia em sua breve vida;

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Felisbela Oliveira, que me incentivou em vários aspectos o qual o apoio extrapolou o esperado de um orientador, tornando-se mestre e amiga;

Ao Prof. Dr. Evenildo Bezerra de Melo pelo apoio, incentivo e conhecimentos repassados nas viagens de campo.

A todos os professores do mestrado cuja experiência e didática possibilitaram a transformação desta eterna aprendiz;

Aos meus amigos do eixo acadêmico da UFPE (mestrado), pela troca de experiências durante a nossa convivência, em especial a Glenda Oliveira pela grande ajuda nos ensaios e laboratórios;

Aos funcionários do PPGMinas, em especial à secretaria Edna Araújo;

A Capes pela bolsa de estudos concedida;

A empresa FUJI S/A – Mármore e Granito, em especial a Fernando Antônio de Holanda e Antônio Augusto Pereira de Sousa, onde todo conhecimento deste trabalho foi adquirido;

A Francisco de Alencar Medeiros, o qual tenho um enorme respeito e gratidão por ter acreditado e incentivado este trabalho tornando-o possível;

A José Soares de Brito o qual tenho grande respeito e admiração. Obrigada por sua orientação, incentivo, paciência e conhecimentos repassados;

A José Ferreira Tavares pelo incentivo e conhecimentos repassados;

A Maria José Bezerra Silva e Arnaldo por dividirem o seu espaço de trabalho, e principalmente pelo companheirismo todos os dias;

MUITO OBRIGADO!

*Existe algo na presença de um gato...
Que parece arrancar um pedacinho da solidão.*

Louis Camuti

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo das rochas.....	20
Figura 2 - Relação de como pode ser observada a granulometria.....	25
Figura 3 - Ilustração da inter-relação entre geologia, tipo de rocha, tecnologia de rochas e construção civil.	35
Figura 4 - Mapa de localização da Província da Borborema.....	38
Figura 5 - Mapa de Localização dos principais pólos de produção de rochas ornamentais na Província Borborema.	40
Figura 6 - Vista do corpo 1, antes de ser lavrado.....	49
Figura 7 - Ilustração do posicionamento do equipamento de fio diamantado. .	51
Figura 8 - Esquadreamento dos blocos por cunhas.	52
Figura 9 - Área de estocagem dos blocos.....	53
Figura 10 - Blocos para desdobramento no tear multilâminas.	55
Figura 11 - Tear multifio diamantado para desdobramento de blocos da Empresa FUJI S/A.....	57
Figura 12 - Detalhe dos fios diamantados cortando um bloco de granito.....	58
Figura 13 - Vista dos corpos de interesse.	59
Figura 14 - Chapa polida do granito Dália.....	60
Figura 15 - Mapa do Rio Grande do Norte.	61
Figura 16 - Corpos de prova durante o ensaio de índices físicos.....	64
Figura 17 - Corpos de prova durante o ensaio de compressão uniaxial simples.	66
Figura 18 - Corpo de prova durante o ensaio de flexão.	67
Figura 19 - Corpo de prova para o ensaio de Desgaste Abrasivo <i>Amsler</i> com dimensões (7x7x2) cm.	68
Figura 20 - Equipamento <i>Amsler</i>	69
Figura 21 - Corpos de prova durante o ensaio de gelo e degelo.....	72
Figura 22 - Ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.....	73
Figura 23 - a) Localização esquemática dos pontos no maciço 1.; b) Frente de lavra da pedreira.	75
Figura 24 - (a) Destaque topográfico da pedreira; (b) Contato pegmatito/xisto.	76
Figura 25 - Maciço 2, onde foi marcado o primeiro ponto de localização.....	78

Figura 26 - (a) Local do primeiro ponto do Maciço 3; (b) Contato pegmatito/encaixante.	79
Figura 27 - (a) Maciço 4; (b) Contato do pegmatito/encaixante.....	81
Figura 28 - Vista do alto da pedreira do granito “Dália”, com respectivas localizações dos maciços estudados.	82
Figura 29 - Referente à Tabela 4 da direção e sentido do mergulho referente ao maciço 1.....	83
Figura 30 - Referente à Tabela 6 da direção e sentido do mergulho referente ao maciço 2.....	84
Figura 31 - Referente à Tabela 8 da direção e sentido do mergulho referente ao maciço 3.....	85
Figura 32 - Referente à Tabela 10 da direção e sentido do mergulho referente ao maciço 4.....	86
Figura 33 - Comparação dos quatro blocos de partição.....	87
Figura 34 - Geologia da região de Parelhas.....	91
Figura 35 - Material (a) in natura; e (b) Chapa polida.....	93
Figura 36 - Lâmina petrográfica do granito Dália.	94
Figura 37 - Gráfico comparativo dos índices de densidade obtidos nos ensaios e normas ABNT 15844 e ASTM C615.	96
Figura 38 - Gráfico comparativo dos valores de porosidade do “Granito Dália” e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844.	97
Figura 39 - Gráfico comparativo dos valores de absorção d’água do “Granito Dália” e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844 e ASTM C615.....	97
Figura 40 - Gráfico da relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial da amostra do Lote 1, e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615.....	99
Figura 41 - Gráfico da relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial das amostras do Lote 2, e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615.....	100
Figura 42 - Relação dos resultados obtidos das amostras do Lote 1 após gelo/degelo.....	101
Figura 43 - Relação dos resultados obtidos das amostras do Lote 2 após gelo/degelo.....	102

Figura 44 - Relação das médias antes e após congelamento/ degelo associados à compressão uniaxial simples do Granito “Dália”.....	103
Figura 45 - Modelo de Ruptura das amostras com tela.....	104
Figura 46 - Modelo de Ruptura das amostras sem tela.....	104
Figura 47 - Relação entre os valores médios obtidos em ensaios e os sugeridos como limites do Desgaste de Amsler pela norma ABNT NBR 12042:2012. ..	106
Figura 48 - Comparativo do valor gerado no aparecimento de micro fraturas com a norma da ABNT.....	107
Figura 49 - Comparativo do valor gerado na ruptura completa com a norma da ABNT NBR 15844:2010.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das rochas ígneas de acordo com o tamanho dos grãos.	24
Tabela 2 - Valores especificados para granitos pela ABNT NBR 15844 E ASTM C 615.....	36
Tabela 3 - Referente à localização dos pontos do Maciço 1.	74
Tabela 4 - Direção e sentido do mergulho referente ao maciço 1.....	76
Tabela 5 - Referente à localização dos pontos do Maciço 2.	77
Tabela 6 - Referente à direção e sentido de mergulho do Maciço 2.	77
Tabela 7 - Referente à localização dos pontos do Maciço 3.	78
Tabela 8 - Referente à direção e sentido de mergulho do Maciço 3.	79
Tabela 9 - Referente à localização dos pontos do Maciço 4.	80
Tabela 10 - Referente à direção e sentido de mergulho do Maciço 4.	80
Tabela 11 - Estimativa percentual da proporção volumétrica dos minerais no granito “Dália”.....	95
Tabela 12 - Média dos valores referentes aos índices Físicos do “Granito Dália”.....	95
Tabela 13 - Valores médios da compressão uniaxial na condição seca, antes e após o ensaio congelamento/degelo, coeficiente de enfraquecimento (K) e variação da resistência.....	102
Tabela 14 - Valores médios do Desgaste Amsler referente aos ensaios com granito Dália.	105

RESUMO

A caracterização tecnológica é de grande importância para as rochas usadas como pedra de revestimento, devendo ser realizada logo na etapa da pesquisa mineral, quando já se deve ter conhecimento do tipo de aplicação. Neste trabalho será apresentado o estudo das propriedades de maior interesse para a aplicação da rocha denominada comercialmente Granito “Dália”: densidade aparente, porosidade, absorção d’água, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, resistência ao impacto, e gelo/degelo associado à compressão uniaxial. A partir da análise macroscópica, foi determinado que esta é uma rocha ígnea de origem pegmatítica, cujas jazidas são localizadas atualmente na cidade de Parelhas – RN. O trabalho apresenta e discute os resultados obtidos dos ensaios de caracterização tecnológica e também as características mineralógicas e petrográficas. Serão também abordados os condicionantes geológicos-estruturais do jazimento, com ênfase ao bloco de partição natural da rocha, e seu desdobramento na extração e beneficiamento deste litotipo. Os resultados obtidos foram comparados aos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15844 e ASTM C 615. Os valores médios encontrados para índices físicos, desgaste *Amsler* e impacto de corpo duro estão dentro dos limites aceitáveis, mas o mesmo não acontece para compressão uniaxial, gelo/degelo, flexão a ruptura (quatro pontos), significando referências para a aplicabilidade otimizada. Tendo em vista que para se alcançar mercados mais diversificados e com a durabilidade desejável, devem ser realizados os ensaios de caracterização tecnológica para rochas ornamentais que são de suma importância para os devidos usos e aplicações dos materiais pétreos, mesmo que ainda podemos perceber que as informações tecnológicas são relativamente pouco utilizadas pelas indústrias de rocha ornamental. Para pesquisas futuras devem ser realizado o ensaio de alterabilidade, pois macroscopicamente e sob microscopia ótica foram verificados os minerais que podem alterar, e que poderão influenciar diretamente na sua aplicabilidade.

Palavras chave: Pegmatito. Caracterização Tecnológica. Granito Dália.

TECHNOLOGICAL CHARACTERISATION OF DÁLIA GRANITE FOR ORNAMENTAIS PURPOSES

ABSTRACT

Technological characterization is of great importance for the rocks used as coating stone and should be performed in the mineral exploration stage, period in which is already known the rock application type. This work presents the studies of the most important properties about one of the commercial materials of greatest interest to the rock market, the "Dália" Granite: specific density, porosity, water absorption, uniaxial compressive strength, flexural strength, impact resistance, and freeze / thaw associated with uniaxial compression. From the macroscopic analysis, it has been determined that Dália is an igneous rock of pegmatitic origin, whose deposits are currently located in the city of Parelhas – Rio Grande do Norte – Brazil. The work presents and discusses the results of technological characterization tests, as well as the mineralogical and petrographic characteristics. It has been also addressed the geological-structural conditions where the deposit is located, with emphasis on natural partition block of rock, and its impact on the extraction and processing of this lithotype. The results have been compared to the standards established by the NBR 15844 and ASTM C 615. The average values for physical indices, Amsler wear and hard body impact are within acceptable limits, but the same has not been verified for uniaxial compression, freeze / thaw, bending break (four points), meaning new references for optimal applicability. Considering that to achieve more diversified markets and to reach a desirable durability, the technological characterization tests for ornamental rocks are crucial to the proper uses and applications of stone materials. These tests should be performed, even if it is perceived that the technological information is relatively little used by the ornamental stone industry. For further research, it should be carried out changeability tests, since macroscopically and under optical microscopy, it has been found that minerals can change, and those changes can directly influence their applicability.

Keywords: Pegmatite. Technological characterization. Dália Granite.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	Classificação das rochas	18
3.2	Rochas Ígneas	21
3.2.1	Textura.....	23
3.2.2	Composição química e mineralógica.....	27
3.2.3	Conteúdo em Sílica.....	27
3.2.4	Cor das rochas ígneas.....	28
3.3	Rochas ornamentais	28
3.3.1	Definições e características.....	28
3.3.2	História.....	29
3.4	Análise de mercado	30
3.4.1	Características do produto.....	30
3.4.2	Perspectivas para o mercado de rochas ornamentais.....	32
3.4.3	As rochas ornamentais brasileiras no contexto mundial.....	32
3.5	Caracterização tecnológica das rochas ornamentais	34
3.6	Estudo geotectônico da província da Borborema	38
3.6.1	Sub-província Rio Grande do Norte.....	42
3.7	Geologia	43
3.7.1	Geologia Regional e Local.....	43
3.8	Aspectos fisiográficos	44
3.8.1	Geomorfologia.....	44
3.8.2	Solos.....	45
3.8.3	Recursos Hídricos.....	46
3.8.4	Clima.....	47
3.8.5	Flora e Fauna.....	47
3.9	Projeto de lavra	48
3.9.1	Plano de preparação da mina – Desenvolvimento.....	48
3.9.2	Tecnologia de lavra.....	49
3.9.3	Desmonte.....	52

3.9.4	Estocagem, carregamento e transporte.....	53
3.10	Beneficiamento	54
3.10.1	Serragem em teares	54
3.10.2	Talha Blocos	55
3.10.3	Desdobramento de rochas ornamentais com fio diamantado.....	56
4	MATERIAIS E MÉTODOS	59
4.1	Granito Pegmatoíde “Dália”	59
4.1.1	Localização e vias de acesso	61
4.2	Ensaio de caracterização tecnológica	62
4.2.1	Análise petrográfica	62
4.2.2	Índices Físicos	63
4.2.3	Resistência à Compressão Uniaxial	65
4.2.4	Módulo de Ruptura (Flexão em quatro pontos)	66
4.2.5	Desgaste Abrasivo <i>Amsler</i>	68
4.2.6	Congelamento e Degelo associado à Compressão Uniaxial	70
4.2.7	Resistência ao Impacto	73
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.1	Descrição do Maciço	74
5.1.1	Vida Útil da Jazida	88
5.1.2	Método de lavra	89
5.1.3	Caracterização geológica	90
5.2	Caracterização Tecnológica	92
5.2.1	Descrição Petrográfica	92
5.2.2	Índices Físicos	95
5.2.3	Compressão Uniaxial.....	98
5.2.4	Congelamento/degelo associado à Compressão Uniaxial.....	101
5.2.5	Resistência à Flexão (Modulo de Ruptura).....	103
5.2.6	Desgaste <i>Amsler</i>	105
5.2.7	Resistência ao Impacto de Corpo Duro	106
6	CONCLUSÃO	109
	REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho enfoca a exploração do granito Dália (anteriormente denominado “Star White”), cuja jazida se localiza no Sítio Mufumbo, município de Parelhas, estado do Rio Grande do Norte. Este trabalho tem como objetivo avaliar as características mineralógicas, petrográficas, físicas e mecânicas deste material visando sua aplicabilidade.

Serão abordados os condicionantes geológicos-estruturais do jazimento, com ênfase ao bloco de partição natural da rocha, e seu desdobramento na extração e beneficiamento deste litotipo. É sabido que as propriedades do material baseadas nas condicionantes geológico-estruturais da área, para demais usos, fundamentados na sua caracterização mineralógica e físico-mecânica, com ênfase ao bloco de partição natural da rocha. Segundo FERREIRA et. al. (1969), nota-se hoje, que a grande maioria das empresas obteve suas jazidas de rocha ornamental, praticamente, sem nenhum caráter investigativo de cunho técnico-científico e, conseqüentemente, iniciam a extração do bem mineral sem o mínimo conhecimento do depósito, vindo a gerar até mesmo sua dilapidação. Ainda, de acordo com FERREIRA et.al. (1969), a localização geológica das áreas é apenas o início da pesquisa de viabilidade econômica de uma jazida, sendo necessário examinar as condições morfológicas e a logística de cada uma delas e principalmente os parâmetros geológicos que irão condicionar a viabilidade do depósito, onde uma dos mais importantes é o estudo estrutural dos maciços rochosos. ALENCAR et al. (1995) destacam a necessidade de estudos de caracterização da jazida de rocha ornamental, através de levantamentos geológicos de detalhe e sondagens, obtendo informações que permitam prever, dentre outras coisas, as dimensões dos blocos exploráveis e as variações da qualidade do material.

Para o complemento de tais estudos, serão feitos ensaios de resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão em quatro pontos, índices físicos, impacto de corpo duro, desgaste *Amsler*, resistência ao congelamento e degelo e análise petrográfica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo o estudo qualitativo para avaliação do desempenho de placas polidas do granito “Dália”, o qual se encontra localizado no Sítio Mulungu/Mufumbo na cidade de Parelhas – RN. Usado como revestimento interno paredes e ainda como balcões e pias, cujas propriedades são obtidas através da realização de ensaios e análises laboratoriais, visando a determinação dos parâmetros físicos, mecânicos e mineralógicos da rocha. Esta pesquisa objetiva também preencher um dos requisitos exigidos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mineral, a elaboração e defesa de dissertação, área de concentração em rochas ornamentais, junto ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco.

2.2 Objetivos específicos

- Levantamento geológico-estrutural da área explotada objetivando a identificação do bloco de partição através das superfícies levantante, alongante e trincante;
- Avaliação das condições geológicas estruturais no processo de extração das jazidas;
- Avaliação preliminar do material pétreo através de estudos petrográficos para determinação da composição mineralógica, textura e microfissuras inter e intragranulares, aplicando norma NBR 15845/2010;
- Caracterização tecnológica da rocha através dos ensaios de resistência de compressão uniaxial (NBR 15845/2010); determinação do desgaste abrasivo *Amsler* (NBR 12042/1992); determinação dos índices físicos (massa específica aparente seca e saturada, porosidade e absorção de água aparente (NBR 15845/2010); flexão em quatro pontos (NBR

15845/2010); determinação à resistência ao gelo e degelo associado à compressão uniaxial (NBR 15845/2010) e Impacto de corpo duro (NBR 15845/2010).

- Estabelecer indicações de uso para o material pétreo “Granito Dália” visando a melhor adequação das suas propriedades físico-mecânicas e mineralógicas aos ambientes aos quais o material será submetido.

As informações resultantes da revisão bibliográfica, os dados das pesquisas de campos, os resultados obtidos dos ensaios laboratoriais e as interpretações são apresentados a seguir:

- A Introdução aborda o assunto relativo ao tema estudado;
- A seção I expõe a Fundamentação Teórica sobre o contexto de estudo;
- A seção II trata do material utilizado e a metodologia empregada nesta pesquisa;
- A seção III corresponde à apresentação, interpretação e discussão dos resultados obtidos a partir das observações e levantamentos de campo e dos ensaios realizados no material pétreo em estudo;
- Finalmente, as Considerações Finais decorrentes desta pesquisa com relação ao tema estudado.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção foram realizadas várias pesquisas que abordaram assuntos sobre os grupos de rochas, rochas ornamentais e de revestimento, classificação segundo a textura. Esta revisão bibliográfica é de grande valia para uma melhor compreensão deste trabalho.

3.1 Classificação das rochas

Rochas são materiais sólidos consolidados, formados naturalmente por agregados de matéria mineral ou minérios, que se apresentam em grandes massas ou fragmentos. As rochas tiveram suas primeiras aplicações no período datado a mais ou menos 500 mil a.C. Pode-se afirmar que o uso da pedra nasceu com o homem e tem sido caracterizado em cada momento da evolução, satisfazendo vários fatores técnicos, funcionais, estéticos, entre outros (TEIXEIRA et al. 2009).

As rochas são classificadas em função de sua origem: ígnea, sedimentar ou metamórfica. Cada uma dessas classes de rochas apresenta características próprias dos seus processos de origem, que incluem a estrutura, a textura e a composição (SUGUIO, 2003).

a) Rochas ígneas

São formadas pela cristalização do magma fundido, proveniente do interior da terra. São exemplos desse tipo de rocha, os granitos, gabros, basaltos e etc.

b) Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares, de acordo com SUGUIO (2003), são formações originadas pela ação dos processos de intemperismo e desagregação, provocados por agentes da natureza tais como chuva e o vento em rochas preexistentes, e posterior sedimentação dos componentes minerais liberados, provenientes destas rochas.

Quando matérias como partículas de rocha, lama, matéria orgânica são transportadas e acumuladas em um determinado local, sofrendo ação da temperatura (frio ou calor), ocorre o fenômeno da diagênese ou litificação, ou seja, a transformação de sedimento em rocha. Os locais mais comuns para a ocorrência do processo são os lagos, baías, lagoas, estuários, fundo de oceanos, etc. Chuva, vento, água dos rios, ondas do mar vão aos poucos, fragmentando as rochas em grãos de minerais. Pouco a pouco, ao longo de milhares de anos, até o granito mais sólido se transforma em pequenos fragmentos. Esse processo é chamado de intemperismo também conhecido como meteorização, levando assim à degradação e enfraquecimento das rochas.

Os fragmentos de rochas são transportados pelos ventos ou pela água da chuva até os rios, que, por sua vez, os levam para o fundo de lagos e oceanos aonde esses fragmentos vão se depositando em camadas formando assim as praias. As camadas de cima que vão sendo depositadas exercem pressão sobre as camadas de baixo, compactando-as, essa pressão faz com que a cimentação e o agrupamento dos sedimentos endureçam a massa formada, fazendo com que a areia da praia se transforme, lentamente, em uma rocha sedimentar chamada arenito. Portanto, é assim que as rochas sedimentares são formadas.

Os sedimentos podem ser de diversos tamanhos são constituídos por fragmentos de minerais ou rochas. Os sedimentos podem ser clásticos (areias), de origem orgânica (restos vegetais) ou formada por precipitação química.

c) Rochas Metamórficas

De acordo com TEIXEIRA et al (2009), são rochas originadas a partir de transformações por ação da temperatura e pressão (T e P) no interior da crosta. O critério básico usado para classificar as rochas metamórficas de acordo com a sua aparência ou textura é a presença ou não de foliação metamórfica.

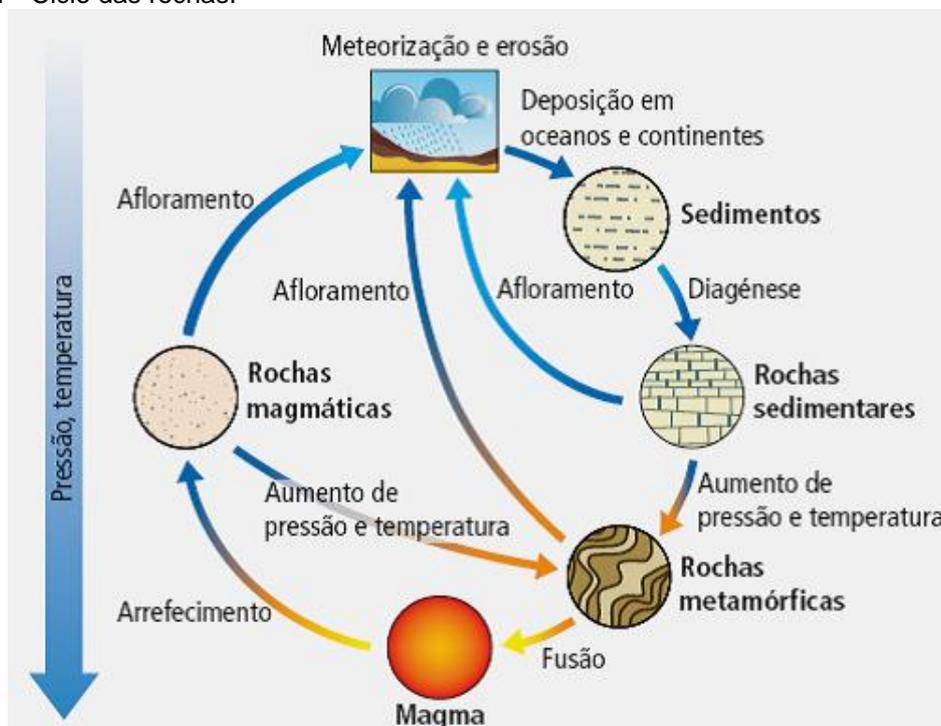
Quanto à textura as rochas metamórficas podem ser divididas em:

Rochas foliadas: a) rocha fina, áspera ao tato e facilmente quebrável em placas: ardósia; b) rocha com características de ardósia, porém mais frágil e sedosa ao tato: filito; c) rocha com minerais placoídes ou prismáticos em arranjo cristalino paralelo e orientado: xisto. d) rocha exibindo bandas mineralógicas claras e escuras paralelas ou dobradas: gnaisse.

Rochas não foliadas: a) Havendo quartzo como mineral constituinte principal e sendo rocha dura para riscar o vidro, trata-se de quartzito. b) Havendo cristais de calcita e/ou dolomita como constituintes principais da rocha, trata-se de mármore cristalino.

O estudo da formação das rochas remete ao entendimento da composição mineral, textural, estrutural e colorimétrica da rocha, que são características importantes para a análise estética do material, objeto de estudo desse trabalho. **Erro! Fonte de referência não encontrada.** pode-se observar como ocorre o ciclo das rochas.

Figura 1 - Ciclo das rochas.



Fonte: <http://magmatismoerochasmagmaticas-esrt.blogspot.com.br/>

Assim, o foco deste trabalho será direcionado ao estudo das rochas ígneas, na qual está inserida o material de interesse o granito Dália.

3.2 Rochas Ígneas

Segundo TEIXEIRA et al. (2009), o que condiciona a formação sequencial de diferentes minerais nas rochas ígneas é a composição química do magma gerador. A taxa do resfriamento do magma é quem vai determinar o tamanho dos cristais o que consistirá na textura da rocha. A composição e a textura é o que classifica as rochas ígneas. As Rochas ígneas podem ser extrusivas (vulcânicas) e intrusivas (plutônicas). As rochas vulcânicas são as rochas que foram formadas a partir de um processo de resfriamento rápido próximo ou na superfície tais como pedra - pomes, vidro vulcânico, entre outros. As rochas plutônicas são as rochas que passaram por um processo lento de resfriamento do magma o qual ocorreu abaixo da superfície, tendo como exemplo granito, gabro, diorito, etc.

As rochas ígneas são compostas essencialmente de minerais silicáticos: feldspatos, quartzo, piroxênio, anfibólios e/ou feldspatoides. Os minerais característicos de cada variedade são denominados essenciais, e aqueles que ocorrem em quantidades menores e cuja presença não é determinante são os acessórios, exemplo: zircão, titanita, apatita, ilmenita, magnetita, rutilo e outros.

Segundo VIDAL et. al (2013), dentre as rochas ígneas, dada a sua aparência, abundância e boas características físicas e mecânicas, que favorecem ao emprego em obras civis, os granitos sensu stricto são as mais apreciadas para uso como rocha ornamental e para revestimento, essencialmente pela grande variedade de cores, definidas pelo tipo de feldspato existente e impurezas nelas presentes. Outras rochas ígneas bastante utilizadas, mas que não constituem granitos propriamente ditos são:

- Gabros e dioritos: comercialmente designados de granitos pretos, pois são rochas relativamente ricas em minerais máficos (anfibólios, piroxê-

nios, biotita) e opacos (óxidos e sulfetos), responsáveis pela cor escura. Exemplo: “Preto São Marcos”, “Preto Piracaia” entre outros;

- Charnokitos: grupo especial de rochas plutônicas, com aspectos macroscópicos, microscópicos e mineralógicos muito semelhantes aos das rochas graníticas (sensu lato), mas que caracteristicamente contêm um mineral hiperstênio e apresentam tipicamente a cor verde. Exemplo: “Verde Pavão” explorado no Espírito Santo.
- Pegmatitos: são rochas cristalizadas a partir do magma residual, que se caracterizam pela granulação grossa a muito grossa, com a maioria dos cristais exibindo mais de um centímetro de diâmetro e estrutura muito heterogênea, e que comumente ocorrem na forma de diques ou veios preenchendo fraturas nas bordas e interior de maciços graníticos. As cores em geral, são claras, branco, bege com tonalidades de verde, amarela e rosa, dentre outras. Embora possam apresentar composições mineralógicas semelhantes a quaisquer corpos rochosos, em geral são similares à dos granitos e podem incluir minerais raros ricos em elementos como lítio, boro, flúor, nióbio, tântalo, urânio e terras raras. Os pegmatitos apresentam concentrações grandes de muscovita. Constituem grande parte das rochas exóticas hoje presentes no mercado
- As principais áreas pegmatíticas são Minas Gerais, Borborema (Rio Grande do Norte e Paraíba) e a província estanífera de Rondônia. Exemplos: Dália, objeto de estudo deste trabalho, “Capuccino” e Golden Himalaya.

Segundo SGARBI (2012), as rochas ígneas podem ser classificadas com base no ambiente de formação, na granulação, no índice de cor, na composição mineralógica, no teor em sílica, no grau de saturação em sílica e alumina e em outros parâmetros químicos, como, por exemplo, total de álcalis versus sílica.

É oportuno compreender que afloramentos de rochas ígneas correspondem a acentuado nível de erosão, pois em sua maioria formam-se em profundidades da ordem de 4 a 8 Km, no interior da terra.

3.2.1 Textura

Segundo SGARBI (2012), os critérios texturais importantes para classificação de rochas ígneas são: cristalinidade; granulometria; homogeneidade granulométrica. Estas texturas são intimamente relacionadas ao processo de resfriamento magmático, e a granulometria é a mais importante.

A cristalinidade corresponde ao grau de cristalização do magma, ou seja, a proporção de minerais e vidro que estão presentes nas rochas ígneas. Para a formação de minerais a partir do magma, precisa-se de um determinado tempo. Portanto, quando o resfriamento é relativamente lento, há tempo suficiente para formar uma rocha ígnea constituída totalmente de cristais. Por outro lado, quando o resfriamento é extremamente rápido, não há tempo suficiente, resultando uma rocha composta de vidro.

De acordo com a cristalinidade, as rochas são classificadas em: 1) holocristalina; 2) hipocristalina; 3) vítrea.

- Holocristalina: A rocha é composta inteiramente de cristais. A maioria das rochas ígneas se encaixa nessa categoria. Todas as rochas plutônicas são holocristalinas. As rochas holocristalinas são formadas através de resfriamento relativamente lento do magma. O prefixo holo significa totalmente.
- Hipocristalina: Pode ser chamada também de hialocristalina, a rocha é constituída por uma mistura de cristais e vidro. As rochas hipocristalinas são formadas através de resfriamento rápido do magma. Determinadas rochas constituintes de lavas são hipocristalinas. Os prefixos hipo e hialo significam, respectivamente, pouco e vítreo.

- Vítrea: É chamada também de holohialina. A rocha é composta quase inteiramente de vidro, o que significa resfriamento magmático extremamente rápido. Algumas rochas vulcânicas constituintes de lavas, tais como a obsidiana, são vítreas.

As três categorias para classificar as rochas quanto a granulometria são: fina, média e grossa. Granulação “Fina” se os constituintes individuais não puderem ser vistos à vista desarmada, em geral são rochas vulcânicas. Granulação “média” se a rocha ou a matriz da rocha, consistir em grãos grandes o suficiente para serem vistos, mas muito pequenos para serem identificados, em geral são rochas plutônicas, hipoabissais ou subvulcânicas, formadas em profundidades intermediárias, geralmente como diques ou soleiras. Granulação “Grossa” em geral são rochas plutônicas, formadas em profundidade no interior da terra, sendo que o resfriamento mais lento do magma permite uma cristalização como rochas de granulação grossa. Os pegmatitos, rochas de granulação extremamente grossa, podem ser classificados em separado de acordo com a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Classificação das rochas ígneas de acordo com o tamanho dos grãos.

	Rochas ígneas em geral	Pegmatitos
Granulação fina	<1 mm	<2,5cm
Granulação média	1mm - 5mm	2,5 - 10cm
Granulação grossa	5mm - 3cm	10 - 30cm
Granulação muito grossa	>3cm	>30cm

Fonte: SGARBI (2012).

Para identificação macroscópica as Rochas ígneas podem ser classificadas em (TEIXEIRA et al., 2009):

Rochas faneríticas ou rochas de granulação grosseira: apresentam cristais com dimensões predominantemente de 1 a 5 mm. A textura grosseira indica origem plutônica, devido ao resfriamento lento do magma em profundidade na crosta.

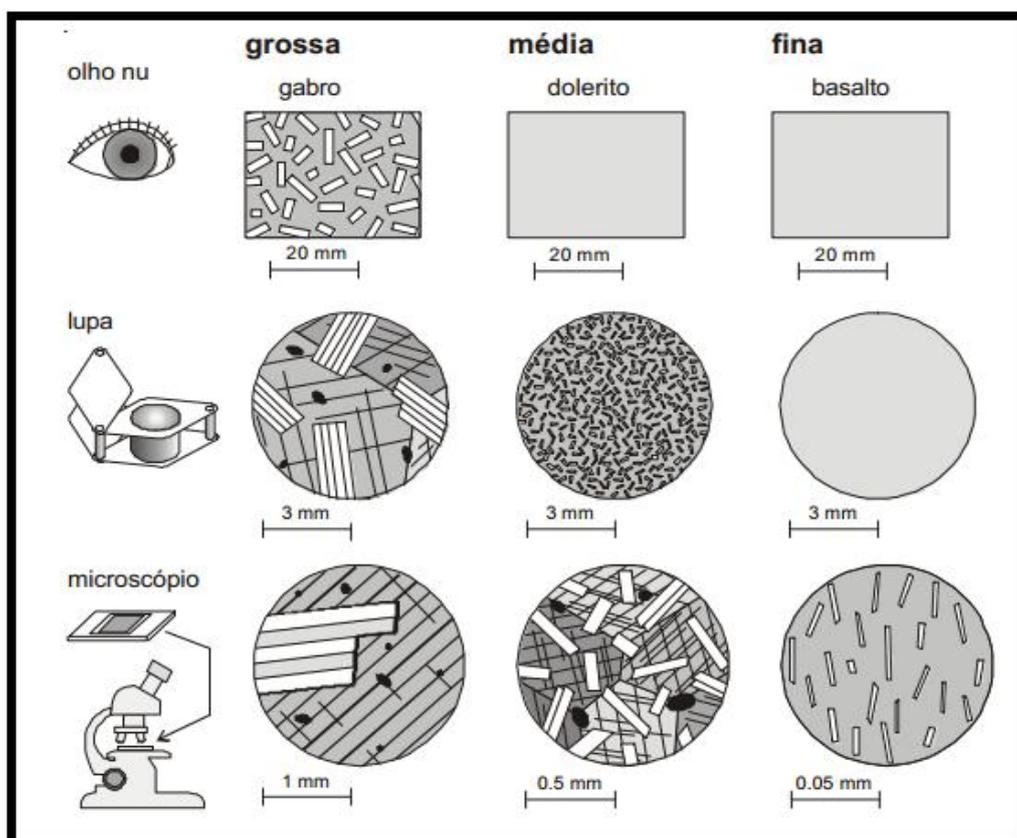
Os minerais que constituem as rochas ígneas são: quartzo, anfibólio, feldspato, biotita e piroxênio. Exemplos: granito, gabro.

Rochas afaniticas ou rochas de granulaco muito fina: essas rochas pelo fato de terem sido originadas por resfriamento bastante rápido possuem minerais muito pequenos, os quais são visíveis apenas em microscópio. Exemplos: andesito, basalto.

Rochas porfiríticas: a textura porfirítica indica mudança na taxa de resfriamento, refletida na existência de dimensões distintas dos cristais constituintes (grossa ou média em matriz fina). Exemplos: riolito porfirítico, basalto porfirítico.

Abaixo na Figura 2 podemos observar a relao dos vários tipos de textura e de como pode ser observada a granulometria.

Figura 2 - Relao de como pode ser observada a granulometria.



Fonte: VIDAL et. al (2013).

Homogeneidade granulométrica: Existem rochas ígneas constituídas por minerais de tamanho aproximadamente igual, que são denominadas de textura equigranular. As rochas compostas de minerais de granulometria gradativamente variável são denominadas transgranulares, porém, essas são raras em rochas ígneas. Desta forma, a maioria das rochas inequigranulares, ou seja, não equigranulares, é classificada em uma das duas texturas granulométricas distintas, equigranular e porfirítica.

- **Equigranular:** A rocha é constituída por minerais com tamanho relativo aproximadamente igual, ou seja, a granulometria é homogênea. Muitas rochas ígneas de granulometria grossa são equigranulares. O prefixo “equi” significa igual. A expressão “textura granular” encontrada na literatura referente às rochas ígneas corresponde à textura equigranular, porém, tende a ser menos utilizada. A maioria das rochas equigranulares possui granulometria de 1 a 10 mm. A homogeneidade granulométrica das rochas equigranulares significa que o resfriamento do magma foi um processo regular em um único estágio. A textura equigranular é observada comumente em granito, granodiorito, quartzodiorito, diorito, gabro, álcali sienito e nefelina sienito.
- **Porfirítica:** A rocha é constituída por minerais com duas granulometrias distintas, minerais grandes e pequenos. Os minerais grandes, normalmente menos frequentes, são denominados fenocristais, e os pequenos, que constituem a maioria, são chamados de massa fundamental. O termo “pórfiro” corresponde ao grão de mineral destacadamente grande em relação aos outros de qualquer gênese, ou seja, fenocristal é um tipo de pórfiro de origem ígnea. O termo matriz corresponde à massa fina de qualquer origem, enquanto que, a massa fundamental é um tipo de matriz de origem magmática. A textura porfirítica é observada tipicamente em riolito, dacito, andesito, basalto, traquito e fonolito. A heterogeneidade granulométrica das rochas porfiríticas indica que o resfriamento magmático não foi um processo regular, havendo pelo menos dois estágios.

3.2.2 Composição química e mineralógica

As rochas ígneas são também denominadas como rochas silicáticas, por apresentar em sua composição química um alto teor de sílica (SiO_2), distribuída em proporções relativas à fórmula molecular dos minerais silicosos que as compõem.

3.2.3 Conteúdo em Sílica

Em todas as rochas ígneas, com exceção dos carbonatitos, a sílica é o componente dominante, portanto, é natural que a proporção (% em peso) de sílica em relação aos outros componentes seja considerada como o primeiro fator na maioria dos esquemas de classificação de rochas ígneas. As rochas ácidas são também chamadas de rochas félsicas, e as rochas básicas e ultrabásicas são chamadas de rochas máficas e ultramáficas. O uso de limites rígidos de concentração de sílica na classificação das rochas ígneas é dificultado, também, pela necessidade de se ter os dados químicos. Caso, os mesmos estejam disponíveis, as rochas ígneas podem ser classificadas como:

- Ácidas – rochas compostas principalmente por feldspatos e quartzo, sílica maior que 66%. Exemplo: granito;
- Intermediárias – rochas compostas principalmente por feldspatos, mas podendo conter quartzo. Conteúdos de sílica entre 66 e 52%. Exemplo: Sienitos;
- Básicas – rochas compostas principalmente por minerais escuros além de plagioclásio e/ou feldspatoídes. Podem ou não conter pouco quartzo. Conteúdos de sílica entre 45 e 52%. Exemplo: basaltos;
- Ultrabásicas – rochas compostas principalmente por minerais escuros como olivina e piroxênio. Quantidade de sílica geralmente menor que 45%. Exemplo: peridotitos.

3.2.4 Cor das rochas ígneas

Segundo TEXEIRA et. al (2009), as variedades das rochas ígneas refletem a composição dos próprios magmas a partir dos quais se consolidam. Esse índice define a porção entre minerais máficos e félsicos, e é expresso pelo número puro correspondente ao percentual de minerais máficos. Segundo este parâmetro, as rochas ígneas podem ser subdivididas em hololeucocráticas ($M < 10\%$), leucocráticas ($30\% < M < 60\%$), melanocráticas ou máficas ($60\% < M < 90\%$), e ultramelanocráticas ou ultramáficas.

3.3 Rochas ornamentais

A rocha sempre esteve presente no cotidiano da sociedade tendo o seu uso destacado na construção civil, através do uso de agregados, elementos estruturais e, sobretudo, de rochas ornamentais. (FRASCÁ, 2002)

3.3.1 Definições e características

De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) podemos definir rocha ornamental como uma substância rochosa natural que, submetida a diferentes graus de modelamento ou beneficiamento, pode ser utilizada como uma função estética. Rocha de revestimento, por sua vez, é qualificada pelo órgão como material rochoso passível de desdobramentos e beneficiamentos diversos com emprego em acabamentos de superfícies de paredes e pisos em construções civis.

A American Society for Testing and Materials (ASTM), órgão normatizador americano, define dimension stone (pedra ornamental) como qualquer material rochoso natural serrado, cortado em chapas e fatiado em placas, com ou sem acabamento mecânico, excluindo produtos acabados baseados em agregados artificialmente constituídos, compostos de fragmentos e pedras moídas e quebradas. Segundo FRASCÁ (2002), com base nos conceitos da ABNT (1995) e ASTM (2003), entende rocha para revestimento como “um produto de desmon-

te de materiais rochosos e de seu subsequente desdobramento em chapas, posteriormente polidas e cortadas em placas”.

O conceito de rocha ornamental e de revestimento está baseado, sobretudo, em um método de extração e possibilidade de aplicação, conjugados a fatores estéticos, não importando a princípio seus aspectos genéticos e composicionais. Fica patente que qualquer material pétreo natural, passível de extração como bloco e com possibilidades de desdobramentos em chapas, com ou sem beneficiamento, pode ser considerado potencialmente uma rocha ornamental ou de revestimento. Comercialmente, as rochas ornamentais são definidas essencialmente à luz de duas principais categorias, que são os “granitos” e os “mármore”, distinguidos com base na sua composição mineralógica. Os granitos abrangeriam as rochas silicatadas, ou seja, formadas por minerais estruturalmente constituídos por tetraedros de SiO_4 , ao passo que os mármore incluiriam as rochas composicionalmente carbonáticas.

3.3.2 História

Segundo CHIODI (2007), o Brasil é mundialmente reconhecido pela excepcional geodiversidade mineral, inclusive nas rochas ornamentais, com destaque para seus materiais silicáticos (granitos e similares) e silicosos (quartzitos e similares). A produção e exportação desses granitos e quartzitos, além de ardósias e outras rochas menos comuns, têm evidenciado forte crescimento, traduzindo a capacidade brasileira de transformar recursos minerais em negócios mínero-industriais.

O Espírito Santo responde por quase 50% da produção brasileira de rochas e concentra 60% da capacidade instalada de beneficiamento de blocos. O Estado de Minas Gerais responde pela quase totalidade da produção e exportação de ardósias, quartzitos foliados (tipo Pedra SãoTomé) e pedra-sabão. A maior parte da produção dos chamados granitos exóticos provém dos estados de Minas Gerais e Bahia, concentrando-se neste último a produção das novas variedades de quartzito maciço exportadas pelo Brasil.

São Paulo é responsável, segundo estimativas, por 50% do consumo brasileiro de rochas, seguindo-se os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Conjuntamente, os estados da Região Sudeste, incluindo-se o Espírito Santo, respondem por aproximadamente 70-75% do consumo interno de rochas e, provavelmente, pelo mesmo percentual dos demais materiais de revestimento. Existe, a propósito, uma relação geográfica direta entre produção e consumo de rochas ornamentais, o que concorre para o destaque da Região Sudeste.

Do ponto de vista dos principais usos e aplicações, cerca de 80% dos produtos comerciais referem-se a chapas para revestimentos, incluindo-se pavimentos externos e internos (pisos), superfícies verticais externas (fachadas) e internas (paredes), degraus (base e espelho) e tampos em geral (pias, mesas, balcões, etc.). Os demais 20% envolvem peças estruturais (colunas, etc.), arte funerária (lápides e adornos) e trabalhos especiais (esculturas e peças usinadas).

Ainda de acordo CHIODI (2007), os cinco principais países de destino das exportações brasileiras de rochas, em ordem decrescente de faturamento, são os EUA, Itália, China, Espanha e Reino Unido. Os três principais mercados na América do Sul incluem Argentina, Chile e Venezuela. Os principais estados brasileiros exportadores de rochas, em ordem decrescente de faturamento, envolvem o Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Bahia.

3.4 Análise de mercado

3.4.1 Características do produto

As rochas ornamentais e de revestimentos abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortadas em formas variadas e beneficiadas através de polimento, esquadrejamento e mistas.

De acordo com CASTRO et. al. (2008) as principais aplicações incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesas, balcões e artes fúnebres em geral. Quanto às edificações destacam-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, colunas, soleiras etc. Do

ponto de vista comercial, as rochas ornamentais de emprego na construção civil têm sido genericamente denominadas de “MÁRMORES e GRANITOS”. Entretanto, as designações usuais nem sempre correspondem às classificações petrográficas das inúmeras rochas que se prestam e que vêm sendo utilizadas para este fim.

Comercialmente considera-se mármore qualquer rocha calcária capaz de receber polimento. Para o granito, a generalização é mais comum, pois o termo é usualmente estabelecido no mercado para qualquer rocha não calcária capaz de receber beneficiamento e ser utilizada como material de revestimento na construção civil.

O granito que se pretende lavrar é uma rocha pegmatítica de coloração branca a bege clara, de granulação grosseira, origem ígnea, classificada como Biotita-Monzo-Granito. A proporção dos principais minerais constituintes da rocha, em escala microscópica sugere os seguintes percentuais: feldspatos (microclina 45% + albita 5%), quartzo (40%) e micas (Biotita + Muscovita) 10%.

Esta rocha está recebendo uma boa aceitação no mercado, principalmente no mercado externo, para aplicações em construções diversas, após tratamento a base de resina, para fechamento dos espaços entre os cristais formadores da rocha. A textura, o arranjo dos seus cristais e a sua coloração têm sido o atrativo diferencial, que imprime beleza e nobreza aos ambientes onde são aplicadas.

A produção de blocos da rocha pegmatítica ou granito pegmatóide, conforme identificada neste processo tem como finalidade comercializar na forma semi-acabada e processá-lo em chapas e ladrilhos, para aplicação na construção civil, decoração e arte fúnebre.

No Brasil os principais compradores são os marmoristas e construtores de um modo geral, para aplicação em grandes obras e produção de peças trabalhadas, como, pias, bancadas, lavabos, soleiras e artes fúnebres em geral.

3.4.2 Perspectivas para o mercado de rochas ornamentais

As rochas ornamentais e de revestimentos são consideradas uma das mais promissoras oportunidades de negócio do setor mineral com um crescimento médio anual de produção estimado em 6% a.a., durante a década de 90 e de 7% a 10% a.a., após o ano 2000. Este crescimento conta com a participação de novos países produtores e competitivos e possuidores de uma maior variedade de rochas, a custos vantajosos, contribuindo para a redução nos preços dos produtos manufaturados. (CHIODI, 2007).

Atualmente, a China e Índia representam as grandes ameaças ao mercado exportador, tanto pelo volume ofertado, quanto pelos preços praticados, mas ainda com os padrões de qualidade inferiores.

O Brasil Já se coloca no grupo dos grandes produtores e exportadores mundiais do setor de rochas. Destaca-se, também, pela grande variedade de produtos, incluindo granitos, mármore, travertinos, conglomerados, basaltos, gnaisse foliados e vários outros produtos com ardósias quartzitos, pedra sabão, entre outras.

3.4.3 As rochas ornamentais brasileiras no contexto mundial

Segundo CHIODI (2007), o Brasil, que possui uma grande variedade de rochas ornamentais, vem desenvolvendo progressivamente o seu parque industrial e se tornando um importante produtor mundial. Em um passado recente, produzia e exportava mais rochas graníticas brutas, importando boa qualidade de mármore beneficiados de diversas procedências, pois grande parte das reservas nacionais é de qualidade inferior. Nos últimos anos, com a maior utilização de equipamentos italianos, que oferecem maior produtividade, além do aperfeiçoamento dos equipamentos nacionais, tal situação está se invertendo, produzindo e exportando maior quantidade de granitos beneficiados.

O principal mercado das rochas produzidas no Brasil é o externo (CHIODI, 2007), caracterizado pela participação de grandes grupos de compradores in-

ternacionais, que controlam o fluxo da produção. Este mercado é voltado para a compra de bloco bruto, com demanda determinada pelo grau de homogeneidade, coloração, textura da rocha e pela ausência de imperfeições decorrentes de fraturas preenchidas ou de minerais deletérios, além de outros fatores, tais como oxidação, descamação e fraturamento.

Segundo a ABIROCHAS – Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais, as exportações brasileiras de rochas ornamentais bateram records históricos de crescimento em 2005, somando-se U\$ 600,56 milhões e marcando uma variação positiva de 39,97% em relação a 2004. Mas uma vez, se tem observado que na última década a taxa de crescimento das exportações de rochas ornamentais (+39,97%) foi superior ao crescimento total das exportações brasileiras (+32,0%).

As exportações das rochas processadas somaram U\$ 427,04 milhões e tiveram participação de 71,06% no total do faturamento, registrando um crescimento de 41,87% em valor e de 41,13% em volume físico, em relação a 2004.

Ainda de acordo com CHIODI (2007), a projeção para 2005 admite algumas variações que poderão pesar negativamente no desempenho das exportações, sendo a mais importante, num curto prazo, a taxa cambial, extremamente desfavorável para os exportadores e que poderá, inclusive, retirar algumas empresas brasileiras do mercado internacional.

Mesmo assim, o Brasil está se tornando uma grande vitrine do setor de rochas ornamentais, pela diversidade de cores e textura das rochas e pela grande variedade de materiais, tornando-se cada vez mais competitivo, haja vista o interesse crescente das empresas estrangeiras em se fixar no País.

O crescimento do mercado interno de rochas ornamentais requer uma maior interação do setor produtivo com a construção civil. Faz-se necessário que os criadores de concepções arquitetônicas das edificações públicas, comerciais e

residenciais, sejam melhores informados acerca das características das pedras, cores e texturas disponíveis e aplicações recomendáveis. Há necessidade da implantação de uma logística mais eficiente para o transporte de rochas brutas para os portos de exportação ou para as indústrias de processamento, buscando alternativas para integrar o sistema ferroviário mina – indústria - porto.

3.5 Caracterização tecnológica das rochas ornamentais

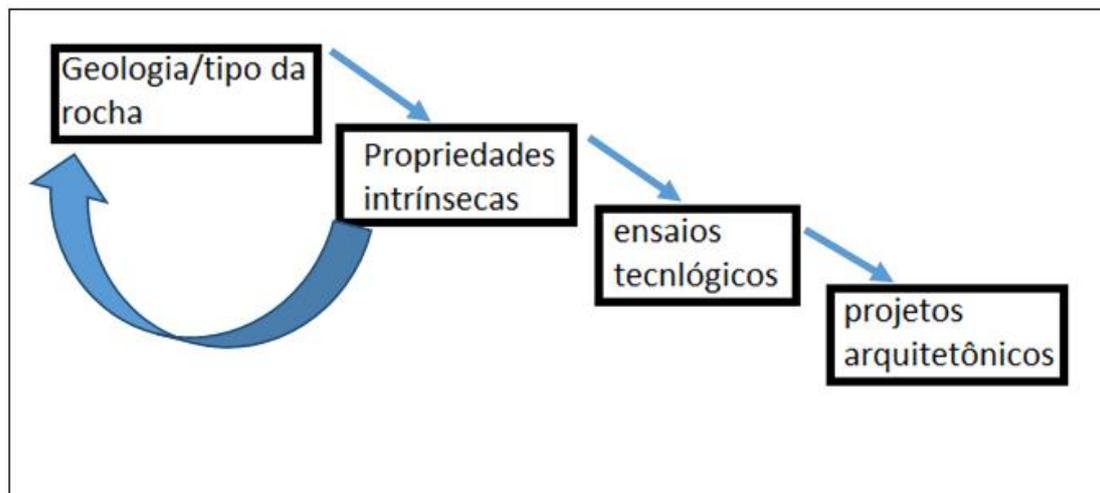
Segundo VIDAL et. al (2013), as rochas ornamentais têm um valor comercial que resulta da demanda do mercado consumidor, especialmente por motivos ligados a suas propriedades de resistência, aptidão ao corte, polimento e beleza estética. Tal aspecto torna praticamente cada rocha única, tornando o estudo destes materiais e de suas propriedades um tema bastante complexo e particular.

As principais utilizações das pedras naturais se encontram no setor da construção civil, onde geralmente se destinam a ocupar funções estruturais (pilares, vigas, revestimentos, pavimentações, etc), seguidas por aplicações decorativas, ornamentais, monumentais e funerárias. As características físico-químicas que garantirão a certas rochas tais tributos resultam de sua gênese e composição mineralógica, associadas a seu passado geológico-tectônico, responsável por modificações sensíveis em termos de deformações e rupturas, umas e outras observadas pela presença de descontinuidade que condicionam seu valor econômico.

Quando as características tecnológicas das rochas não são conhecidas previamente, assim como o reconhecimento das condições ambientais às quais os revestimentos estarão sujeitos, podem surgir problemas de inadequação do material para o uso pretendido. VIDAL et. al (2013), diz que a determinação das propriedades das rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises normalizadoras, em laboratórios especializados, que tem por objetivo a obtenção dos parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos característicos, cuja análise permitirá a recomendação do uso mais adequado no revestimento

de edificações, bem como subsidiarão a elaboração de projetos arquitetônicos. A Figura 3 mostra a relação desde a geologia até uso do material na construção civil.

Figura 3 - Ilustração da inter-relação entre geologia, tipo de rocha, tecnologia de rochas e construção civil.



Fonte: Adaptado de VIDAL et. al. (2013).

De acordo com FRASCÁ (2002), os ensaios mais importantes a serem realizados são:

- Descrição petrográfica
- Determinação dos índices físicos
- Resistência a compressão
- Resistência a flexão
- Resistência ao impacto
- Módulo de deformação estática
- Coeficiente de dilatação térmica
- Congelamento e degelo

Na Tabela 2 a seguir são descritos os requisitos das características físicas e mecânicas para material granítico destinados a revestimentos verticais e horizontais de exteriores e de interiores de construções segundo às normas brasileira (NBR 15844) e americana (ASTM C 615).

Tabela 2 - Valores especificados para granitos pela ABNT NBR 15844 E ASTM C 615.

Propriedade	ABNT NBR 15844	ASTM C615
Densidade aparente (Kg/m ³)	>2.550	2.560
Porosidade aparente (%)	1,0	n.e
Absorção d'água (%)	<0,4	0,4
Compressão uniaxial (MPa)	>100	131
Módulo de ruptura carregamento em 3 ptos (MPa)	>10,0	10,34
Módulo de ruptura carregamento em 4 ptos (MPa)	>8,0	8,27
Coeficiente de dilatação térmica linear	<8,0	n.e
Impacto de corpo duro (m)	>0,3	n.e
Desgaste Amsler (mm/1000m)	<1,0	n.e

Fonte: FRAZÃO et. al. (1995).

Segundo SALES et. al. (2003), a análise petrográfica de uma rocha ornamental estabelece a classificação petrográfica e põe em evidência uma série de características, tais como existência de poros, alteração, deformação, discontinuidades, fissuras e outros que influenciam no comportamento mecânico e durabilidade sob as condições de uso a que será submetida.

A densidade aparente e o coeficiente de absorção d'água são obtidas a partir do mesmo ensaio e em ambos existe uma relação inversa. Para um mesmo tipo de rocha, quanto maior a densidade aparente, menor é a porosidade e menor será o coeficiente de absorção d'água. (CHIODI, 2009). Uma rocha porosa com intercomunicação entre os poros absorverá mais água e seus minerais serão mais susceptíveis ao ataque pela própria água ou por outros agentes químicos. O coeficiente de absorção d'água é de suma importância quando os materiais vão ser colocados sujeitos a ação de agentes intempéricos.

A resistência a compressão de rochas é representada pela tensão capaz de provocar a sua ruptura. Rochas que apresentam altas resistências à compressão mostram, em geral, valores adequados de outras propriedades, tais como baixa porosidade, alta resistência à flexão (IAMAGUTI, 2001). A resistência na direção perpendicular à estrutura da rocha é, em geral, maior que na direção paralela e maior ainda que na direção inclinada. Para um mesmo tipo petrográfico a resistência à compressão será maior para aquelas amostras de granulação menor. O estado de alteração tem, também, grande influência na resistência à compressão, assim como o estado microfissural, sendo esta tanto maior quanto mais sã e menos microfissurada for a rocha.

O ensaio de flexão (ou flexão por carregamento em 4 pontos) simula os esforços flexores em placas de rocha, com espessura predeterminada, no caso simulando efeito do vento em placas de rochas fixadas em fachadas com ancoragens metálicas. Segundo IAMAGUTI (2001), a resistência a flexão é bastante dependente da estrutura e da textura da rocha. Esse é um dos ensaios o mais importante e necessário para revestimento externo de fachadas com rochas ornamentais.

A resistência ao impacto (tenacidade de uma rocha) é propriedade que reflete sua coesão e indica sua maior ou menor capacidade de suportar ação mecânica instantânea (golpe ou impacto). O valor da energia liberada pelo impacto de um corpo que provoque a ruptura de uma placa é importante para subsidiar o seu dimensionamento num revestimento, tanto de pisos como de partes baixas de um revestimento vertical. A tenacidade depende grandemente do grau de embricamento dos cristais de minerais formadores das rochas, assim, como da sua estrutura.

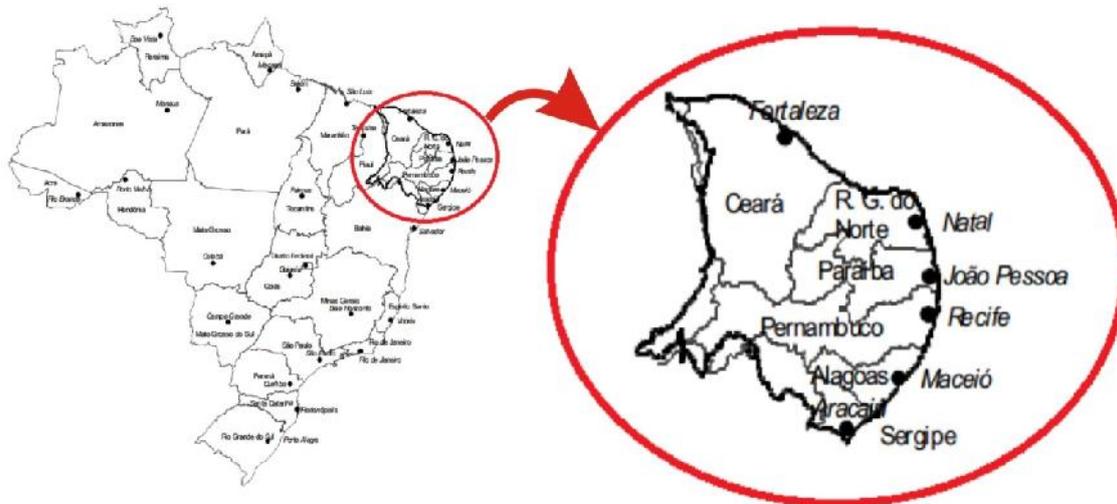
De acordo com CHIODI (2009), o ciclo de congelamento e degelo é um fenômeno comum nos países do hemisfério norte. A água acumulada nos poros das rochas aumenta de volume quando sob temperatura negativa, é solicitada intensamente nas pedras em revestimento de fachadas e pisos, levando-as a um enfraquecimento progressivo.

Ciclos de tensão gerada pela expansão do gelo, seguida da distensão pelo degelo, promovem paulatinamente a queda da resistência das pedras ou até a sua completa desagregação. O enfraquecimento se deve às tensões advindas da expansão resultante do congelamento da água e o efeito será tanto maior quanto maior for a porosidade intercomunicante, quanto menores forem os poros e quanto maior for o seu grau de saturação. Todos esses ensaios são executados no mundo todo através de procedimentos padronizados por instituições normalizadoras, entre as quais se destacam: American Society for Testing and Material ASTM; Deutches Institut Fur Normung - DIN; Association Française du Normalisation - AFNOR; Enternacionalle Italiano de Unificazion- UNI e a norma espanhola UNE, no Brasil ABNT.

3.6 Estudo geotectônico da província da Borborema

Segundo MENDES et. al. (2003), a Província da Borborema, destacada na Figura 4, constitui uma entidade geotectônica de caráter policíclico, situada entre os crátons de São Luís e São Francisco. Localiza-se no Nordeste brasileiro, abrange os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e porção norte da Bahia. Atualmente é responsável por 10% da produção nacional de granitos ornamentais.

Figura 4 - Mapa de localização da Província da Borborema.



Fonte: MENDES et. al. (2003).

Em termos geológicos a província mostra uma diversidade de ambientes geotectônicos, cuja história geológica se estende do Arqueano ao recente. Sua evolução é caracterizada por uma mobilidade tectônica com alternância de regimes compressivos e distensivos. A consolidação do seu embasamento e a consequente geração de jazimentos de rochas com fins ornamentais, ocorreram em pelo menos cinco eventos tectônicos relacionados ao Arqueano, Paleoproterozóico, Mesoproterozóico, Neoproterozóico e Mesozóico.

Os eventos arqueanos na província acham-se bem documentados no Terreno São José do Campestre (RN), Granjeiro (PB), e no maciço Tróia Mombaça (CE). Apresenta um contexto geológico formado por gnaisses de alto grau, granulitos, trondhjemitos, granitos e terrenos granito-greenstone. O Paleoproterozóico acha-se representado por eventos de acreção e dispersão, tendo-se como exemplos os terrenos gnáissicos e migmatíticos dos maciços de Granja, Tucunduba, Banabuiú, todos no Ceará, além de faixas de grande extensão envolvendo os terrenos de São José do Campestre (Grupo Caicó), Granjeiro, Rio Piranhas de rochas do Complexo gnáissico-migmatítico aflorantes na Zona Transversal e de Metaplutônicas do Maciço Pernambuco-Alagoas.

Em seguida a região sofreu eventos extensionais tardipaleoproterozóicos a mesoproterozóicos, com ruptura parcial da placa paleoproterozóica. Tem-se a formação de bacias tipo rifte e passiva marginal com dispersas intrusões de plutonitos anarogênicos.

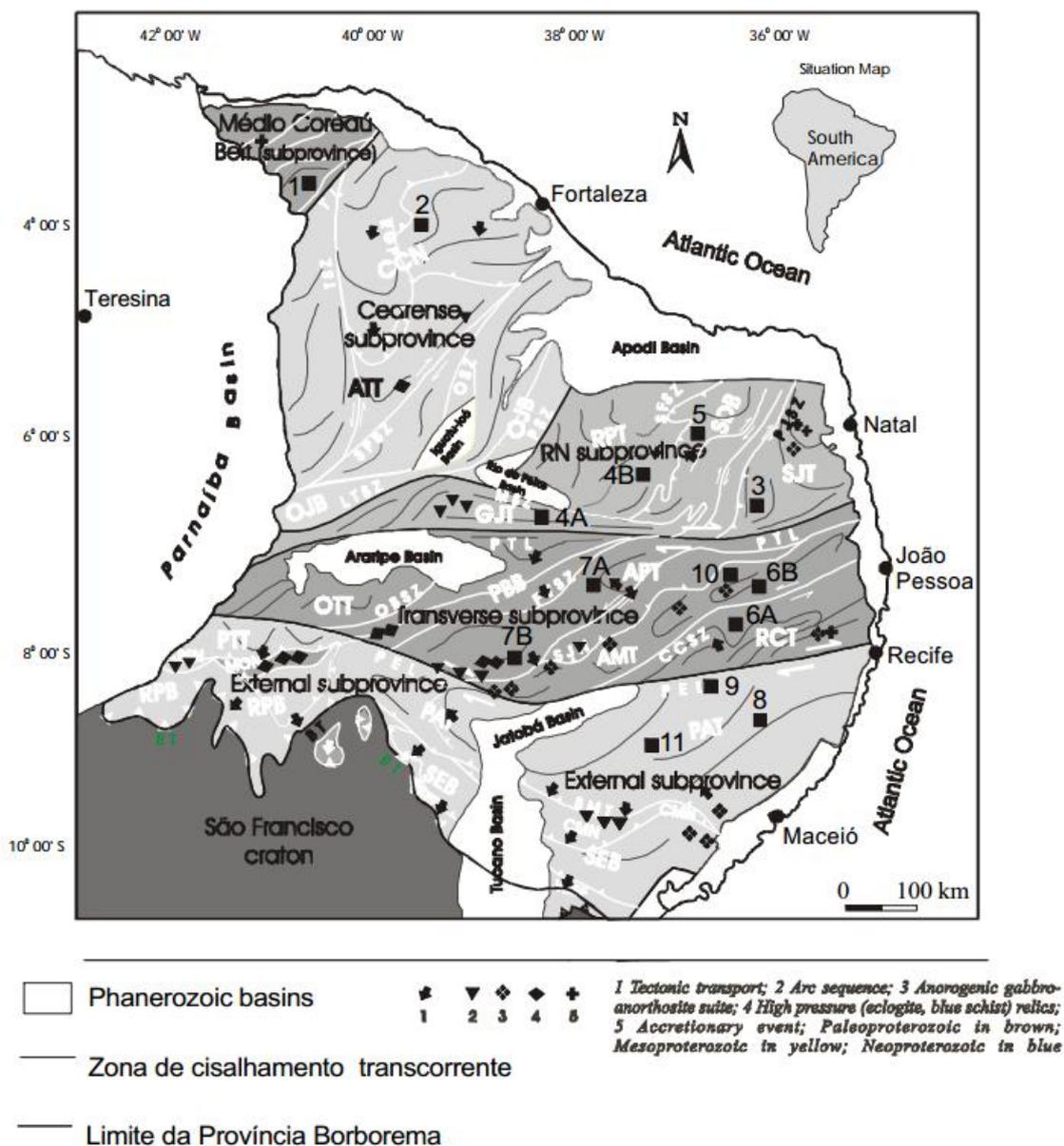
Este evento acha-se representado na faixa Orós-Jaguaribe e na Zona Transversal através de sequência grauvaquica- vulcanoclástica, incluindo material de arco magmático e leptótenos de afinidade oceânica. Tal ambiência propicia a formação de rochas movimentadas (granitos tipo fantasia), verdes de tonalidade escura e preto total.

No Mesoproterozóico/Neoproterozóico, ocorre o evento Cariris-Velhos, o qual está bem documentado nas denominadas subprovíncias Transversal e Externa,

onde se acha documentado por plutonismo tipo colisional associado a Arco Magmático.

De acordo MENDES et. al. (2003) nesta Província, devido à presença maciça de rochas, instalaram-se pólos produtores de rochas ornamentais, entre os quais, têm-se listados os materiais produzidos (Figura5):

Figura5 - Mapa de Localização dos principais pólos de produção de rochas ornamentais na Província Borborema.



Fonte: MENDES et. al. (2003).

- 1 - Verde Meruoca, Verde Ceará, Rosa Iracema, Amarelo Lamartine, Green-Pantanal e Palladium;
- 2 - Red Symphony, Yellow Symphony, Casa Branca, Branco Ceará, Branco Cristal, Branco Abelha e Asa Branca;
- 3 - Juparana Rosa, Preto São Marcos, Rosa Caíque, Caramelo Picuí e Branco Floral;
- 4A - Juparaíba Rosa;
- 4B - Verde tipo Ubatuba;
- 5 - Dália (Star White), Branco Borborema, Rosa Florença, Juparana Branco, Verde Gaugan, Verde Fashion e Verde Reis Imperial;
- 6A - Marrom Imperial e Lilás Imperial;
- 6B - Verde Chateaubriand e Greenspace;
- 7A - Bianco Jabre, Imaculada, Cinza Taperoá, Azul Sucuru e Amarelo Cabaça;
- 7B - Vermelho Carnaval e Frevo;
- 8 - Rosa Imperial e Cinza Prata;
- 9 - Vermelho Relíquia, Samba, Vermelho Ipanema e Vermelho Ventura;
- 10 - Branco Acará e Amarelo Gurinhém;
- 11 - Ouro Branco, e Amêndoa Maravilha.

O Neoproterozóico encontra-se extensivamente representado em todos os segmentos da província, sendo responsável pela formação de bacias, incluindo vulcanismo e sedimentação em diversos segmentos da entidade, encerra ainda intensa granitização com plutonismo cedo, sin e tardi a pós-tectônicos culminando com a intrusão de extensos diques pegmatíticos. A esta fase acham-se relacionados os principais jazimentos de rochas ornamentais da província. (MENDES et. al., 2003).

Ao Mesozóico mais precisamente ao Cretáceo Inferior, têm-se os depósitos de calcáriosedimentar da Formação Jandaíra na Bacia do Apodi, aos quais relacionam-se os jazimentos dos mármorees Crema Porto Fino e Crema Marfin.

3.6.1 Sub-província Rio Grande do Norte

Tal entidade, de acordo com MENDES et. al. (2003), acha-se limitada pelas Zonas de Cisalhamento de Porto Alegre a noroeste e Patos ao sul. Trata-se de uma colagem de terrenos por dispersão transcorrente neoproterozóica a qual representa-se pelos terrenos de São José do Campestre, Rio Piranhas, Granjeiro e pela Faixa de Dobramentos Seridó. Os três primeiros constituem-se de rochas arqueanas e paleoproterozóicas, contendo uma associação de ortogneisses e migmatitos de alto grau com faixas de supracrustais subordinadas e plutonismo gabro-anortosítico associado. Nas rochas arqueanas ocorre tonalitos, trondhjemitos e granitos, incluindo faixa de terrenos granito greenstone (Terreno Granjeiro). Esta assembléia é propícia à formação de granitos brancos (magmas trondhjemíticos), verdes tipo Baltic Green (anortositos) e o preto total (gabros e noritos).

Inclusos no Terreno São José do Campestre têm-se o Granito Preto São Marcos, relacionados a gabros e noritos pertencentes ao magmatismo precoce Neoproterozóico. Na área de afloramento dos gnaisses e migmatitos deste terreno, ocorre o Juparaná Rosa, o qual apresenta aspecto dobrado de cor rosa suave, cuja unidade litológica estende-se por aproximadamente 5 km de extensão. No Terreno Granjeiro, mais precisamente nos ortogneisses migmatizados de aspecto multicolorido, têm-se o jazimento do granito Juparaíba, o qual constitui um ortogneisse migmatítico de coloração cinza esbranquiçada a rosa suave de notável efeito estético.

Entre os terrenos acima mencionados, ocorre a Faixa de Dobramentos Seridó, formada pelos gnaisses da Formação Jucurutu, quartzito Equador, metaconglomerado Parelhas e xistos da Formação Seridó. Intrudidos nesta sequência vulcano-sedimentar, têm-se plutonismo cedo, sin, tardi e pós-brasiliano, representados pelos tipos: Itaporanga, Conceição, leucogranitos, granitos pegmatóides e epissienitos.

Ainda segundo MENDES et. al. (2003), esta assembléia litológica propiciou a formação de uma série de jazimentos de rochas ornamentais, constituída de

materiais exóticos de excelente aceitação no mercado Internacional, associados aos metaconglomerados polimíticos, ocorre o Verde Fashion, Verde Gaugan e Verde Reis Imperial. Relacionados aos granitos pegmatóides aflora os tipos: Dália objeto de estudo deste trabalho, Juparaná Bianco, Rosa Florença e Branco Borborema, tais litótipos apresentam textura grosseira e aspecto multicolorido.

Inclusos no plutonismo de composição charnokítica de idade neoproterozóica, aflorantes em Patú - RN têm-se o Granito Verde Borborema, o qual constitui um tipo semelhante ao denominado Verde Ubatuba já consagrado no mercado nacional e internacional de rochas. Ainda relacionado aos granitóides neoproterozóicos sin a tardi tectônico decomposição alcalina, peralcalina, epissienítica e leucograníticas, têm-se os jazimentos dos granitos Caramelo Picuí, Branco Floral e Rosa Caxexa. Nas áreas de afloramento dos granitos tipo Conceição e Itaporanga, existe a possibilidade de encontrar-se jazimentos dos granitos semelhantes aos Cinza Andorinha e Cinza Corumbá.

3.7 Geologia

3.7.1 Geologia Regional e Local

A superfície territorial do Estado do Rio Grande do Norte está inserida na região estrutural denominada Província da Borborema, que coincide com a Região de Dobramentos Nordeste, conforme proposto por ALMEIDA (1967). Esta unidade tectônica tem sua configuração atual, como resultado do retrabalhamento do embasamento siálico, atribuído ao evento tectono-orogênico brasileiro, desencadeado no final do proterozóico superior.

BRITO et al.(1975) subdividiu a Província da Borborema em várias unidades geotectônicas, onde o regional que abrange a área deste projeto corresponde a uma faixa de cisalhamento transcorrente, denominada Faixa de Dobramento Seridó (FDS).

Esta unidade geotectônica é constituída por rochas do embasamento, cartografadas como pertencentes ao Grupo Caicó FERREIRA et. al (1969) e parte como Grupo São Vicente por EBERT (1968).

As rochas supracrustais da FDS são tradicionalmente consideradas como pertencentes ao Grupo Seridó, constituído pelas Formações Jucurutu (gnaisses, calcários e tactitos) Equador (quartzitos e metaconglomerados) e Seridó (mica-xistos) e contribuições intrusivas (granitos, pegmatitos, etc.), e algumas rochas vulcânicas, relacionadas da base para o topo, segundo SÁ (1980).

Na área da localização do granito objeto de estudo, identificam-se as estruturas geológicas macroscopicamente identificadas como rochas pegmatíticas ou granitos pegmatóides, classificadas petrograficamente como Biotita-Monzo-Granito, sendo constituídas por minerais de feldspatos, quartzos, micas e acessórios diversos.

As rochas Biotita-Monzo-Granito ou rochas pegmatíticas afloram no Sítio Santo Antônio e adjacências, na forma de maciços alongados, aspecto tabular, alinhados na direção SSW - NNE e em menor quantidade, algumas concentrações isoladas de matacões que sobrepõem estes maciços, representando as estruturas de interesse deste trabalho.

As rochas Biotita-Monzo-Granito ou rochas pegmatíticas afloram no Sítio Santo Antônio e adjacências, na forma de maciços alongados, aspecto tabular, alinhados na direção SSW - NNE e em menor quantidade, algumas concentrações isoladas de matacões que sobrepõem estes maciços, representando as estruturas de interesse deste trabalho.

3.8 Aspectos fisiográficos

3.8.1 Geomorfologia

De acordo com MASCARENHAS et. al. (2005), o relevo predominante do município de Parelhas é ondulado e montanhoso formado por longos cordões de

serras e serrotes, com direção preferencial NNE-SSW, que ocorrem principalmente nas partes leste, nordeste, sul e sudeste da cidade. A outra parte do município apresenta um conjunto geomorfológico plano, suave e ondulado, principalmente nas áreas ao longo das margens do Rio Seridó.

O aspecto genético e a evolução das formas de relevo ora apresentada evidencia no contexto regional, fenômenos a variações paleoclimáticas.

O intemperismo físico-químico, que atuou sobre as estruturas tectônicas pré-existentes e sobre os diferentes litotipos, com diversidade de competência das rochas e estruturas reagiram de forma diferenciada estabelecendo a erosão diferencial. As estruturas regionais com formas suaves, ondulados, com vales em U, rios com meandros e erosão horizontal, significando, portanto, que o relevo atingiu a sua maturidade, segundo a classificação de Davis.

As estruturas regionais mais elevadas situam-se na parte Norte e Leste da área do projeto, com alturas de ordem 510 metros, como as Serra do Cantinho e Serra das Gargantas, que apresentam formas irregulares, com direções preferenciais no sentido SSW-NNE intercaladas por estruturas planares ou onduladas, com média 450 metros. Ao sul da área da lavra, as estruturas regionais tendem a planares diminuindo a altitude, na direção do entalhamento do Rio Seridó, com cotas médias variando de 300 a 400 metros.

Os cursos d'água também desempenharam um papel fundamental na modelação da morfologia regional atuando nos processos de erosão, transporte de sólidos e deposição dos sedimentos.

3.8.2 Solos

Os solos da localidade segundo MASCARENHAS et. al. (2005), estão relacionados às rochas Pré-cambrianas para os solos litólicos e Quaternário para os depósitos aluvionais.

Os solos litólicos eutróficos se caracterizam por serem rasos, com textura pouco arenosa e bastante pedregosa. São originados de rochas gnáissicas,

graníticas, xistos e presentes nas áreas, onde o relevo é ondulado e montanhoso. Estes solos apresentam baixo rendimentos nas atividades agrícolas e são explorados apenas para as atividades de pastoreios.

Os solos aluvionais são poucos representativos em termos de extensão, ocorrem nas partes planas das bacias de inundações, nos diversos riachos e seus afluentes da região e se caracterizam por apresentarem estruturas arenosas e argilosas.

3.8.3 Recursos Hídricos

Este item aborda aspectos do fluxo hídrico superficial e algumas características hidrogeológicas da região levando-se em conta a dinâmica regional e suas características geológicas, bem como, fornece dados referentes à qualidade da água. (MASCARENHAS et. al., 2005)

A drenagem é constituída por pequenos riachos intermitentes, de modo que os vales apresentam-se secos durante pelo menos (oito) 8 meses em cada ano. A rede hidrográfica é formada pelos Riachos das Pinturas, dos Bois e da Carnaubinha, que alimentam o Rio Seridó, que faz parte integrante do Rio Piranhas.

Em linhas gerais, os cursos hídricos da região Seridó acompanham o alinhamento estrutural dos pequenos e grandes fraturamentos regionais. Os riachos que abrangem as áreas do projeto se encaixam diretamente sobre estes alinhamentos estruturais, com vales variando de pouco a muito profundos, formando drenagens de média a alta velocidade de escoamento, com constantes quebras de direção.

Na área objeto de estudo, a drenagem adquire um porte menos denso e assume um padrão dentrítico e sem nenhum controle estrutural. Predominam os sulcamentos dos relevos com feições onduladas, onde os pontos de máximas depressões coincidem com os leitos das drenagens.

O potencial hídrico em profundidade está restrito à aluviões localizados nos leitos dos rios e riachos mencionados anteriormente ou pelas águas acumuladas nas fraturas das rochas cristalinas. A vazão média dos poços cadastrados na região é relativamente baixa.

O potencial hídrico superficial disponível na região é bastante reduzido por influência de fatores adversos, como solo arenoso e pouco espesso, escoamento torrencial, além da má distribuição pluviométrica.

3.8.4 Clima

A fisiografia da região do Seridó está inserida no semi-árido nordestino, onde o clima apresenta características adversas, com temperaturas elevadas e estações chuvosas curtas e irregulares. (MASCARENHAS et. al., 2005)

3.8.5 Flora e Fauna

A quase totalidade da região encontra-se recoberta pela vegetação de caatinga, ambiente caracterizado pelas temperaturas elevadas, umidades relativas médias e precipitações pluviométricas médias anuais baixas. Segundo MASCARENHAS et. al. (2005), há a existência de caatinga hiperxerófila que corresponde a vegetação de caráter mais seco, com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo e espalhadas.

Especificamente na área em volta da frente de lavra foi observada grande abundância de cactáceas, leguminosas e bromeliáceas. As espécies que se destacam são: pereiro, faveleiro, facheiro, mofumbo, marmeleiro, xiquexique, velame, macambira de lajedo, unha-de-gato, angico preto, jurema branca, jua-zeiro, entre outras.

As alterações antrópicas que este ecossistema vem sofrendo nos últimos anos, principalmente com desmatamento através de queimadas para a implantação de atividades agrícolas, pastoreio e retirada de madeiras, acarretam a destrui-

ção de habitats, conseqüentemente diminuindo as populações faunísticas, sobretudo dos animais de maior porte.

A Ornitofauna local encontra-se representada principalmente pela rolinha, tetéu, cibite, anum preto, carcará, entre outros. Dos Répteis que habitam a região os mais conhecidos são o calango, camaleão, tejo e as cobras coral, cascavel, jararaca etc. Os mamíferos são representados principalmente pelo preá, peba, gato do mato, mocó, gambá, furão, tatu, raposa, dentre outros.

3.9 Projeto de lavra

O planejamento da lavra ocorre durante toda vida útil da jazida, desde a concepção do projeto até o fechamento da mina.

3.9.1 Plano de preparação da mina – Desenvolvimento

A preparação da mina inicia com os serviços de limpezas, aberturas de estradas e instalações de apoio, benfeitorias e a implantação de toda logística que servirá de suporte operacional.

As reservas da pedreira são formadas por dois diques rochosos, de topografia positiva, em relação à superfície regional, com diferenciais topográficos que favorecem o desenvolvimento das atividades extrativas, sobretudo, para os deslocamentos e posicionamentos das pranchas para o processo de acabamento dos blocos, bem como, na remoção dos rejeitos para as áreas de deposição (bota-fora).

As reservas estão concentradas em apenas em 02 (dois) diques. Aqui denominados de Corpo 1 e Corpo 2 e Corpo 3 que é a continuação do corpo 1, cujas rochas apresentam características estéticas e texturas perfeitamente identificadas com as exigências de mercado. As feições topográficas destas estruturas, circundadas por superfícies regionais relativamente planas, oferecem condições ideais para instalar as servidões e outras infra-estruturas de apoio às atividades extrativas.

Estes corpos são estruturas alongadas e sub-verticalizadas, constituídas por rochas maciças e expostas, cujo diferencial topográfico pode atingir até 30 metros nas cotas máximas, constituindo as reservas medida e indicada. Neste projeto fica estabelecido o corpo 1 para fixação da lavra. Ver na foto 1, o corpo 1 selecionado para o início da lavra. Na Figura 6 pode-se observar o corpo antes de ser lavrado.

Figura 6 - Vista do corpo 1, antes de ser lavrado.



Fonte: a autora.

3.9.2 Tecnologia de lavra

A extração de blocos comerciais, a partir de uma estrutura rochosa maciça, utiliza a seguinte estrutura operacional:

- a) Perfuratriz pneumática – tipo fundo furo

Este equipamento é utilizado na abertura de planos verticais, pré-fixado na própria rocha, regulando o alinhamento e o paralelismo dos furos que se conectam entre si, de modo ortogonal, possibilitando realizar um laço com um cabo de fio diamantado.

b) Perfuratrizes pneumáticas convencionais

Estes equipamentos são usados de forma intensiva na realização de furos paralelos entre si, definindo planos horizontais ou verticais, que se constituirão nas faces dos blocos comerciais.

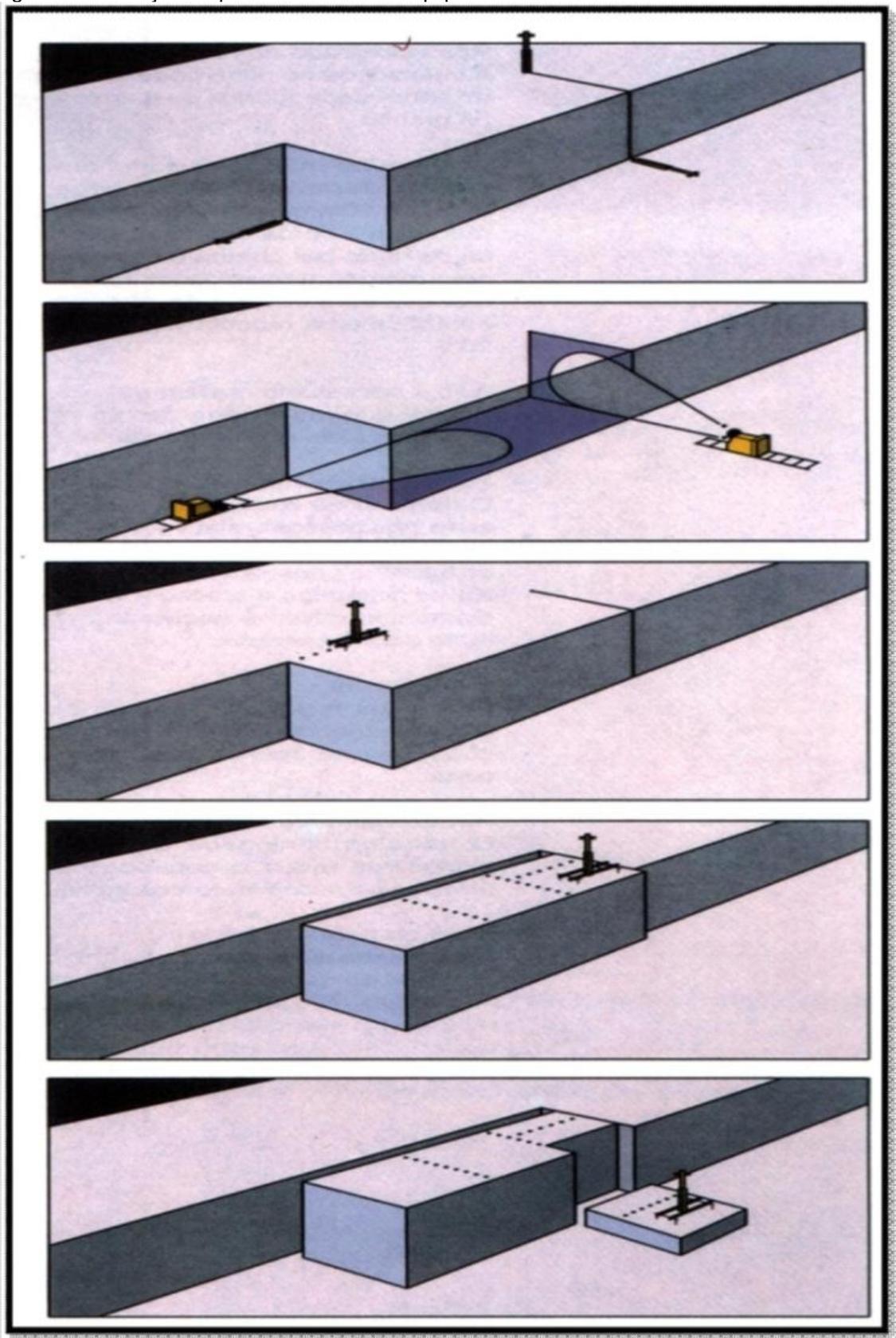
c) Uso da argamassa expansiva

Este produto será utilizado principalmente na abertura dos planos horizontais dos blocos primários, permitindo o aumento da produtividade e qualidade e conseqüentemente reduzindo os custos de produção. Inicialmente, realiza-se uma seqüência de furos verticais e paralelos entre si, definindo um plano. Posteriormente, utiliza-se a argamassa expansiva, dissolvida em água, numa proporção definida pelo fabricante, sendo introduzida nos respectivos furos. À medida que esta composição vai perdendo água ocorre uma ação expansiva, com o correspondente aumento de volume. Esta culmina com a separação de blocos, no plano definido pela seqüência de furos.

d) Equipamento do Fio Diamantado

É um equipamento eletrônico, implantado por um conjunto de roldanas e um cabo de aço inox, tipo flexível, sobre o qual são agregadas pérolas diamantadas, regularmente espaçadas, constituindo-se uma ferramenta valiosa para cortar a pedra. O funcionamento deste equipamento produz a abertura de 10 mm, com desempenho eficaz, em planos verticais, horizontais e ortogonais entre dois planos consecutivos, cujo resultado é a liberação de um bloco primário, para posteriormente subdividi-los em blocos nas dimensões comerciais, conforme esquematizado na Figura 7.

Figura 7 - Ilustração do posicionamento do equipamento de fio diamantado.



Fonte: ALENCAR et. al.(1995).

e) Divisão mecânica através de cunhas metálicas (guilhos)

Esta técnica será utilizada com frequência nas subdivisões de blocos de rochas, de acordo com planos preestabelecidos. A sua aplicação limita-se às fases finais do esquadrejamento dos blocos.

Este procedimento só é possível com a utilização de furos eqüidistantes, espaçados entre 10 e 15 centímetros e extensão relativamente pequena, nunca superior a 5 metros. Nos furos serão introduzidas as cunhas metálicas, em seguida golpeadas com marretas de 5 kg, de forma seqüenciada, até a separação no plano determinado pela furação o qual podemos visualizar na Figura 8.

Figura 8 - Esquadrejamento dos blocos por cunhas.



Fonte: ALENCAR et. al.(1995).

3.9.3 Desmonte

O desmonte consiste na separação de blocos primários o qual chamamos de prancha. Uma vez terminada a separação do bloco primário procede-se o corte em fatias e, posteriormente, a extração de blocos secundários, através da operação de esquadrejamento.

Os blocos assim produzidos apresentarão dimensões e formas variadas e irregulares, onde se faz necessário realizar uma operação de acabamento, com vista à posterior comercialização.

O desmonte termina com o transporte do bloco para o pátio de estocagem, a limpeza da frente de lavra e a retirada das partes remanescentes do bloco primário para a área destinada à deposição dos rejeitos (bota-foras).

3.9.4 Estocagem, carregamento e transporte

A estocagem de blocos comerciais será feita em uma área nas proximidades de frente de lavra como pode ser vista na Figura 9. O carregamento sobre os veículos transportadores é realizado através de uma lança, com capacidade para 40 toneladas, conectada por um sistema utilizando roldanas e cabos de aço tracionados por um guincho mecânico.

Figura 9 – Área de estocagem dos blocos.



Fonte: autora.

No transporte da produção da frente de lavra até a sede da indústria ou portos de embarques são utilizados caminhões trucks.

3.10 Beneficiamento

Segundo VIDAL et.al. (2013), o beneficiamento de rochas ornamentais visa basicamente a transformação dos blocos, extraídos na fase da lavra, em produtos finais ou semi-acabados. Desta forma, podem se separar as fases de beneficiamento em primário, ou desdobramento, e secundário. O primeiro compreende a preparação e serragem dos blocos em chapas de espessura variável, usualmente dois ou três centímetros. Os blocos, com dimensões normalmente variáveis de 5m^3 a 10m^3 , são beneficiados sobre tudo através da serragem (processo de corte) em chapas, por teares e talha-blocos, para posterior acabamento até sua dimensão final.

No segundo processo, as chapas são submetidas a acabamento superficial, com ou sem resinagem, que pode ser um simples desbaste, polimento, escovado, flameado, entre outros. Um dado importante é que a exploração de rochas ornamentais, desde a extração até o acabamento, gera uma quantidade média de 40 a 50% de resíduo.

3.10.1 Serragem em teares

O tear multi-lâminas efetua o corte de rochas através da ação abrasiva de segmentos ou pastilhas de diamantes incrustados no gume inferior das lâminas, formando uma espécie de serra acionada em um movimento de vaivém e da descida do quadro porta-lâminas sobre o bloco (ou subida do carro porta-bloco nos teares mais modernos) como pode ser visto na Figura 10. O processo de serragem nos teares é auxiliado por uma polpa de água, cal e granalha, despejada continuamente sobre a rocha, para otimização do corte e resfriamento das lâminas.

Figura 10 - Blocos para desdobramento no tear multilâminas.



Fonte: a autora.

Segundo VIDAL et. al. (2013), o conjunto quadro-lâminas é pressionado contra o bloco em um movimento de descida (cala) provocando o corte do material. O movimento pendular do quadro porta-lâminas propicia que a partícula abrasiva (granalha) corte a rocha de três modos, a saber:

- Riscamento;
- Rolamento; e
- Impacto.

Existem 3 tipos de teares: tear com descida das lâminas, tear com subida do carrinho porta-blocos e tear com lâminas verticais.

3.10.2 Talha Blocos

O talha blocos de disco diamantado é um equipamento que possui uma estrutura formada por colunas metálicas ou base em concreto, que sustenta uma

trave ou ponte em que está disposto o mandril com o conjunto de acionamento dos discos. O talha blocos são basicamente de dois tipos:

Talha blocos monodisco com disco de grandes dimensões;

Talha blocos multidisco; e

Talha blocos multi- eixo-multidisco.

O equipamento utilizado na FUJI S/A – Mármore e Granitos é o talha blocos multidisco.

3.10.3 Desdobramento de rochas ornamentais com fio diamantado

Segundo VIDAL et. al. (2013), a tecnologia de serragem com uso do fio diamantado é a mais recente das disponíveis atualmente e encontra-se em um estágio com possibilidades de grandes avanços no seu desempenho. O qual o processo de corte com fio ocorre pela ação abrasiva dos anéis, ou pérolas, diamantadas, que são dispostas ao longo do fio, onde o fio funciona como uma serra que gira a determinada velocidade e é tensionado sobre o bloco.

Os equipamentos para corte com utilização de fio diamantado possuem características construtivas mais simples que os teares e o talha-blocos. Essa tecnologia de corte pode ser monofio ou multifio, onde o monofio pode ser empregado basicamente no esquadrejamento de blocos para retificação das laterais, no corte de espessores ou de peças para colunas, jardins, bancos, etc. A evolução desta tecnologia fez surgir, modelos de máquinas multifios diamantados para desdobramento de blocos com o uso de um sistema de multipolias, facilitando assim, o corte de diversas chapas de rocha ornamental ao mesmo tempo. Abaixo na Figura 11, temos o tear multifio localizado na Empresa FUJI S/A – Mármore e Granitos, o qual é bastante utilizado pois, a produção de chapas por dia supera a produção de chapas no tear multilâminas.

Figura 11 - Tear multifio diamantado para desdobramento de blocos da Empresa FUJI S/A.



Fonte: a autora.

Já o sistema de corte por meio de teares multifio diamantado permite o corte de rochas ornamentais, predominantemente silicáticas obtendo-se elevada qualidade no acabamento superficial das chapas e boa produtividade em relação a os outros equipamentos de corte de blocos. A Figura 12 abaixo mostra como é feito o corte do bloco em um tear multifio diamantado.

Figura 12 - Detalhe dos fios diamantados cortando um bloco de granito.



Fonte: a autora.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento metodológico aplicado no desenvolvimento deste trabalho dividiu-se em três etapas:

1ª Etapa: caracterização geológica da área de extração do material estudado e coleta de amostras;

2ª Etapa: análise petrográfica das amostras colhidas na pedreira;

3ª Etapa: execução de ensaios de caracterização tecnológica e ensaios mecânicos.

4.1 Granito Pegmatoíde “Dália”

O recurso mineral a ser explorado é uma rocha petrograficamente classificada como uma rocha pegmatítica, que ocorre na área deste projeto, na forma de diques intrusivos, intercalados por rochas metamórficas, regionalmente, denominadas de Micaxisto Seridó. Na Figura 13 - Vista dos corpos de interesse.. pode-se observar o destaque dos corpos de interesse.

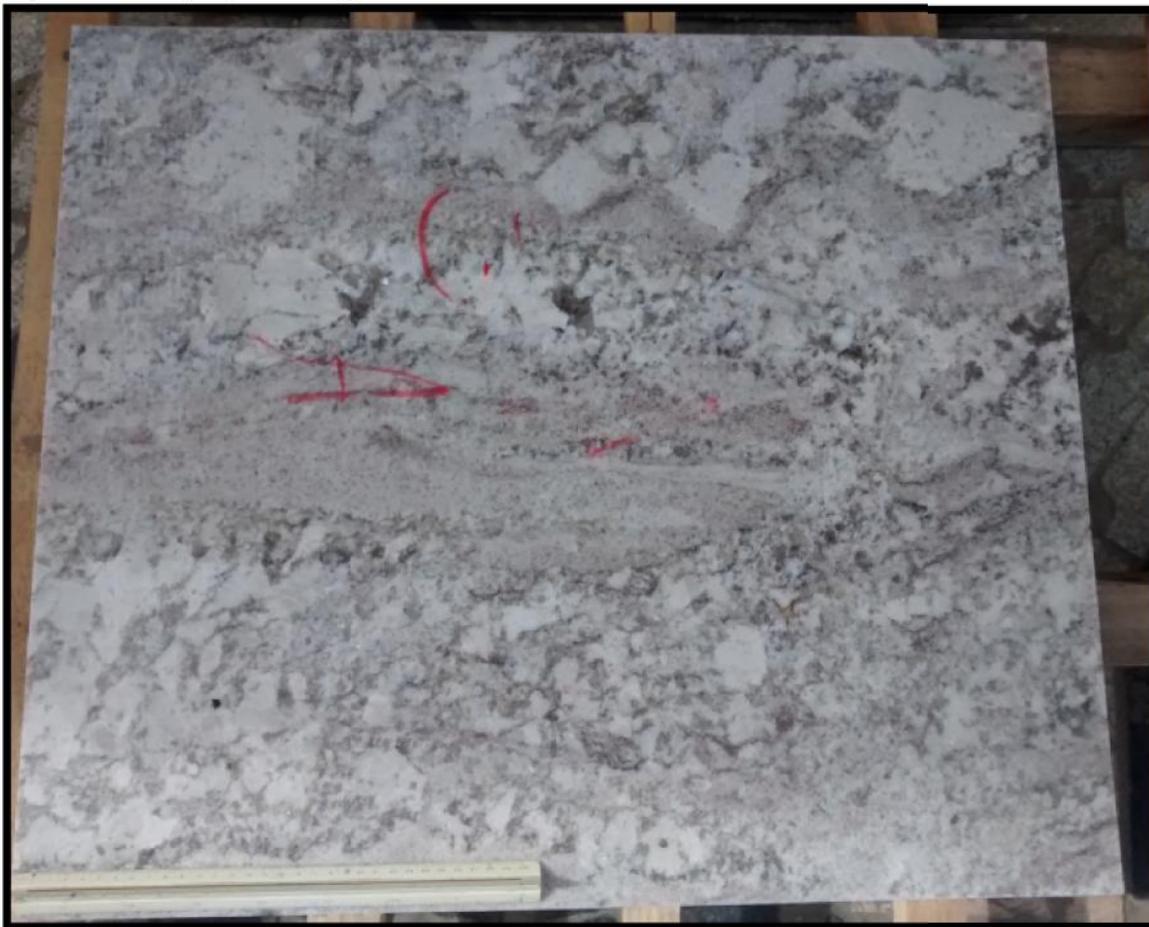
Figura 13 - Vista dos corpos de interesse.



Fonte: a autora.

Esta rocha ornamental é constituída basicamente por quartzos, feldspatos (albita e microclina), micas (muscovita e biotita), afrisita, granadas (grossulária), honblendas entre outros. O aspecto rochoso apresenta uma coloração variando de branco a cinza clara, denominada comercialmente, de “Granito Dália” como é possível ver na Figura 14. Os ensaios foram realizados com as amostras polidas e resinadas, com exceção do ensaio de Resistência a compressão uniaxial.

Figura 14 - Chapa polida do granito Dália.



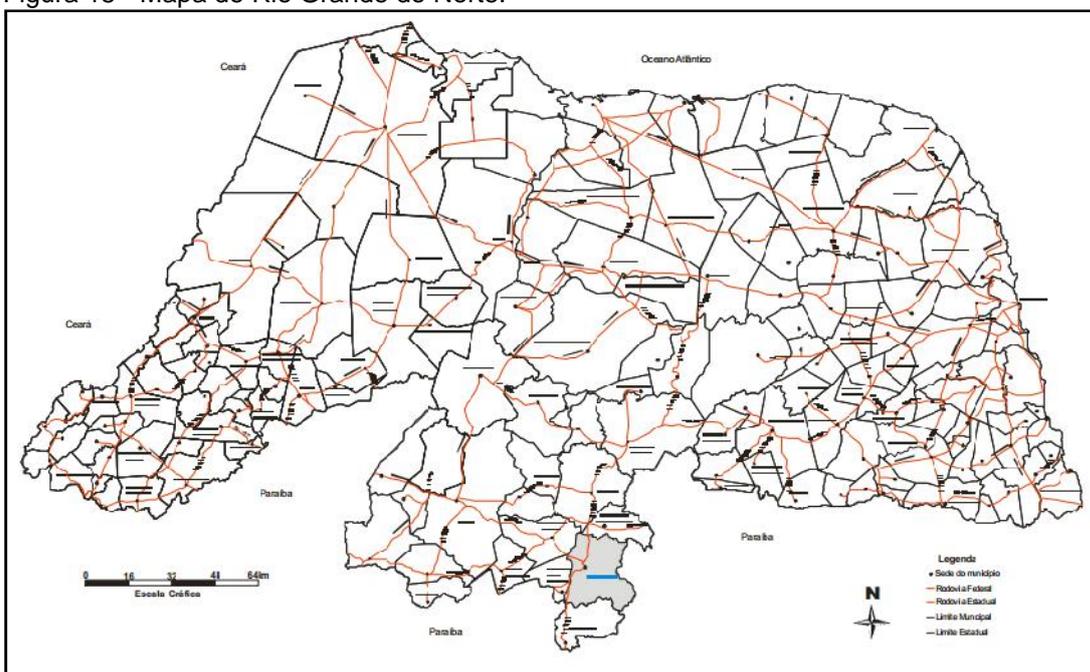
Fonte: autora.

Em termos geológicos, as estruturas rochosas apresentam feições alongadas, aflorantes, com volumes expressivos, levando-se em consideração os níveis de produção projetados, para atender a demanda do mercado desta rocha.

4.1.1 Localização e vias de acesso

A área do Granito Dália está localizada na região do Seridó do Estado do Rio Grande do Norte, mais precisamente, no Sítio Santo Antonio, município de Parelhas – RN, estando localizada na Folha Jardim do Seridó, (Referência: SB.24-Z-B-V, SUDENE - Ano 1972) Escala: 1:100.000. Na Figura 15, temos o mapa do Rio Grande do Norte e na cor cinza temos o estado de Parelhas.

Figura 15 - Mapa do Rio Grande do Norte.



Fonte: SUDENE (1972).

O acesso à área se faz a partir de Natal - RN, através da BR – 427, no sentido oeste do estado, na direção da sede do município de Jardim do Seridó, onde se percorre 208 km, passando pelas sedes dos Municípios de Santa Cruz, Currais Novos e Acari – RN, até o entroncamento com RN-221. A partir deste entroncamento e por esta segunda Rodovia serão percorridos, mais 20 km, até a sede do município de Parelhas – RN. Daí toma-se uma estrada carroçável, no sentido Nordeste, na direção de Nova Palmeira – PB, passando pela Fazenda Carnaubinha, que distam aproximadamente, 15 km e mais 4 km, na direção Leste até o Sítio Santo Antonio, local da área objeto do pedido de licenciamento ambiental para a implantação deste projeto de lavra.

O percurso acima descrito totaliza 247 km, sendo que 228 km são feitos por estradas pavimentadas e os 19 km restantes por uma estrada carroçável, transitável durante qualquer período do ano.

4.2 Ensaios de caracterização tecnológica

Ensaios e análises laboratoriais visaram o conhecimento de parâmetros físicos, mecânicos, mineralógicos.

Os ensaios de caracterização tecnológica incluíram análises petrográficas, determinações da densidade aparente, absorção d'água e porosidade, resistência a flexão em 4 pontos, resistência à compressão uniaxial simples, resistência ao congelamento e degelo, resistência ao desgaste abrasivo *Amsler*, resistência ao impacto de corpo duro.

4.2.1 Análise petrográfica

A análise petrográfica foi executada através do exame macroscópico de amostra in natura, segundo a NBR 15845:2010, anexo A. O exame microscópico das lâminas delgadas consiste na descrição dos minerais e suas inter-relações (ou arranjo textural), com a observação do estado microfissural e grau de alteração das rochas e de seus constituintes minerais, além da classificação formal da rocha. As análises petrográficas foram realizadas no laboratório de microscopia ótica do Departamento de Geologia da UFPE. De um modo geral, a rocha é composta por 40 a 55% de minerais félsicos, destacadamente o plagioclásio e 55% a 40% de minerais máficos, com destaque para micas, anfibólios e piroxênios ferromagnesianos. O plagioclásio se encaixa como andesina básica a labradorita, dado que se traduz numa composição molecular com grande presença de CaO e se desdobra em formação de carbonato, responsável pela melhoria do aspecto estético-decorativo, sobretudo marcado por cintilância nas superfícies polidas.

4.2.2 Índices Físicos

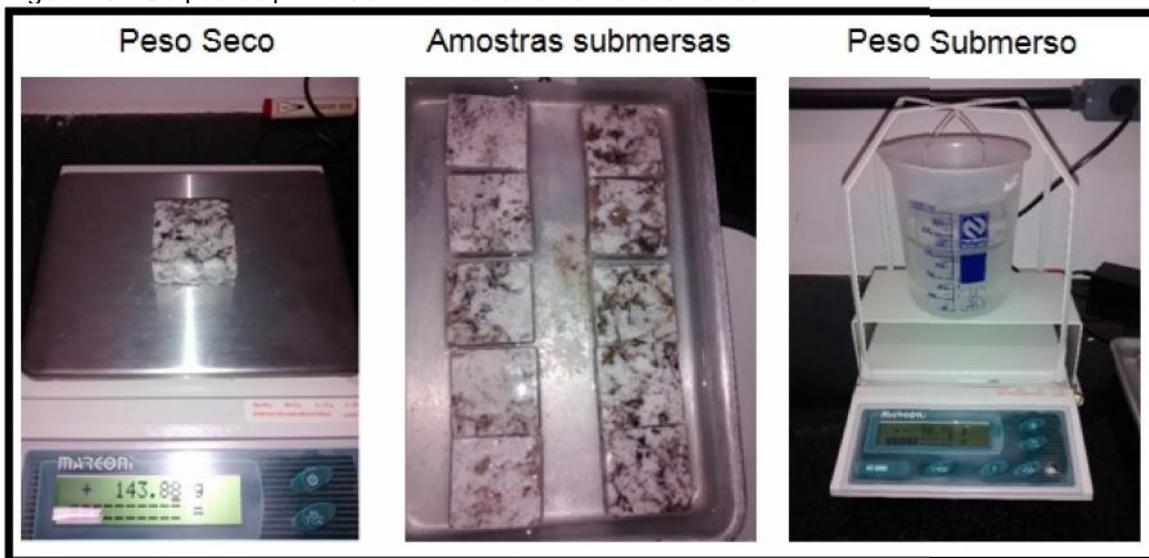
Os ensaios dos índices físicos consistiram em definir a relação básica entre a massa e o volume das amostras através das propriedades de massa específica aparente (densidade), porosidade e absorção d'água, conforme Norma da ABNT NBR 15845:2010, Anexo B.

Segundo CHIODI (2009), a massa específica aparente é expressa em g/cm^3 , kg/m^3 ou t/m^3 , indicando o peso das unidades de volume de uma determinada rocha. A porosidade aparente e a absorção d'água são expressas em porcentagem, indicando respectivamente a porcentagem total de espaços vazios em um volume de rocha e a porcentagem de espaços vazios intercomunicantes nesse mesmo volume. O índice de absorção d'água nunca é, portanto, superior ao índice de porosidade aparente, destacando-se que uma rocha com alta porosidade não tem necessariamente alta absorção d'água, pois seus poros e cavidades podem não ser comunicantes.

Para a realização deste ensaio foram confeccionados 10 corpos de prova de $(5 \times 5 \times 2)\text{cm}$. Os corpos de prova de chapa polida são lavados em água corrente com escova de cerdas macias e pesados, logo após são submetidos à estufa por 48 horas, temperatura de $70^{\circ}\text{C}(+/-)$ para completa secagem.

Após secagem, os corpos de prova foram pesados obtendo-se a massa seca (M_{sec}). Posteriormente, os corpos de prova foram colocados numa bandeja com água destilada até $1/3$ da altura da amostra, passado 4 horas foram completados $2/3$ da altura da amostra, passado mais 4 horas foi completada a submersão da amostra a qual permanece assim por 48 horas. Transcorridas as 48 horas, os corpos de prova foram pesados em balança hidrostática, com precisão de $0,01\text{g}$, e capacidade máxima de 500g da marca Marconi, obtendo-se a massa submersa (M_{sub}). Depois os corpos de prova foram enxutos com toalha absorvente e pesados ao ar, obtendo-se a massa saturada (M_{sat}). Na Figura 16 tem-se uma ideia do procedimento do ensaio de índices físicos.

Figura 16 - Corpos de prova durante o ensaio de índices físicos.



Fonte: autora.

Após a obtenção dos pesos seco, saturado e submerso, calcularam-se as propriedades da massa específica seca e saturada das amostras, absorção d'água e porosidade, através das seguintes equações:

- Massa Específica Seca

$$P_{\text{sec}} = A/(B-C) \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

- Porosidade

$$n = (B-A)/(B-C) \times 100 \text{ (\%)}$$

- Absorção d'água

$$= (B-A)/A \times 100 \text{ (\%)}$$

A massa específica aparente e a porosidade aparente mostram relação direta com a resistência físico-mecânica das rochas mediante esforços compressivos e de flexão; e o índice de absorção d'água, com a possibilidade de infiltração de líquidos.

Essas propriedades permitem avaliar indiretamente o estado de alteração das rochas, já que a maioria das patologias observadas em rochas de revestimento como manchas e escamações estão associadas à percolação e/ou acumulação de soluções nos ladrilhos de rocha (FRASCÁ, 2001).

O ensaio dos índices físicos fora realizados no laboratório de Rochas Ornamentais do PPGEMinas da Universidade Federal de Pernambuco.

4.2.3 Resistência à Compressão Uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial é exigível para todas as utilizações possíveis de uma rocha ornamental (revestimentos verticais, pisos, degraus e tampos).

O ensaio de resistência à compressão determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física” (FRASCÁ, 2001).

A tensão suportada varia de acordo com a composição mineralógica, a textura, o estado de alteração e a porosidade do material (KALIX, 2011). O ensaio foi realizado de acordo NBR ABNT 15845/2010, ANEXO E.

Para a realização deste ensaio foram confeccionados nove corpos de prova na forma cúbica de (7x7x7) cm, os quais antes de ser realizado o ensaio, ficaram 48 horas na estufa a temperatura de 70^oC (+/-). Feito isso, as amostras foram inseridas na prensa hidráulica da marca WPM, e submetidos à ação de força de compressão, sob uma taxa de 200 KN/min.

A determinação da compressão uniaxial foi obtida através da seguinte fórmula:

$$T = (F / A), \text{ onde:}$$

T = tensão (carga de ruptura - MPa);

F = força exercida no corpo de prova (kN);

A = área de aplicação da carga (mm^2);

Ao final do ensaio ao obter os valores da resistência à compressão em MPa, os resultados vão ser comparados com os estabelecidos pela ASTM C615 e ABNT NBR 15844.

Na Figura 17 podemos ter uma ideia de como é feito o procedimento do ensaio, desde os corpos que devem ser enumerados, levando em consideração que não pode conter fraturas e as faces devem ter ângulo de 90° graus. Podemos observar a amostra no equipamento submetida a cargas compressivas e logo depois observamos a amostra rompida após o ensaio de compressão.

Figura 17 - Corpos de prova durante o ensaio de compressão uniaxial simples.



Fonte: a autora.

O ensaio de compressão uniaxial simples foi realizado no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

4.2.4 Módulo de Ruptura (Flexão em quatro pontos)

O ensaio de flexão por carregamento em quatro pontos, ou ainda, módulo de ruptura determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores, permitindo avaliar sua aptidão para uso em re-

vestimento, ou elemento estrutural, e também fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração (FRASCÁ, 2001).

Neste ensaio foram confeccionados 10 corpos de prova, sendo cinco com tela e cinco sem tela, com dimensões feitas de acordo com a espessura de uso da placa, portanto, ficando com as dimensões de (20x3x2)cm. Na Figura 18 podemos observar o corpo de prova no equipamento de resistência a flexão.

Figura 18 - Corpo de prova durante o ensaio de flexão.



Fonte: a autora.

Para o cálculo do módulo de ruptura () temos a equação:

$$\sigma = \frac{3 \times P \times L}{4 \times b \times d^2}$$

onde:

- : módulo de ruptura (MPa);
- P: força de ruptura (KN);
- L: distância entre os roletes inferiores (m);
- b: valor numérico da largura do corpo de prova (m);
- d: valor numérico da espessura do corpo de prova (m).

4.2.5 Desgaste Abrasivo *Amsler*

Para o ensaio de desgaste abrasivo foram confeccionados cinco corpos de prova de (7x7x2) cm o qual podemos observar na Figura 19.

Figura 19 - Corpo de prova para o ensaio de Desgaste Abrasivo *Amsler* com dimensões (7x7x2) cm.



Fonte: a autora.

Os corpos de prova tiveram suas espessura medidas (mm) antes e após desgaste abrasivo em um percurso inicial, de 500 metros e posteriormente de 1000 metros, frente ao atrito com areia quartzosa seca nº 50 com 92% de sílica (Si-O_2), realizada na “Máquina *Amsler*” representada na Figura 20.

O ensaio tem como objetivo determinar os ambientes nos quais as placas podem ser aplicadas, determinando a resistência ao desgaste do material pétreo frente ao tráfego de pessoas e/ou veículos. Os ensaios foram executados segundo a norma da ABNT NBR 12042:1992.

Figura 20 - Equipamento *Amsler*.



Fonte: autora

Os cálculos da redução de espessura (em mm) para cada amostra são efetuados de acordo com as fórmulas a seguir:

$$d = a - b$$

$$e = a - c$$

sendo:

a = Altura inicial média das 4 faces (mm);

b = Altura média das 4 faces (mm) após 500 metros;

c = Altura média das 4 faces (mm) após 1000 metros;

d = Desgaste médio aós 500 metros (mm);

e = Desgaste médio após 1000 metros ou Desgaste *Amsler* (mm).

O resultado obtido do desgaste é um reflexo da mineralogia, do grau de irregularidade da superfície, do estado de agregação dos minerais e da orientação da rocha e do tamanho dos grãos. O ensaio foi realizado no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

4.2.6 Congelamento e Degelo associado à Compressão Uniaxial

O granito “Dália”, devido à sua textura e coloração, tem grande aceitação no mercado internacional, sendo comercializado para países como Estados Unidos, Canadá, Japão e Países membros da Comunidade Européia. Desta forma, é de grande importância a caracterização do coeficiente K, relação entre a resistência a compressão antes e depois de ciclos de congelamento, pois a utilização deste material em revestimentos externos em obras nos países acima citados depende do seu desempenho frente às quedas de temperaturas durante o inverno.

Este ensaio foi desenvolvido segundo os procedimentos previstos na norma NBR 15845:2010 – Anexo D. O ensaio de congelamento e degelo consiste em submeter os corpos de prova em 25 (vinte e cinco) ciclos de congelamento e degelo, verificando-se a eventual queda de resistência por meio da execução de ensaios de compressão uniaxial ao natural e após os ensaios de congelamento e degelo.

O congelamento da água retida nos poros, vazios, e microfissuras das rochas, desencadeiam tensões originando assim seu enfraquecimento progressivo, resultando numa diminuição de sua resistência, ou até mesmo numa degradação mineralógica.

O coeficiente de enfraquecimento (K) é calculado pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural antes dos ciclos. Valores de K próximo a 1 (um) são indicativos de que a rocha não sofreu modificações significativas pela ação do congelamento/degelo (FRASCÁ, 2003). Para verificação do efeito da temperatura nas rochas, corpos de prova equivalentes aos submetidos à compressão foram saturados e submetidos ao processo de congelamento e degelo, em freezer, com temperatura de aproximadamente -15°C . Foram confeccionados nove corpos de prova para este ensaio. Após esses ciclos, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio da compressão uniaxial simples, dessa forma, pôde-se avaliar o comportamento da resistência à compressão das rochas antes e após a variação da temperatura. Calculou-se a tensão da ruptura através da expressão utilizada para o ensaio de compressão uniaxial simples:

$$T = (F / A), \text{ onde,}$$

T = tensão (carga de ruptura- MPa);

F = força exercida no corpo de prova (kN);

A = área de aplicação da carga (mm^2);

O coeficiente de enfraquecimento para as rochas ensaiadas foi calculado com base na seguinte fórmula:

$$K = \frac{cd}{nat}, \text{ onde:}$$

K = coeficiente de enfraquecimento;

cd = valor médio da resistência à compressão das amostras após congelamento e degelo;

nat = valor médio da resistência à compressão das amostras no estado natural (seco ou saturado).

A média para o cálculo do fator (K) foi calculada com base apenas nas amostras onde a compressão foi aplicada na direção perpendicular ao plano de fraqueza da rocha, que é o plano de maior resistência. Este ensaio de conge-

lamento e degelo foi realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do PP-GEMinas e no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil, ambos da Universidade Federal de Pernambuco. Na Figura 21 temos as amostras no 1º e 5º ciclo de gelo / degelo.

Figura 21 - Corpos de prova durante o ensaio de gelo e degelo.

a) 1º ciclo (16 horas no Freezer)



b) 1º ciclo (8 horas no ambiente)



c) 5º Ciclo (16 horas no freezer)



d) 5º Ciclo (8 horas no ambiente)



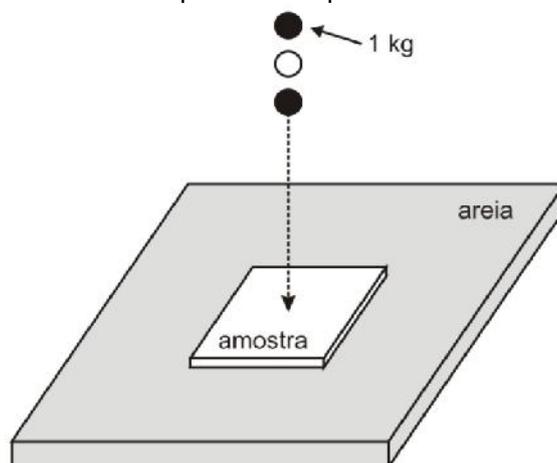
Fonte: a autora.

4.2.7 Resistência ao Impacto

Segundo IAMAGUTI (2001) a maior ou menor capacidade de uma rocha suportar ação mecânica instantânea (golpe ou impacto) denomina-se tenacidade, que por sua vez depende dos minerais formadores das rochas, bem como da estrutura e textura da rocha.

A resistência ao impacto é determinada através da altura de queda de um corpo sólido que provoca ruptura do corpo de prova, como visto na Figura 22. Este ensaio é executado conforme as diretrizes da Norma da ABNT NBR 15845:2010 anexo H. São preparados 5 corpos de prova na forma de placas retangulares de 20x20x30 cm, os quais são apoiados em um colchão de areia de 10 cm de espessura e submetidas ao impacto pela queda de uma bola de aço de 1 Kg. A altura inicial da queda é de 20 cm, sendo aumentada de 5 em 5 cm até o fraturamento das placas. O resultado denominado de módulo de ruptura é a média aritmética dos cinco testes e expresso em Kg/cm^2 .

Figura 22 - Ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.



Fonte: Adaptado de IAMAGUTI (2001)

Ainda de acordo com IAMAGUTI (2001), o valor da energia liberada pelo impacto de um corpo, que provoque a ruptura de uma placa é importante para subsidiar o dimensionamento e a caracterização dos materiais utilizados em revestimentos de piso, soleiras, degraus, mesas, balcões e pias. Quanto menor os resultados do ensaio, menor a resistência ao choque do material, tornando-se imprescindíveis cuidados quanto ao transporte, estocagem e colocação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa serão apresentados e discutidos todos os resultados obtidos através das pesquisas de campo e dos ensaios realizados nos corpos de prova do litotipo estudado.

5.1 Descrição do Maciço

Neste tópico serão apresentados os pontos de localização e características do corpo do Granito “Dália”. A seguir encontram-se descritas as características levantadas do maciço 1, maciço 2, maciço 3 e maciço 4.

a) Maciço 1

A Tabela 3 se refere aos pontos de localização do maciço 1, os quais podem ser observados na Figura 23 (a).

Tabela 3 - Referente à localização dos pontos do Maciço 1.

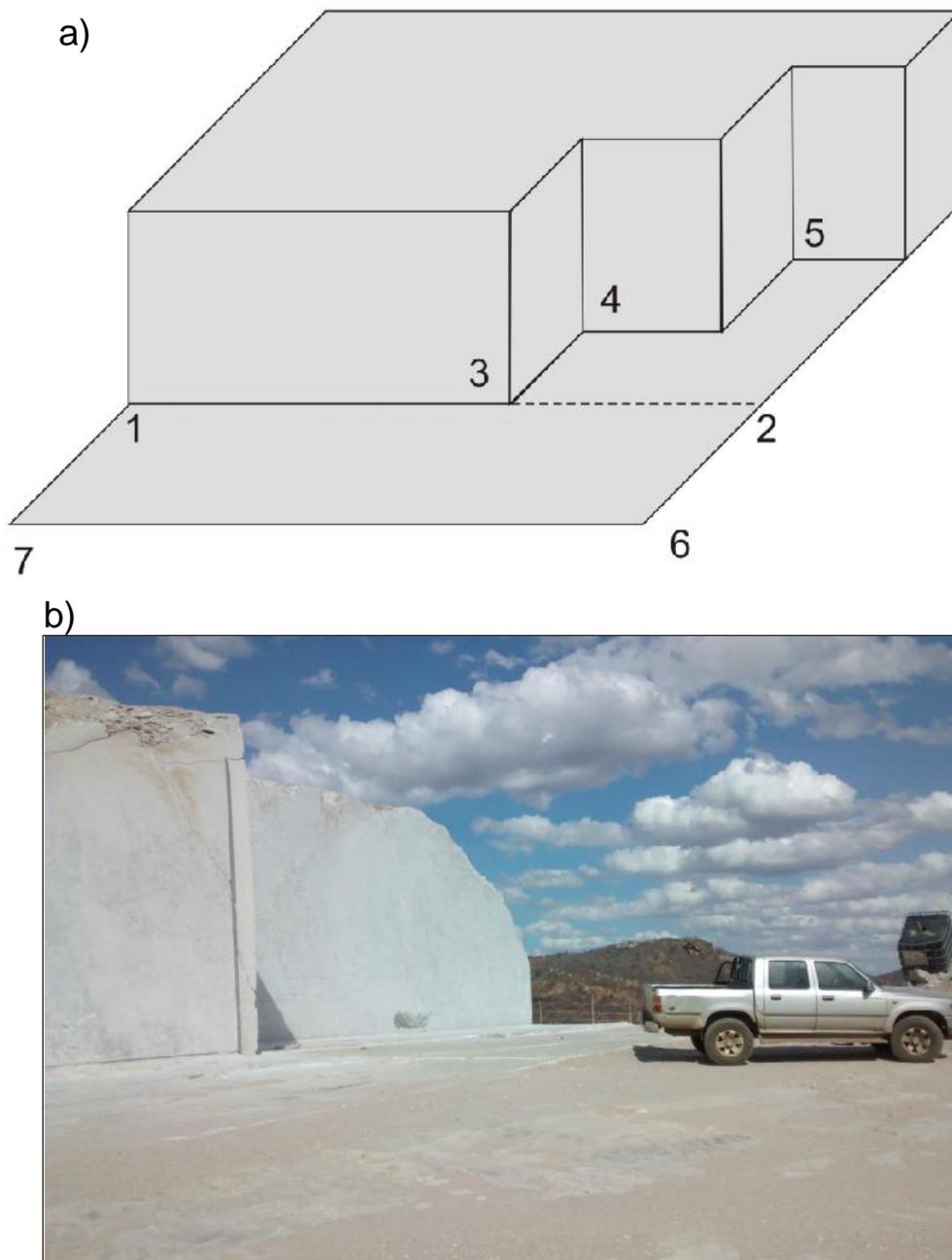
Pontos	Latitude	Longitude
1	06 ⁰ 39'29"800	36 ⁰ 33'22"100
2	06 ⁰ 39'31"300	36 ⁰ 33'20"800
3	06 ⁰ 39'30"400	36 ⁰ 33'21"800
4	06 ⁰ 39'31"200	36 ⁰ 33'20"700
5	06 ⁰ 39'31"200	36 ⁰ 33'20"700
6	06 ⁰ 39'31"200	36 ⁰ 33'21"400
7	06 ⁰ 09'30"200	36 ⁰ 33'22"500

É considerado o maciço de maior reprodutibilidade, é, pois a frente de lavra mais explorada, contendo poucas fraturas que ocorrem apenas nas extremidades do maciço, é nesta que ocorre uma maior concentração de mica.

As fraturas horizontais ou verticais apresentam baixa frequência (4/m) o que se traduz pela extração de blocos de melhor qualidade e, portanto, mais favoráveis aos processos de beneficiamento. Mas em geral o maciço 1 apresenta uma boa distribuição das micas, quartzo e albita. O xisto também é pouco fratu-

rado, com uma frequência de fraturas de 3/m com mergulho fraco para sudoeste. Na Figura 23 (a), temos os pontos de localização da Tabela 3 representados esquematicamente. A Figura 23 (b), temos a frente de lavra do maciço 1, onde pode-se observar algumas fraturas nas extremidades, possivelmente originadas pela concentração da mica.

Figura 23 - a) Localização esquemática dos pontos no maciço 1.; b) Frente de lavra da pedra.



Fonte: a autora.

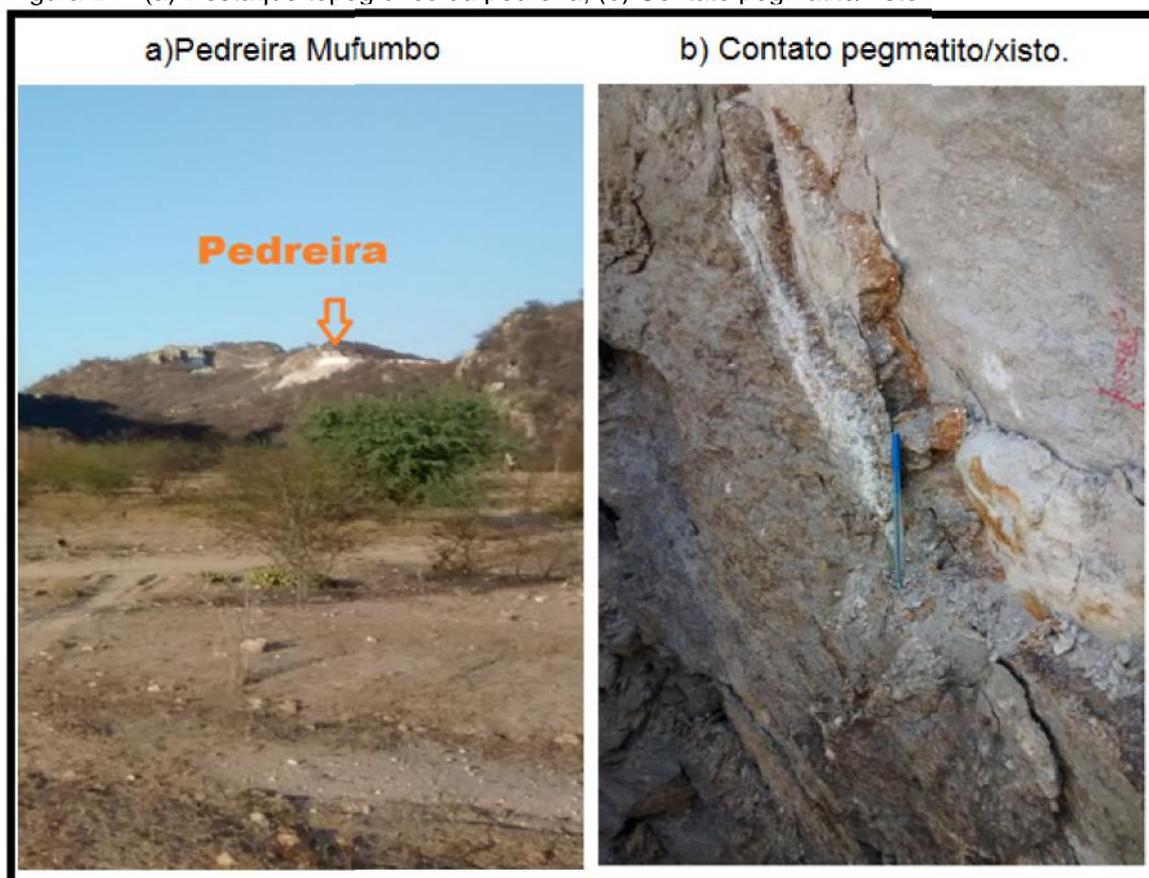
Na Tabela 4 a seguir temos as direções e sentido de mergulho do maciço 1.

Tabela 4 - Direção e sentido do mergulho referente ao maciço 1.

	Direção (Azimute)	Sentido do Mergulho
Direção do pegmatito	$50^{\circ} - 230^{\circ}$	$75^{\circ} / 140^{\circ}$
Direção do xisto	$160^{\circ} - 340^{\circ}$	$22^{\circ} / 250^{\circ}$
Fraturas horizontais (4/m)	$55^{\circ} - 235^{\circ}$	$35^{\circ} / 320^{\circ}$
Fraturas verticais (4/m)	$170^{\circ} - 350^{\circ}$	90°

Na Figura 24 (a), podemos observar a topografia do maciço, que podemos destacar como uma das vantagens que favorecem a extração do granito “Dália”. Na Figura 24 (b), podemos observar o contato do xisto com o maciço, que caracteriza a ocorrência de estruturas sigmoidais. O tipo de foliação observado é horizontal.

Figura 24 - (a) Destaque topográfico da pedreira; (b) Contato pegmatito/xisto.



Fonte: a autora.

b) Maciço 2

O ponto 1 foi obtido, na extremidade noroeste da pedreira a qual chamamos de face livre. O ponto 2 foi obtido no local mais alto na direção do corpo. Neste mesmo ponto, foi observado uma frequência de fraturas de 8/m com $d > 3$ cm (sendo d o afastamento entre as fraturas), a qual se localiza em cima da direção do corpo, o que podemos concluir que por agora a empresa não possui a tecnologia para a extração desses blocos a localização destes pontos são referentes a Tabela 5.

Tabela 5 - Referente à localização dos pontos do Maciço 2.

Pontos	Latitude	Longitude
1	06°39'24"700	36°33'24"100
2	06°39'25"100	36°33'22"500

Na Tabela 6 podemos observar que o primeiro grupo de fraturas é de frequência de 8/m com $d > 3$ cm e o segundo grupo com uma frequência de 6/m com $d > 5$ cm, dados que caracterizam assim o maciço bastante fraturado.

Tabela 6 - Referente à direção e sentido de mergulho do Maciço 2.

	Direção	Sentido do Mergulho
Direção do pegmatito	65° - 245°	70°/165°
Fratura 8/m; $d > 3$ cm	65° - 245°	80°/155°
Fratura 6/m; $d > 5$ cm	15° - 195°	90°

Na Figura 25, o maciço 2 se encontra em destaque topográfico, o material residual do capeamento se encontra abaixo do maciço, percebe-se que a frente de lavra foi cortada com fio diamantado, a qual a face livre criada está transversal a orientação do pegmatito, pode ser observado a frequência de ocorrência das fraturas como foi citado na Tabela 6.

Figura 25 - Maciço 2, onde foi marcado o primeiro ponto de localização.



Fonte: a autora.

c) Maciço 3

O maciço 3 está localizado 11 metros abaixo do maciço 1 pode ser observado na Figura 26 (a), onde a pedreira está baixando o nível topográfico através da abertura de bancadas, para continuar a retirada de blocos. A orientação do contato coincide com o movimento horizontal na zona de cisalhamento, mas a direção do pegmatito está fora desta zona de cisalhamento. Na Tabela 7, estão referenciados os pontos de localização do maciço 3.

Tabela 7 - Referente à localização dos pontos do Maciço 3.

Pontos	Latitude	Longitude
1	06 ^o 39'31"100	36 ^o 33'23"600
2	06 ^o 39'31"100	36 ^o 33'22"900

Na Tabela 8 é referente às direções e sentidos do pegmatito e encaixante do maciço 3.

Tabela 8 - Referente à direção e sentido de mergulho do Maciço 3.

	Direção	Sentido do Mergulho
Direção do pegmatito	$45^{\circ} - 225^{\circ}$	$75^{\circ}/135^{\circ}$
Orientação do contato	$60^{\circ} - 240^{\circ}$	$68^{\circ}/150^{\circ}$
Fratura 2/m; $d > 40$ cm	$40^{\circ} - 220^{\circ}$	$82^{\circ}/130^{\circ}$
Fratura 3/m; $d > 20$ cm	$150^{\circ} - 330^{\circ}$	90°

Na Figura 26 (a), é o local onde foi marcado o primeiro ponto. Na Figura 26 (b) o traço vermelho indica o encontro do xisto com o pegmatito “Dália”, podemos notar que o pegmatito é menos discordante, pois ele está paralelo ao xisto. Enclaves de xisto no pegmatito e o conjunto é bastante fraturado e sigmóides de pegmatito com largura de 4 cm e comprimento de 13 cm.

Figura 26 - (a) Local do primeiro ponto do Maciço 3; (b) Contato pegmatito/encaixante.

a) Maciço 3.



b) Contato pegmatito/encaixante.



Fonte: a autora.

d) Maciço 4

O maciço 4 foi o último corpo a ser analisado, os pontos de localização se encontram na Tabela 9.

Tabela 9 - Referente à localização dos pontos do Maciço 4.

Pontos	Latitude	Longitude
1	06 ⁰ 39'40"400	36 ⁰ 33'35"600
2	06 ⁰ 39'40"400	36 ⁰ 33'35"300

Esse maciço também não está sendo explorado, pois contém fraturas e não tem boa reprodutibilidade. A direção do corpo em contato com o xisto está para leste, a frequência de fraturas varia entre 2/m a 3/m, os quais podem ser observadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Referente à direção e sentido de mergulho do Maciço 4.

	Direção	Sentido do Mergulho
Direção do corpo	50 ⁰ – 230 ⁰	80 ⁰ /140 ⁰
Fratura 3/m; d >15 cm	60 ⁰ – 240 ⁰	15 ⁰ /150 ⁰
Fratura 2/m; d >40 cm	45 ⁰ – 225 ⁰	50 ⁰ /135 ⁰

Na Figura 27 (a), podemos observar que até onde foi feito o corte perto do piso o pegmatito tem maior concentração de quartzo e albita, mas na parte superior há maior quantidade de fraturas que é onde se concentra a mica, tornando-o assim inviável para sua extração. Na Figura 27 (b), podemos observar o contato do pegmatito (à esquerda) com o xisto (à direita).

Figura 27 - (a) Maciço 4; (b) Contato do pegmatito/encaixante.

a) Maciço 4.



b) Contato do pegmatito/encaixante.



Fonte: a autora.

Contudo através do estudo realizado em campo, podemos concluir que uma das vantagens da extração do granito “Dália” é que o corpo do material explorado se encontra em destaque topográfico, o que diminui as fraturas de alívio após as detonações, o que podemos citar como exemplo o granito “Preto São Marcos”, o qual sua extração é feita a partir da abertura de gavetas, pois o mesmo se encontra confinado. Vista do alto da pedreira do granito “Dália”, com respectivas localizações dos maciços estudados pode ser visto Na Figura 28.

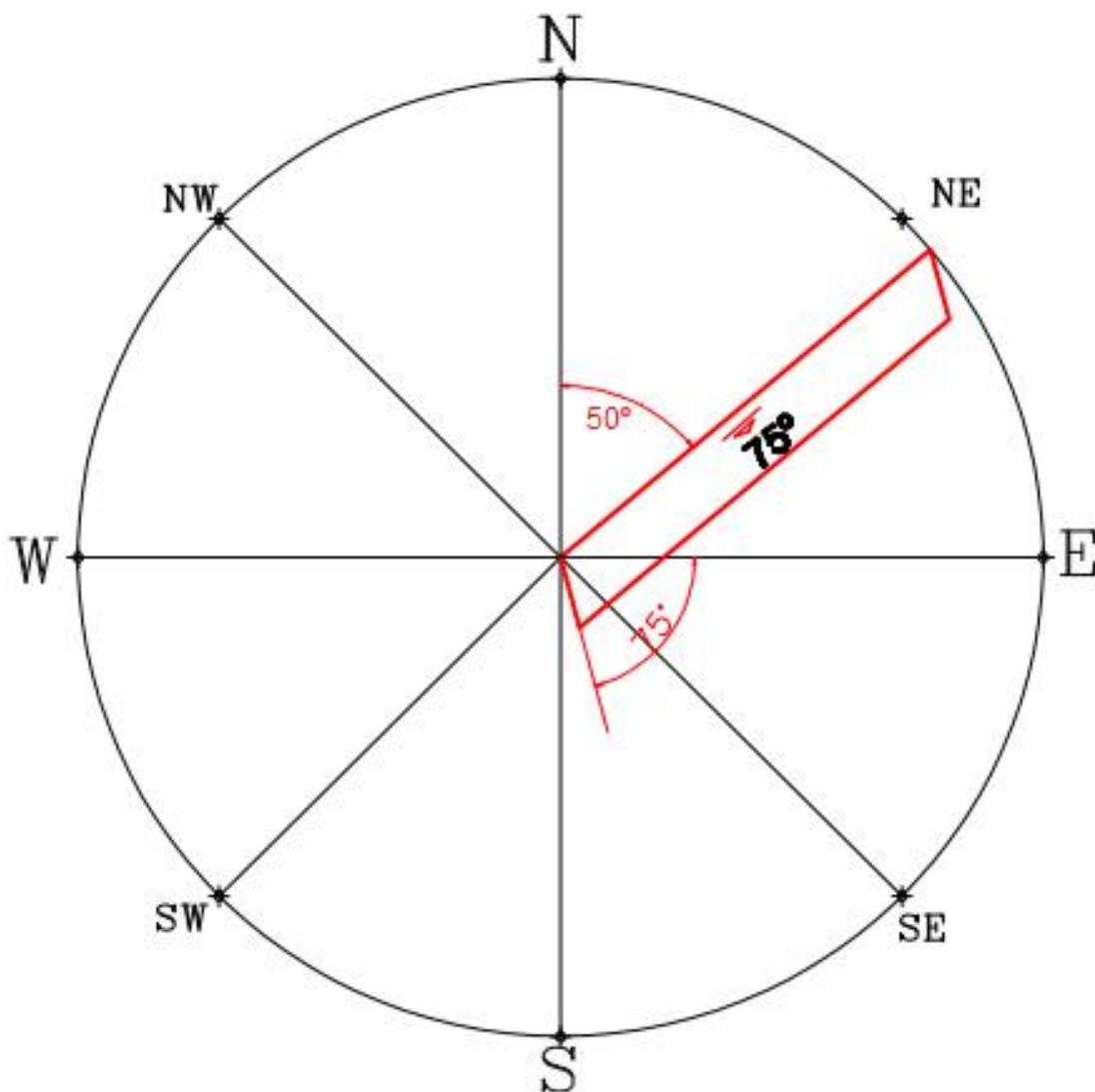
Figura 28 - Vista do alto da pedreira do granito "Dália", com respectivas localizações dos maciços estudados.



A Figura 29 foi realizada a partir dos dados da Tabela 4. Esses dados expõem a transversalidade entre o pegmatito e o xisto entre as direções, onde a direção do pegmatito 50° - 230° e fraturas verticais 170° - 350° representam a vista do topo do bloco de partição.

Figura 29 - Referente à Tabela 4 da direção e sentido do mergulho referente ao maciço 1.

Bloco de Partição – Maciço 1

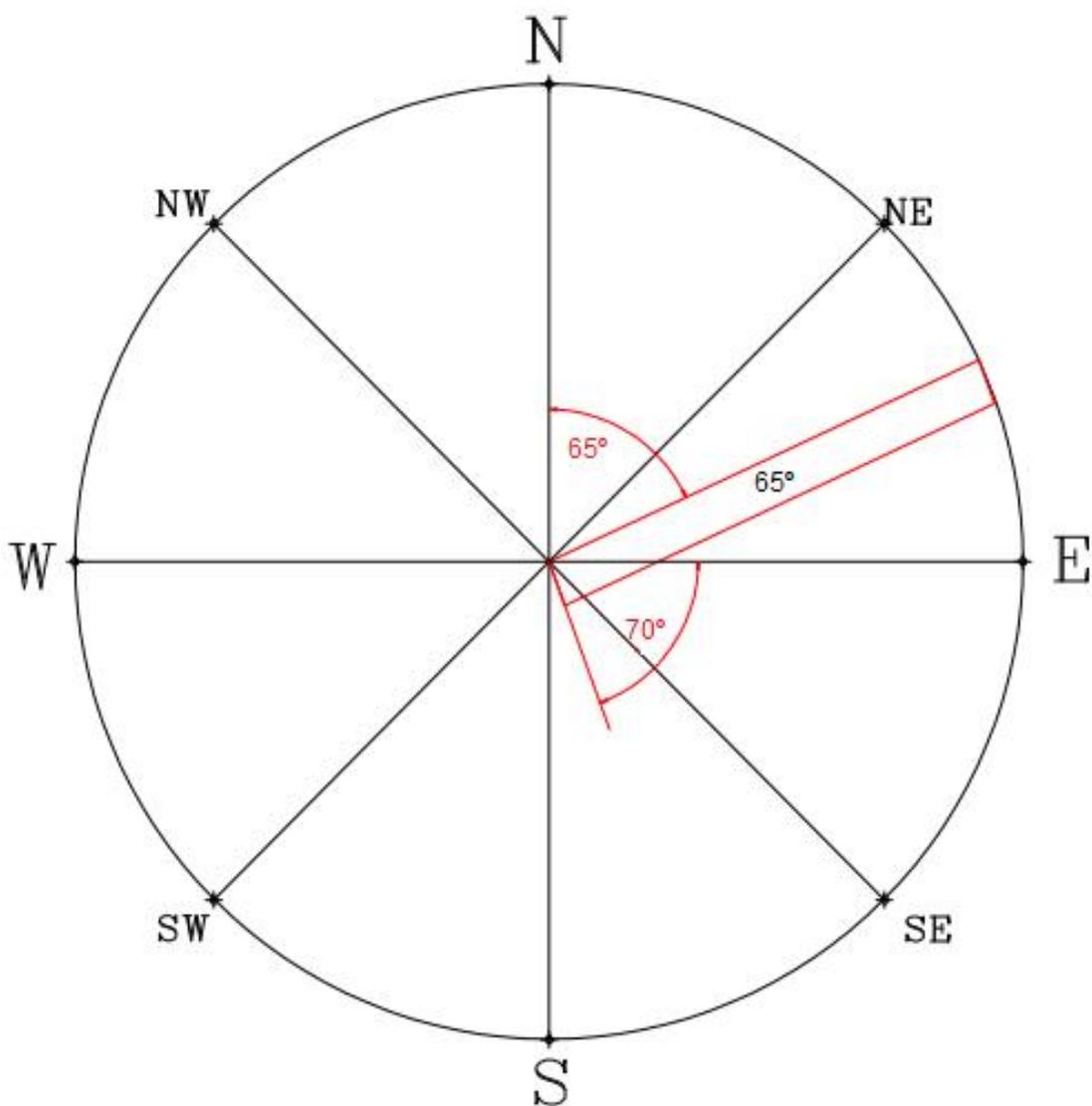


Fonte: a autora.

A Figura 30 mostra que o maciço 2 muda um pouco a direção em relação ao maciço 1. Ambos representados pela superfície trincante do bloco de partição. Em comparação o maciço 2 é mais ortogonal, mas o grau de fraturamento é alto vide Tabela 6 tornando assim o maciço 2 mais fraturado.

Figura 30 - Referente à Tabela 6 da direção e sentido do mergulho referente ao maciço 2.

Bloco de Partição – Maciço 2

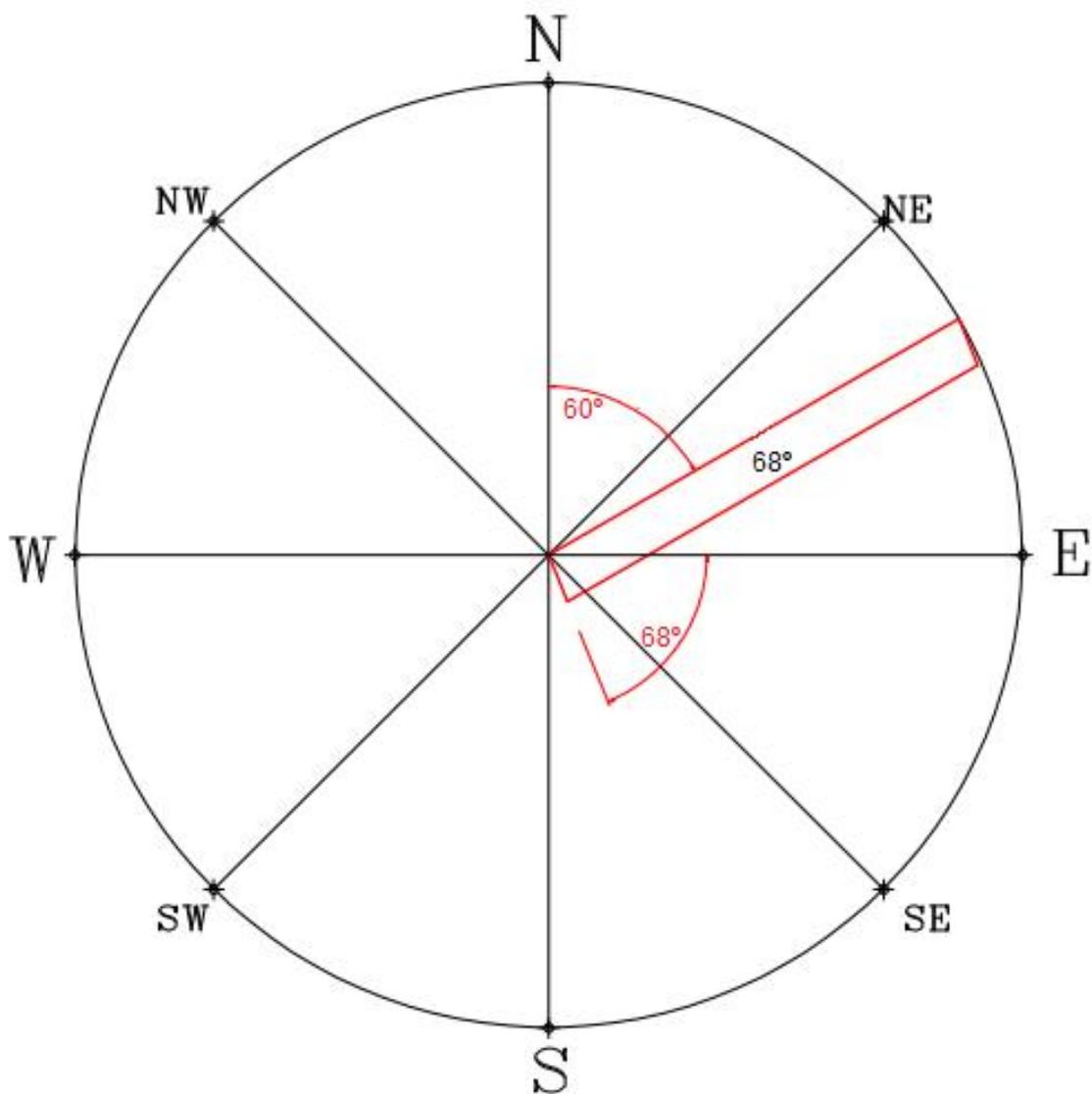


Fonte: a autora.

A Figura 31 referente ao maciço 3, foi realizada a partir dos dados da Tabela 8, mostra que o grau de fraturamento diminuiu, pois as micas são bem distribuídas. Mas o maciço 3 como já foi citado a cima é confinado, o que resultará na geração de fraturas de alívio.

Figura 31 - Referente à Tabela 8 da direção e sentido do mergulho referente ao maciço 3.

Bloco de Partição – Maciço 3

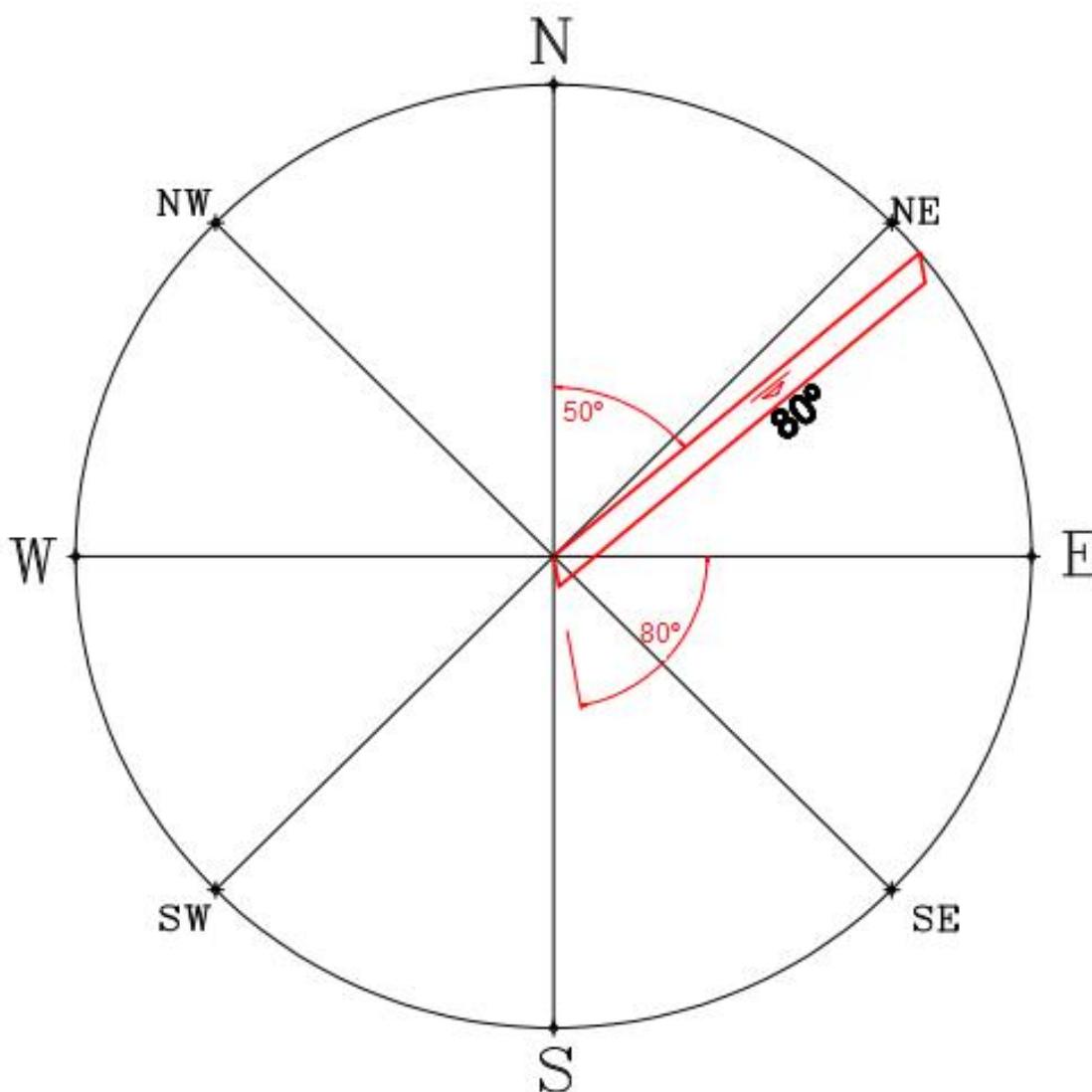


Fonte: a autora.

A Figura 32 referente ao maciço 4 foi realizada a partir dos dados da Tabela 10, mostra que o grau de fraturamento do maciço 4 é menor, mas a diagonalidade entre superfície trincante e alongante é mais acentuada, o que resultará em blocos de forma não paralelepípedos.

Figura 32 - Referente à Tabela 10 da direção e sentido do mergulho referente ao maciço 4.

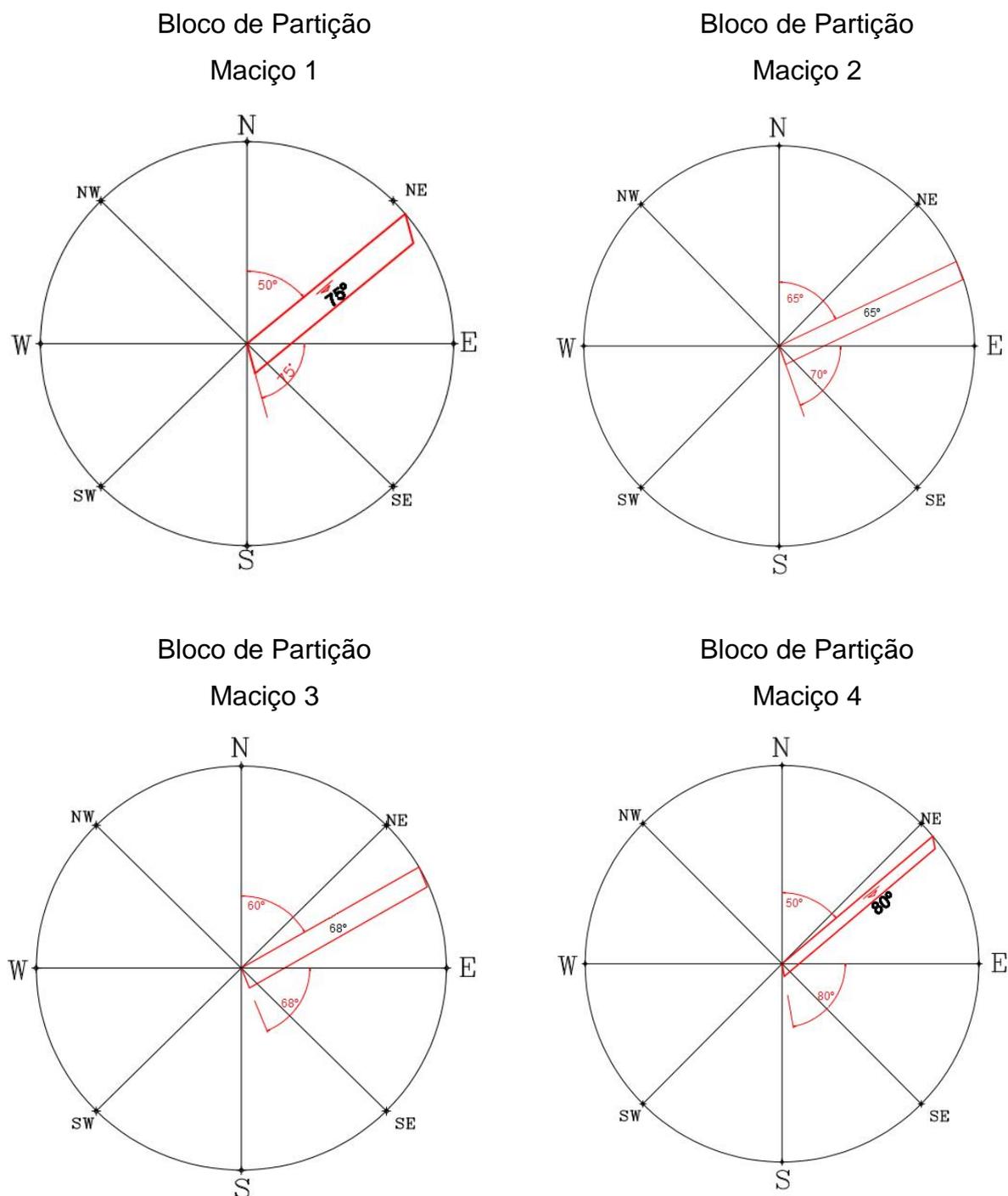
Bloco de Partição – Maciço 4



Fonte: a autora.

Na Figura 33 a seguir, podemos comparar os blocos de partição, a qual sumaria de forma integrada a visão comparativa entre os quatro maciços.

Figura 33 - Comparação dos quatro blocos de partição.



Fonte: a autora.

Observando a semelhança do maciço 1 e 4, poderíamos dizer que o maciço 4 poderia se lavrado, mas levando em consideração que o maciço 4 tem um alto grau de fraturamento nas extremidades não é viável sua extração.

O maciço 2 apresenta uma boa ortogonalidade, mas como já foi citado acima, é bastante fraturado. O maciço 3 podemos concluir que o grau de fraturamento é menor, mas apresenta uma desvantagem por ocorrer de forma confinada, o que acarretará nas fraturas de alívio.

5.1.1 Vida Útil da Jazida

As reservas foram avaliadas em 150.430,43 m³, onde 76.523,06 m³ se constituem na reserva medida e 73.907,37 m³ corresponde à reserva indicada. Inicialmente considerou-se apenas a reserva medida como reserva lavrável projetada para o período de 10 anos. A reserva indicada será objeto de novo planejamento, em longo prazo, por apresentar um novo incremento nos custos de produção, que é o custo do decapeamento da reserva.

A tecnologia de lavra que se propõe para este trabalho considera uma recuperação média, em torno de 40% da reserva medida, tomando-se como referência a recuperação média das pedreiras em atividade no Brasil, embora algumas pedreiras apresentem recuperação bem inferior a esta média. Estas perdas são consideradas normais no processo de desdobramento da rocha *in situ*, em blocos semi-aparelhados, disponíveis para a comercialização. Assim, a reserva recuperável ou reserva técnica corresponde a aproximadamente 30.609,22 m³. A produção de blocos de rocha projetada para o período de 10 anos, com uma produção média anual de 600,00 m³, totaliza um volume recuperado de 1.550,00 m³.

Portanto, a vida útil da jazida, considerando apenas a reserva medida, está prevista para um período superior a 10 (dez) anos de atividades.

5.1.2 Método de lavra

A morfologia do maciço rochoso (Corpo 01) selecionado para extração favorece o método de lavra a céu aberto, a partir da meia encosta, por bancadas horizontais e sucessivas, de forma descendente, com início a partir da extremidade sudoeste da estrutura rochosa, no sentido longitudinal do dique, na direção nordeste.

Na seleção deste Corpo observou-se inicialmente o aspecto externo do maciço, como forma de minimizar a quantidade de pequenas estruturas que contribuem para reduzir a recuperação da jazida, tais como rochas com veios e fraturas, xenólitos ou outros elementos que desvalorizam a qualidade da rocha.

O conceito de qualidade está diretamente relacionado a parâmetros específicos das rochas ornamentais, como fraturamentos, presenças de minerais deletérios e de xenólitos, cor e uniformidade, regularidade no tamanho dos minerais constituintes da rocha etc.

A extração dos blocos de rochas se inicia com o isolamento de grandes blocos, (bloco primário), posteriormente subdivididos em pranchas e, finalmente, transformados em blocos comerciais. Este procedimento se faz através de 06 (seis) operações fundamentais: Corte; Furação; Arreamento de Pranchas; Esquadreamento; Extração e Acabamento. Estas operações, posteriormente, se subdividem em operações secundárias.

O avanço frontal na estrutura maciça constitui uma sucessão de painéis. Cada painel é formado pela retirada de um bloco primário originando, assim, uma cava obtida através de cortes laterais, frontais e levantes ou basais. A realização de dois furos, sendo um vertical e o outro horizontal, possibilita à introdução do Fio Diamantado e conseqüentemente a realização de cada corte. Através do corte são produzidas as pranchas, depois os blocos são produzidos para facilitar o manuseio e transporte.

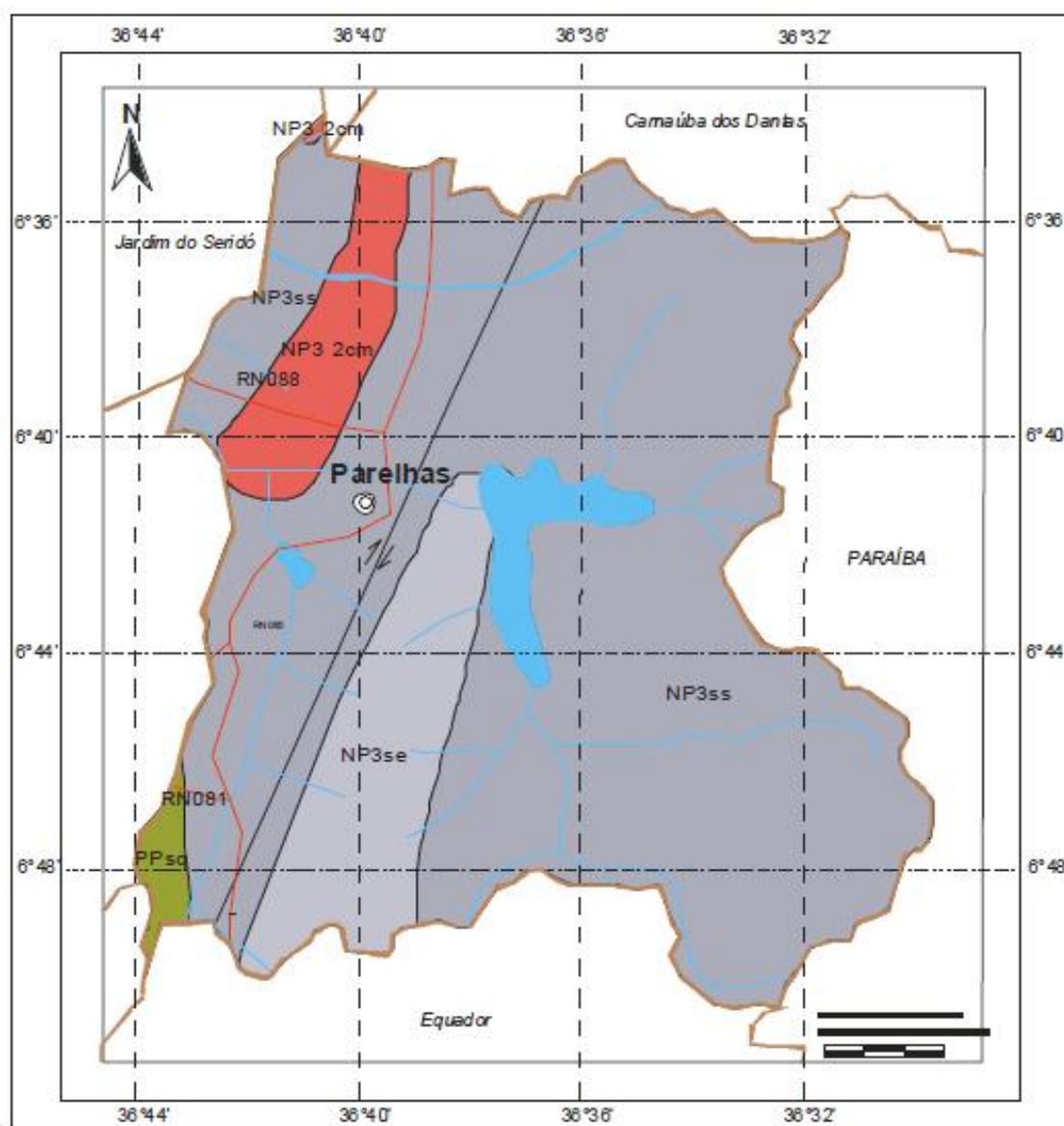
5.1.3 Caracterização geológica

Para conhecimento e entendimento da geologia regional do Granito Dália, podemos observar na Figura 34 a formação geológica da região de Parelhas – Rio Grande do Norte.

De acordo com MASCARENHAS et. al (2005), o município de Parelhas encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos do Complexo Serra dos Quintos (PPsq) , da Formação Equador (NP3s/se) e Suíte Calcicalcina de Médio a Alto Potássio Itaporanga (NP3/2cm).

Na parte vermelha do mapa referente a (NP3/2cm) é onde se localiza o pegmatito Dália objeto de estudo deste trabalho, rico em albita, muscovita, biotita, afrisita e granada entre outros minerais acessórios.

Figura 34 - Geologia da região de Parelhas.



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Neoproterozóico

- NP3 2cm** Suíte calcálcica de médio a alto potássio Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfirítico associado a diorito (588 Ma U-Pb)
- NP3ss** Formação Seridó (ss): biotita xisto, metamilito, clorita-sericita xisto (640 Ma U-Pb)
- NP3se** Formação Equador (se): quartzito e metaconglomerado

Paleoproterozóico

- PPsq** Complexo Serra dos Quintos: xisto, gnaíse, BIF, metamáfica, metultramáfica, mármore

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contato geológico
- Falha ou Zona de Cisalhamento Transcorrente Dextral

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Sede Municipal
- Rodovias
- Limites Intermunicipais
- Rios e riachos
- Açude/barragem

Fonte: MASCARENHAS (2005).

5.2 Caracterização Tecnológica

5.2.1 Descrição Petrográfica

a) Macroscópica

O material foi analisado na forma de um paralelepípedo de rocha, medindo 22cm x 10cm x 04cm, bem como uma chapa polida do mesmo material medindo 30cm x29cm.

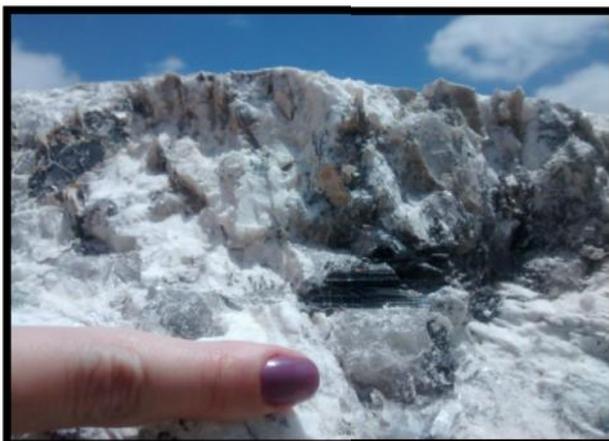
Trata-se de uma rocha pegmatoíde de cor branca (referente a matriz feldspática), destacando-se manchas aleatórias de dimensões variando de centimétricas a decimétricas, cor cinza, constituídas de quartzo, onde se associam micas (biotita + muscovita). Mesmo a olho desarmado, observam-se também fissuras centmétricas, ora acompanhando as estruturas pertíticas, ora intersectando-as aleatoriamente.

Alguns cristais de K-feldspato (de dimensões centimétricas) apresentam uma leve iridescência, quando observados em chapa polida. Devido a presença de micas em relativa abundância e em dimensões centimétricas a subdecimétricas (atingindo até 6 cm), nota-se vários buracos na chapa polida provocados pelo desprendimento destas durante o processo de polimento. As micas são também responsáveis pelo quebramento da chapa, segundo seus planos de clivagem, constituindo-se, portanto, em pontos de fraqueza. Nos blocos pode ser observada a presença de cristais milimétricos a subcentimétricos de granada, cor alaranjada, inclusa na matriz quartzo-feldspática.

Na Figura 35 (a), temos o material in natura, onde pode ser notada a presença do mineral turmalina. Na Figura 35 (b), temos a chapa polida do Granito Dália.

Figura 35 - Material (a) in natura; e (b) Chapa polida.

a) Material in natura.



b) Material em placa polida



Fonte: a autora.

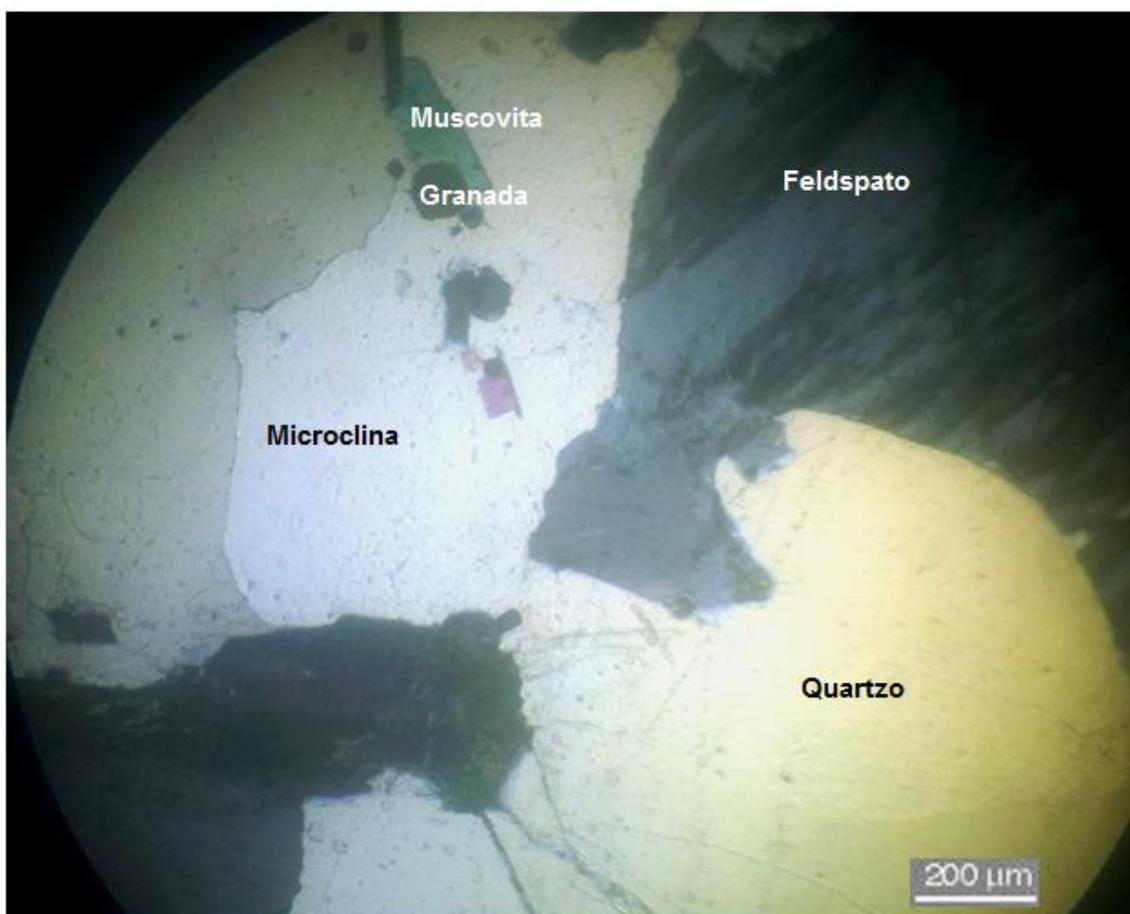
b) Microscópica

Em lâmina os feldspatos apresentam um nível de alteração incipiente, materialização através da argilização das superfícies dos cristais, como também uma sericitização incipiente ao longo de fraturas e planos de clivagens. A extinção ondulante afeta indistintamente todos os minerais da rocha, como reflexo dos esforços tectônicos sofridos pela mesma.

A biotita é a mica mais abundante, em associação com a muscovita, que ocorre menos frequentemente. Em geral, ocorrem juntas em lamelas paralelas, ou eventualmente, se cruzam.

A microclina é o feldspato dominante na rocha, ocorrendo também a albita, porém em quantidade subordinada. Em quantidades acessórias, observa-se a presença de granada e um único cristal de epidoto. A petrografia pode ser observada na Figura 36.

Figura 36 - Lâmina petrográfica do granito Dália.



Fonte: a autora.

Tendo em vista tratar-se de uma rocha pegmatóide, com granulação grosseira, torna-se impraticável a aplicação do método usual do cálculo da proporção volumétrica dos minerais numa rocha, contagem modal de pontos.

Em virtude disto, optou-se pela realização de uma estimativa visual macroscópica da proporção dos minerais principais, complementada com uma mesma estimativa em escala microscópica.

Na Tabela 11 temos a estimativa percentual da proporção volumétrica dos minerais do granito “Dália”.

Tabela 11 - Estimativa percentual da proporção volumétrica dos minerais no granito "Dália".

Minerais	%
Quartzo	40,0
Microclina	35,0
Micas (Biotita + Muscovita)	10,0
Albita	5,0
Minerais Acessórios	10
Total	100

5.2.2 Índices Físicos

Estas propriedades permitem avaliar indiretamente o estado de alteração das rochas, já que a maioria das patologias observadas em rochas de revestimento como manchas e escamações estão associadas à percolação ou/e acumulação de soluções nos ladrilhos de rocha (FRASCÁ, 2001).

O "Granito Dália" é exportado para mercados da Europa e Estados Unidos. Assim, como parâmetros de comparação foram usados as especificações da ABNT através de sua norma NBR 15844:2010 e a norma americana da ASTM C 615, ambas dizem respeito a materiais graníticos como o granito pegmatóide "Dália", objeto deste estudo. A Tabela 12 apresenta a média dos índices físicos do Granito Dália.

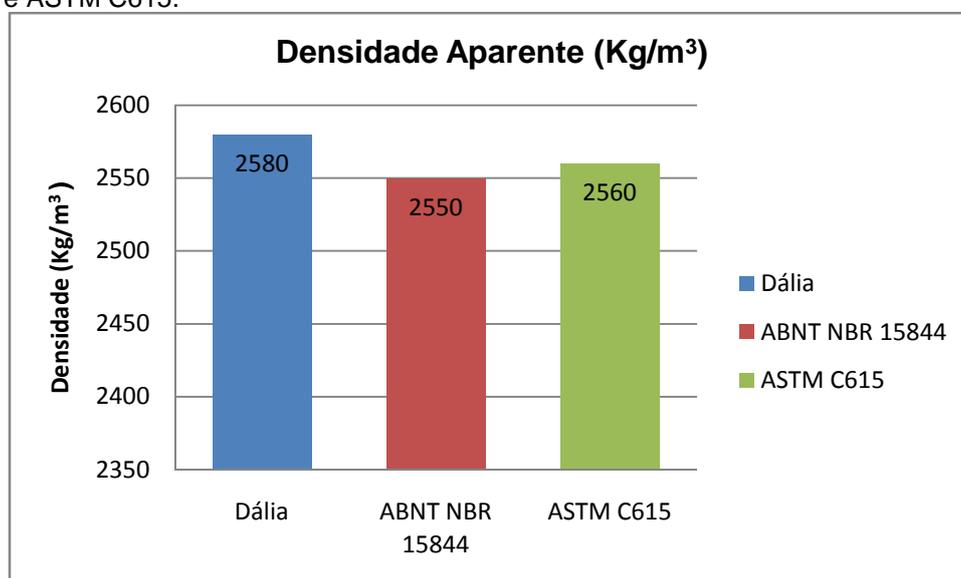
Tabela 12 - Média dos valores referentes aos índices Físicos do "Granito Dália".

Nome comercial	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)
Dália	2.580	0,93	0,361

A partir da Figura 37, é possível observar que o resultado obtido no ensaio de densidade nas amostras do "Dália" foi de 2580 Kg/m³ fica acima dos valores estipulados pelas normas brasileira e americana. Este litotipo apresenta resultado bastante satisfatório pois a norma da ABNT estipula valores maiores que 2550 Kg/m³ enquanto que a norma americana (ASTM C615) sugere densidades maiores que 2560 Kg/m³. Segundo IAGAMUTI (2001), valores elevados de densidade podem indicar que a rocha apresenta baixa porosidade e também

baixa absorção de água e sugerem que o material possivelmente apresenta boa resistência à compressão.

Figura 37 - Gráfico comparativo dos índices de densidade obtidos nos ensaios e normas ABNT 15844 e ASTM C615.

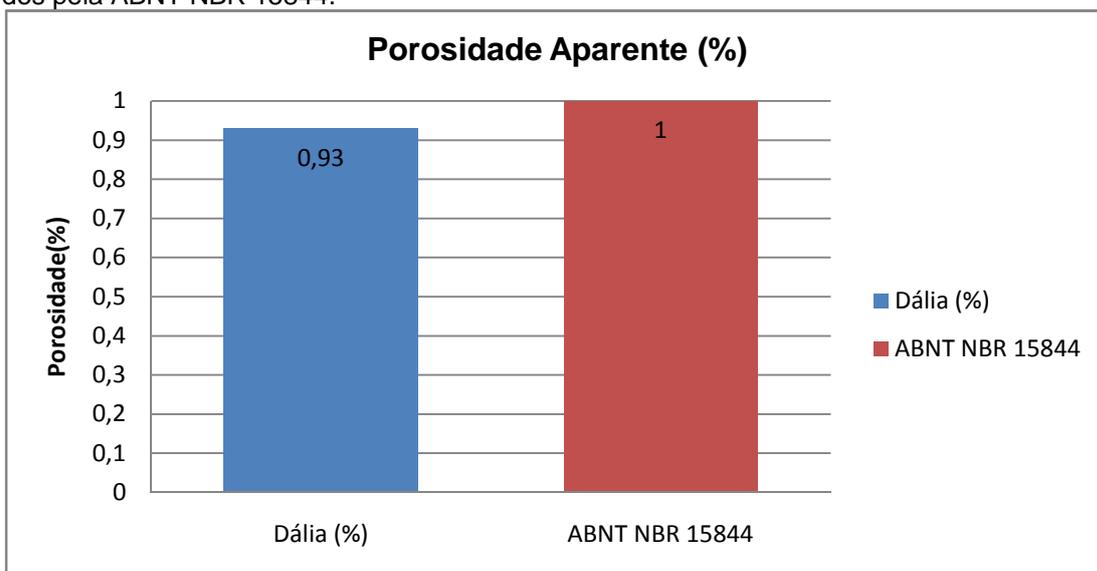


Quanto à porosidade, o comparativo se restringiu aos valores obtidos nos ensaios realizados e àqueles da norma da ABNT NBR 15844, tendo em vista que a ASTM C615 (1992) não apresenta especificação para esta propriedade. Assim, ao correlacionar o dado existente observou-se que o valor de 0,93% de porosidade obtida através das amostras ensaiadas, apresenta-se dentro da margem sugerida pela norma da ABNT NBR 15844:2010 de 1,0, o qual pode ser observado na Figura 38.

As baixas porosidades de rochas indicam que estes materiais apresentam valores de densidade maiores como no caso do “Granito Dália”, pois contêm menos vazios em sua massa.

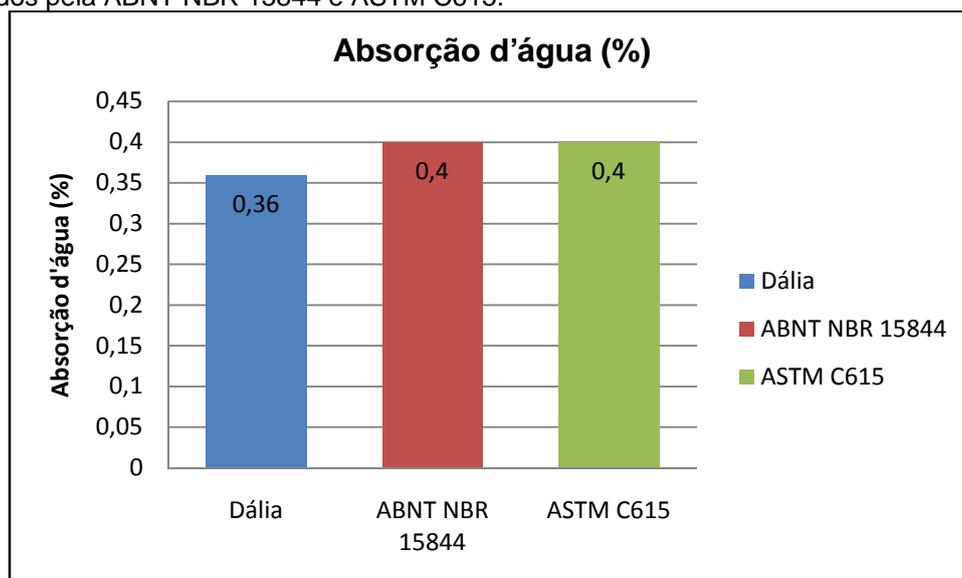
Estes valores de porosidade, abaixo de 1%, indicam que o material pode ser usado sem restrição, em áreas secas ou molhadas, observando, entretanto sua composição mineralógica e textura.

Figura 38 - Gráfico comparativo dos valores de porosidade do “Granito Dália” e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844.



Quanto à absorção de água, é possível observar no Gráfico da Figura 39, que tanto a NBR 15844:2010 quanto a ASTM C 615(1992) apresentam os mesmos valores (4%) para esta propriedade o que significa que os resultados apresentados pelas amostras ensaiadas estão dentro dos parâmetros de especificação sugerida.

Figura 39 - Gráfico comparativo dos valores de absorção d'água do “Granito Dália” e valores sugeridos pela ABNT NBR 15844 e ASTM C615.



Os valores acima expostos denotam uma rocha de boa qualidade para uso com fins ornamentais. Vale salientar que os valores de porosidade (0,93%) e aqueles de absorção de água (0,36%) estão próximos dos valores das normas ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C 615 (1992), mais ainda inferiores aos valores estipulados destes parâmetros.

Assim, considerando a composição mineralógica (rica em quartzo e microclina) e os valores de porosidade e absorção de água do “Granito Dália”, este material pode ser indicado para uso em áreas úmidas como balcões de pias e banheiros, mas levando em consideração a granulometria, textura e composição mineralógica.

Segundo CHIODI (2009), pode-se assim deduzir que os valores dos índices físicos são inter-relacionados. Por exemplo, quanto menor a densidade aferida para granitos de uma mesma linhagem, tanto maior se pode estimar o volume de espaços vazios existentes na rocha. Sendo maior o volume de espaços vazios, maior será a porosidade aparente e, possivelmente, a porosidade efetiva.

Com maior porosidade efetiva, que traduz a existência de poros e/ou cavidades intercomunicantes, maior será a absorção d'água esperada para a rocha e provavelmente menor a sua resistência físico-mecânica. Logo, as propriedades relacionadas aos índices físicos estão diretamente relacionadas entre si, de modo que a densidade depende grandemente da composição mineral e do grau de compactação ou da inter-relação entre os cristais, resultando em uma relação inversamente proporcional entre a densidade e a porosidade do material. Contudo, de acordo KALIX (2011), deve-se observar variações mineralógicas, a existência ou não de microfissuras, relações de contato entre os grãos minerais, granulação, aspetos estruturais, entre outras, pois, influenciam diretamente sobre a porosidade, densidade e absorção d'água.

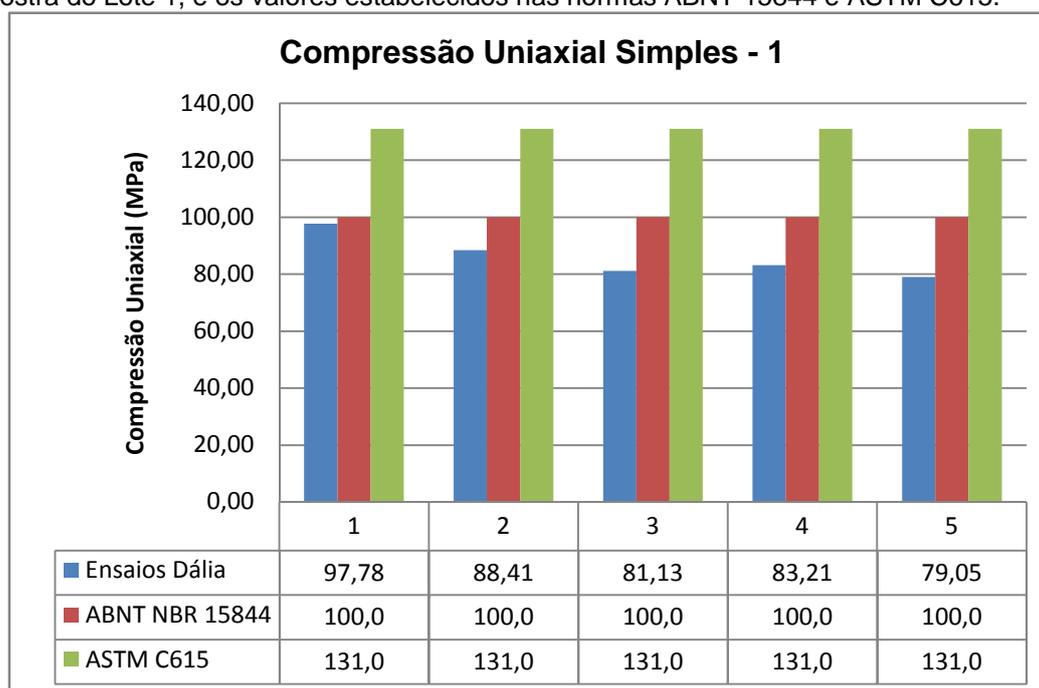
5.2.3 Compressão Uniaxial

Os ensaios realizados para a determinação da resistência à compressão uniaxial na condição seca foram realizados no Laboratório de Estruturas do

departamento de Engenharia Civil da UFPE, não se levando em consideração os efeitos da variação da temperatura.

Os ensaios foram divididos em dois lotes de amostras. O primeiro lote teve a carga de compressão aplicada na direção perpendicular ao plano de fraqueza da rocha, e o segundo lote teve a carga aplicada paralela ao plano de fraqueza da rocha. Os resultados obtidos das amostras do primeiro lote, e que representam o sentido de maior resistência do material, foram representados no gráfico da Figura 40. A maior resistência nesta direção de aplicação do esforço se explica porque a força aplicada perpendicularmente ao plano de estratificação da rocha não possui componente ou a componente é mínima na direção do plano de fraqueza do material que, na realidade, é quem provoca o cisalhamento capaz de rompê-lo.

Figura 40 - Gráfico da relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial da amostra do Lote 1, e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615.

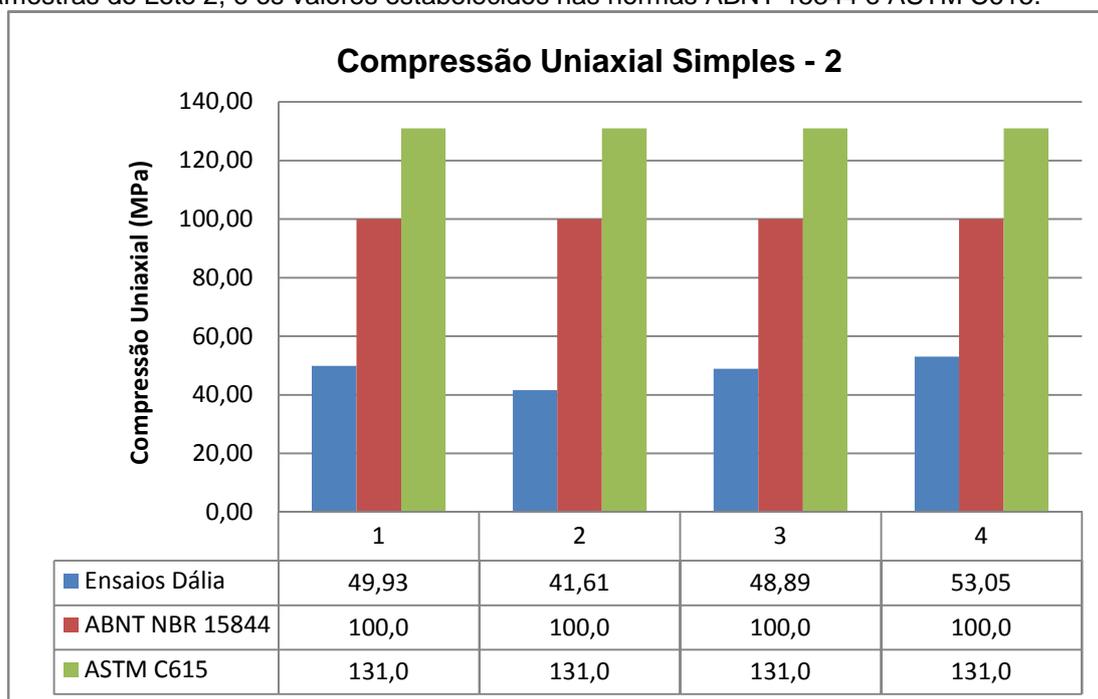


Os ensaios realizados no segundo lote de amostras, que tiveram cargas aplicadas na direção paralela ao plano de fraqueza da rocha, que representa a direção de menor resistência do material. Como a força é aplicada na direção da estratificação do material, a componente do cisalhamento é máxima e atua

ao longo dos planos de fraqueza. Assim a resistência do material nesta direção apresenta o menor valor.

Os resultados obtidos nos ensaios do Lote 2 estão expostos na Figura 41. Observa-se que as amostras ensaiadas apresentam baixa resistência comparadas aos limites estabelecidos pelas normas da ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C 615 (1992).

Figura 41 - Gráfico da relação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial das amostras do Lote 2, e os valores estabelecidos nas normas ABNT 15844 e ASTM C615.



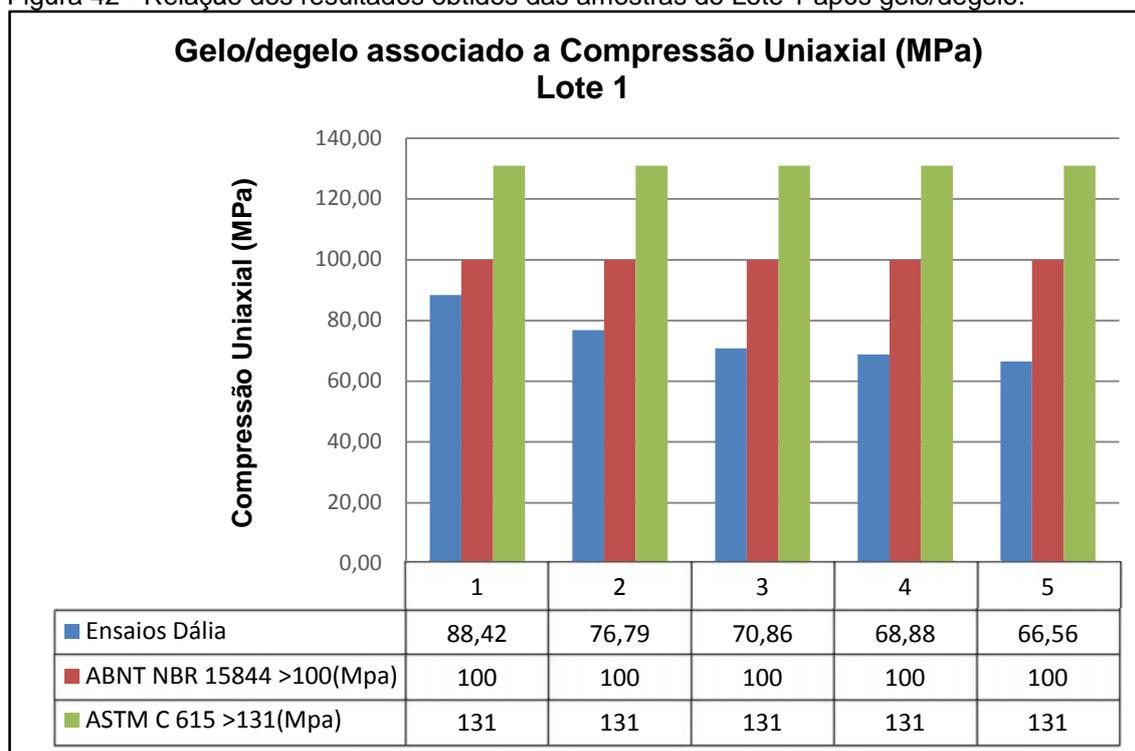
Os valores obtidos são resultados da interrelação entre aspectos intrínsecos da rocha, entre os quais é possível citar a composição mineralógica, granulométrica, as fraturas e as microfaturas da rocha decorrentes principalmente da presença de grandes cristais de mica.

Assim podemos dizer que os resultados indicam que o material apresenta valores de resistência diferentes de acordo com a direção. Isto deve ser considerado nos projetos arquitetônicos e estruturais.

5.2.4 Congelamento/degelo associado à Compressão Uniaxial

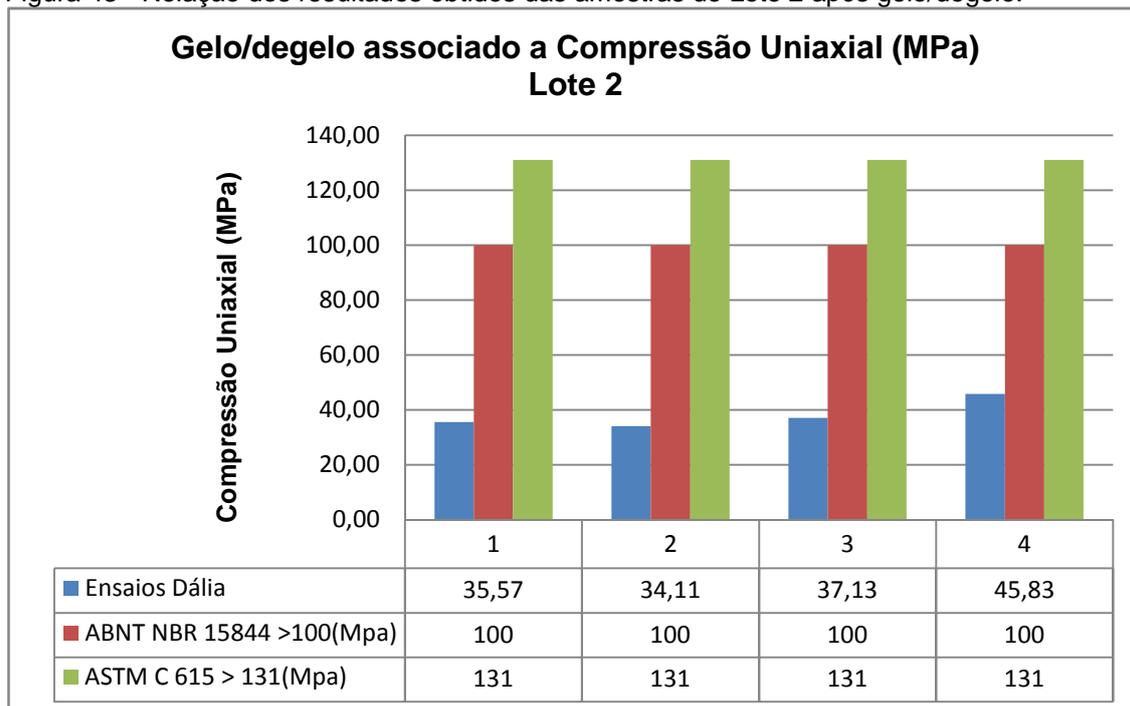
A Figura 42 contém os resultados das amostras do Lote 1, que como já foi citado, são as amostras que tiveram força aplicada perpendicular ao plano de fraqueza.

Figura 42 - Relação dos resultados obtidos das amostras do Lote 1 após gelo/degelo.



A Figura 43 contém os resultados do Lote 2 que teve a carga aplicada paralela ao plano de fraqueza da rocha.

Figura 43 - Relação dos resultados obtidos das amostras do Lote 2 após gelo/degelo.



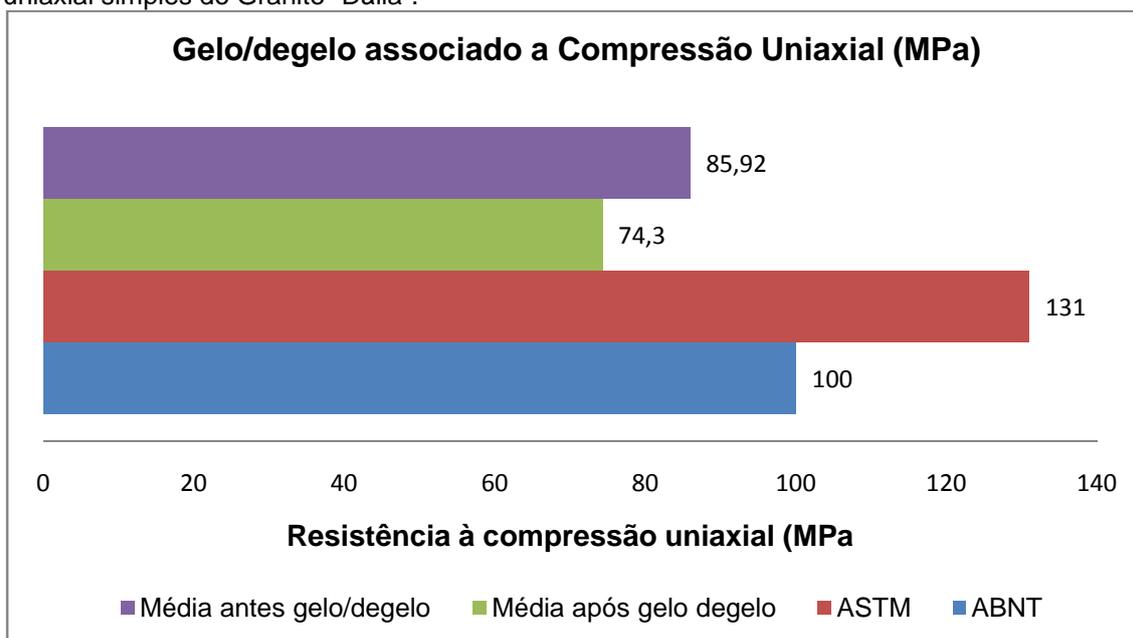
A Tabela 13 referente aos resultados dos valores médios de compressão uniaxial do “Granito Dália”, primeiro em seu estado natural (seco) e após os 25 ciclos de congelamento/degelo (-15⁰C).

Tabela 13 - Valores médios da compressão uniaxial na condição seca, antes e após o ensaio congelamento/degelo, coeficiente de enfraquecimento (K) e variação da resistência.

Granito	Compressão (Seca) MPa	Compressão (após congelamento/degelo) MPa	Coeficiente de enfraquecimento (K)	Varição de Resistência
Dália	85,92	74,30	0,865	- 14

Ressaltando que as médias calculadas foram referentes as amostras que tiveram apenas a carga aplicada perpendicular ao plano de fraqueza, referente ao Lote 1, é através do cálculo das médias que calcula-se o coeficiente de enfraquecimento (K) para sabermos se houve variação das resistências. Os resultados podem ser observados na Figura 44.

Figura 44 - Relação das médias antes e após congelamento/ degelo associados à compressão uniaxial simples do Granito "Dália".



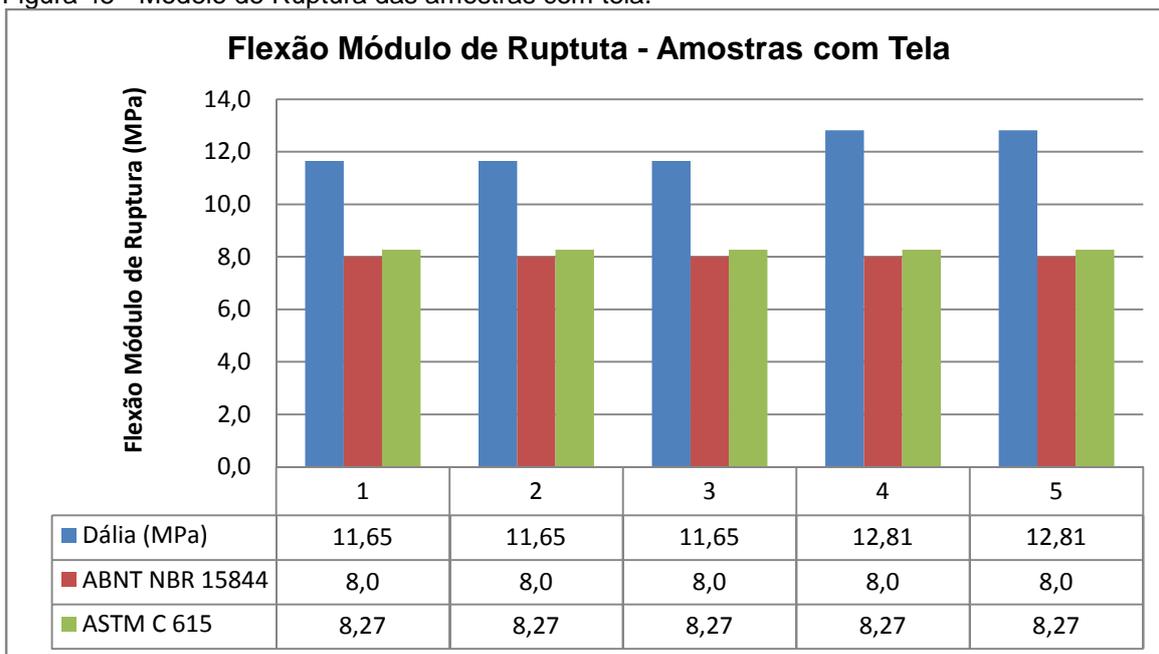
Foi observado que durante o ensaio houve a liberação de fragmentos de mica, resultantes em acentuação da porosidade. Analisando a variação de resistências do granito "Dália", acredita-se que ao ser saturado em água, as amostras sofreram expansão estimulada pela presença de clivagem nos minerais que compõe a rocha.

5.2.5 Resistência à Flexão (Modulo de Ruptura)

Neste ensaio dez (10) corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração sendo cinco corpos de prova com tela e cinco sem tela. É importante observar nos corpos de prova sinais de fraturas e micro faturas, elementos que podem comprometer os resultados do ensaio do material. Na Figura 45, pode-se observar que, com o uso da tela, os corpos de prova resistem a uma maior tensão de ruptura, aumentando assim sua resistência à flexão.

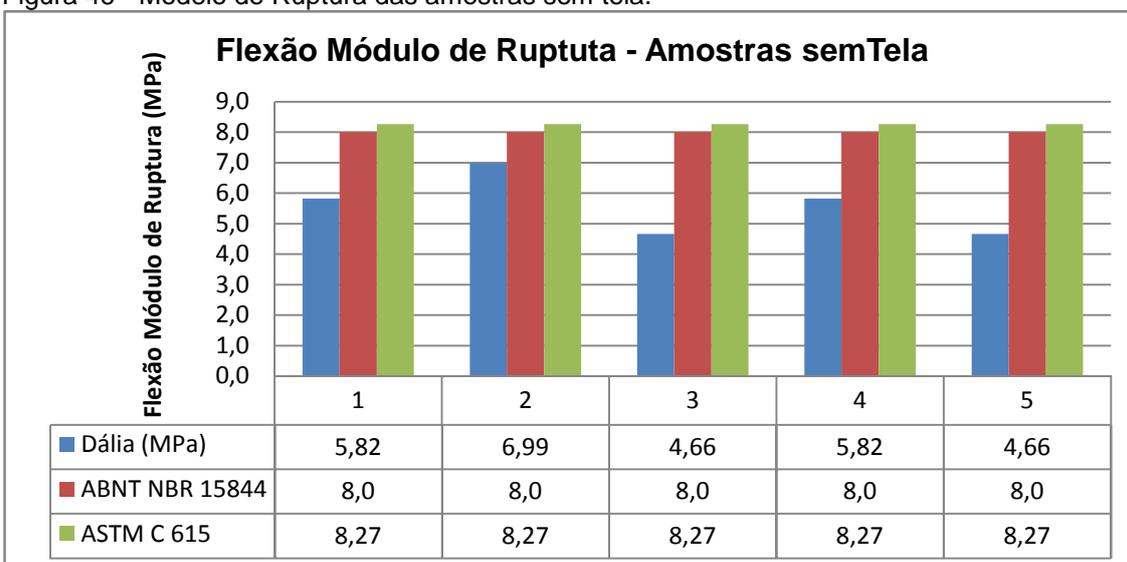
Os resultados obtidos neste primeiro ensaio com cinco corpos de prova com tela ficaram entre 11,65 MPa e 12,81 MPa, que comparados com o valor especificado pela NBR 15844:2010 ($> 8,0$ MPa) e ASTM C 615 (1992) ($8,27$ MPa), são bastante satisfatórios.

Figura 45 - Modelo de Ruptura das amostras com tela.



A Figura 46 é referente aos ensaios que foram feitos com 5 corpos de prova sem tela; os valores obtidos foram 4,66 MPa e 6,99 MPa. Os resultados deste lote de amostras não foram satisfatórios, pois as amostras tiveram seus valores bem abaixo dos valores especificados pela ABNT NBR 15844:2010 e ASTM C 615 (1992). Isto se justifica pela presença de microfaturas na rocha, tamanho dos grãos de quartzo, e os vazios presentes entre as micas, e pela ausência da tela que dá maior rigidez ao material, conferindo maior resistência.

Figura 46 - Modelo de Ruptura das amostras sem tela.



Fazendo a correlação dos resultados obtidos com os sugeridos pela ABNT NBR 15844:2010 E ASTM C 615(1992), pode-se concluir que a resistência à flexão das amostras com tela foi bastante satisfatória, e resultou no alerta com relação à existência de micro fraturas, que podem ser causadas na fase de extração dos blocos ou no beneficiamento; e pode-se observar também que o material sem tela não tem resistência favorável para seu uso, portanto, sendo necessária a aplicação da tela. Também a presença da tela e o aumento da resistência à flexão decorrente desta são fundamentais quando da aplicação deste material em fachadas aeradas.

5.2.6 Desgaste *Amsler*

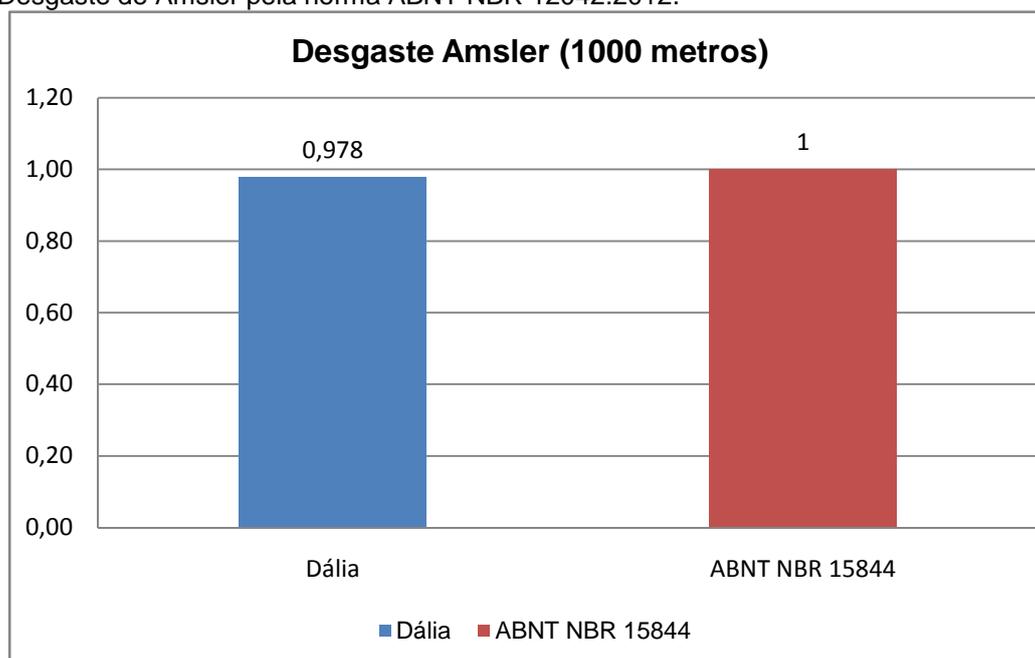
Os ensaios de desgaste abrasivo executados nas amostras do “Granito Dália” tiveram seus resultados expressos através das médias mostradas na Tabela 14. Estes valores foram comparados apenas com as especificações da norma ABNT 14844:2010, já que a norma ASTM C615 (1992) não especifica valores limites como referência para o desgaste abrasivo. A ABNT, através da NBR 15844:2010 estabelece para o desgaste, o limite de 1,0 mm para percursos de 1000 m para que as rochas sejam consideradas de boa qualidade para serem utilizadas em revestimentos de pisos de grande pisoteio.

Tabela 14 - Valores médios do Desgaste *Amsler* referente aos ensaios com granito Dália.

Material	Desgaste após 500m	Desgaste após 1000m
Granito Dália	0,75mm	0,978mm

Na Figura 47 temos os resultados para o ensaio de Desgaste *Amsler* ficaram bem próximos do valor especificado pela norma da ABNT NBR 12.042:2012 (< 1,0 mm/1000 m).

Figura 47 - Relação entre os valores médios obtidos em ensaios e os sugeridos como limites do Desgaste de Amsler pela norma ABNT NBR 12042:2012.



Os limites mínimos para a resistência a abrasão do Granito Dália foram atendidos para uso em ambientes de baixo a médio pisoteio com algumas restrições. Mas levando em consideração a composição mineralógica não é muito indicado para piso, pelo tamanho dos grãos de mica, o qual durante o ensaio era arrancado da amostra.

5.2.7 Resistência ao Impacto de Corpo Duro

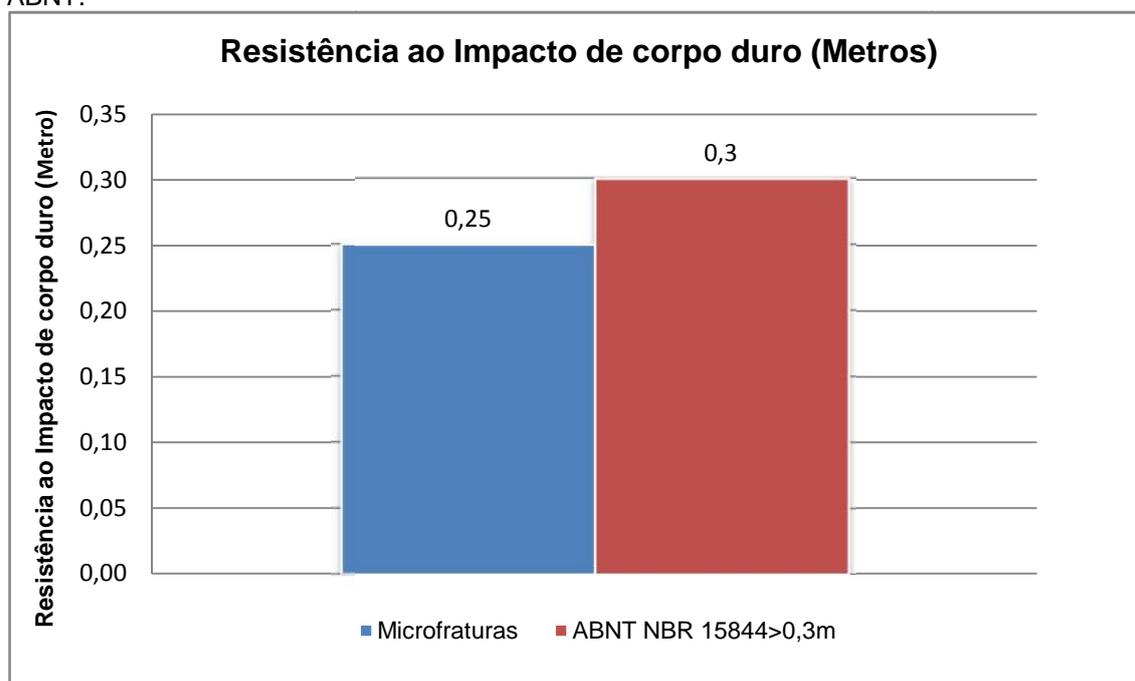
Este ensaio avalia a energia de ruptura por impacto na rocha. ROSS & BUTLIN (1989) sugerem que os valores de resistência ao choque para placas colocadas em fachadas são função da situação que ocupam nas fachadas exteriores de edifícios. Para elementos de fachada até a altura de 1,5 m, os valores de energia de ruptura não devem superar 6 ou 10 joules, a depender se as placas são mais protegidas ou não. Para alturas além desta, também a depender do tipo de edificação, os valores de energia de ruptura variam de 3 a 6 joules.

Os corpos de prova de rocha foram submetidos a impactos com esferas de 1 Kg a alturas variáveis a partir de 20 cm com incrementos de 5 cm; as alturas em que apresentaram imperfeições (fraturas e ou rupturas após impacto) foram

observadas e registradas sendo as mesmas em estado repetitivo estatisticamente. Os valores expostos nas Figura 48 e Figura 49 denotam uma rocha com reduzida resistência ao impacto.

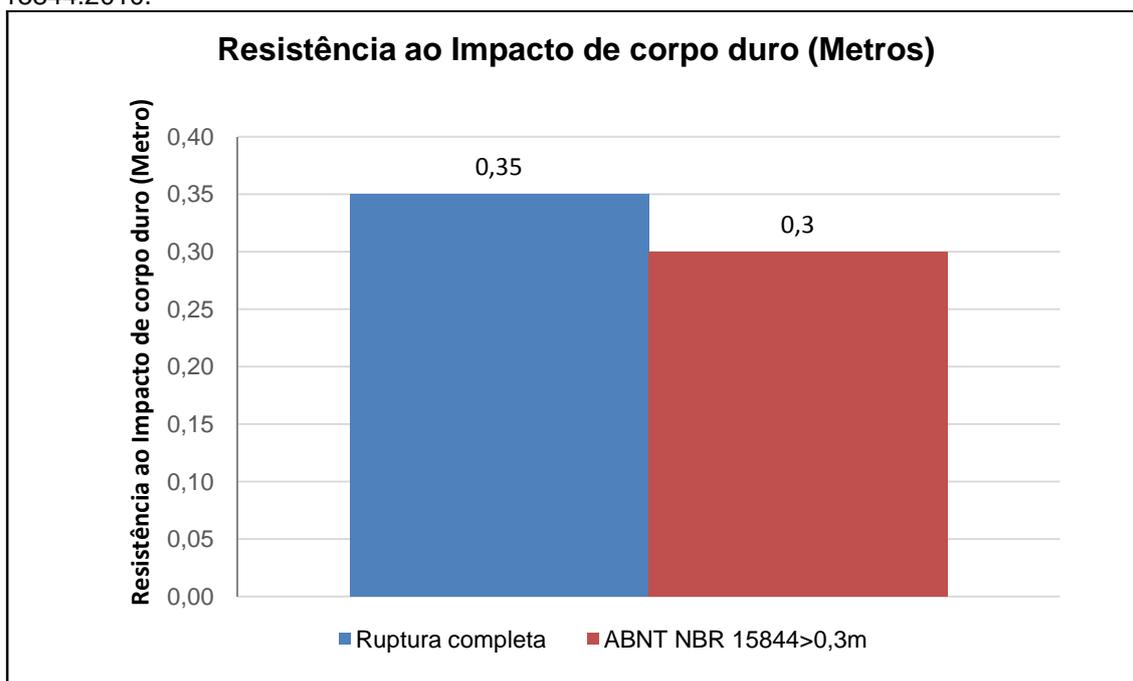
A Figura 48 demonstra o início da origem das microfaturas, o momento em que a placa do material começa a se quebrar.

Figura 48 - Comparativo do valor gerado no aparecimento de micro fraturas com a norma da ABNT.



A Figura 49 mostra o resultado do momento da ruptura total da placa, o qual pode-se afirmar que o material Granito Dália tem uma baixa resistência ao impacto de corpo duro.

Figura 49 - Comparativo do valor gerado na ruptura completa com a norma da ABNT NBR 15844:2010.



É percebido que o elemento responsável pela queda deste parâmetro de resistência é a elevada presença de minerais micáceos de grandes dimensões, gerando de planos de fraqueza na estrutura da rocha. As micas são minerais que apresentam um plano de clivagem perfeita.

A clivagem é uma propriedade dos minerais que favorece a dissipação da energia dos choques e impactos. Entretanto no caso das micas a resistência apresentada entre os planos de clivagem é baixa, o que faz com que a resistência ao impacto seja bastante diminuída. No caso do “Granito Dália” a presença de grandes cristais de muscovita e biotita colaboram para este baixo valor de resistência ao impacto do corpo duro.

Igualmente, a depreciação na resistência ao impacto desta rocha se restringe apenas quanto da sua aplicação e transporte (rupturas de placas), quando esta ficar submetida à ação de impactos e vibrações.

6 CONCLUSÃO

Esta pesquisa busca conhecer e avaliar as características físico-mecânicas, petrográficas e mineralógicas da rocha ornamental “Granito Dália” (Star White), do Sítio Mulungu/Mufumbo, município de Parelhas - RN, analisando os aspectos de campo e os resultados dos ensaios buscando sua melhor aplicabilidade, e apontando os quesitos necessários para uma melhor produtividade.

No estudo de bloco de partição pode-se observar que os maciços 1 e 3 são mais favoráveis para a retirada de blocos, por conter menos fraturas e uma melhor distribuição mineralógica de quartzo, albita e mica;

Os índices físicos, densidade aparente, porosidade e absorção d’água atendem satisfatoriamente aos requisitos da ABNT NBR 15844:2010, o que significa que o material objeto de estudo pode ser usado em lugares úmidos como balcões e pias assim como também em áreas externas.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão simples foram comparados com os valores requisitados para granitos, pode-se dizer que o granito “Dália” suporta uma compressão mediana.

O ensaio de flexão a ruptura em quatro pontos foi realizado com 5 amostras sem tela e 5 amostras com tela, observamos que os resultados das amostras com tela foram superiores quando comparados aos sem tela, onde as amostras com tela atingiram 12,81 MPa, e comparando-os com os valores requisitados para granitos, pode-se dizer que o granito “Dália” suporta tração a ruptura mediana.

O resultado do ensaio de desgaste *Amsler* ficou bem próximo de 1mm/m, especificado pela norma brasileira, o que significa que o material pode ser usado como piso em lugar de baixo tráfego mas ainda assim com algumas restrições, mas deve-se levar em consideração a composição mineralógica e granulometria.

O ensaio de impacto de corpo duro foi realizado de acordo com a norma da ABNT NBR 15845:2010, a resistência ao impacto envolve muitos momentos do dia-a-dia, tais como quedas de objetos, cargas nos cantos de degraus de escada, entre outros. Comparando os resultados obtidos de 0,35 m com os requisitados para granitos, podemos afirmar que o granito “Dália” tem resistência ao impacto baixa, tornando imprescindíveis os cuidados quanto ao transporte, estocagem e colocação.

Considerando-se que o “Granito Dália” é uma rocha ornamental que apresenta excelentes qualidades quanto à sua estética para valorização de ambientes, o que resultou em um aumento em sua demanda para o exterior, no que resultou o interesse de fazer o ensaio de gelo e degelo associado à compressão uniaxial simples, visando observar se haveria uma alteração na resistência após o congelamento/degelo, conhecido como fator K.

A avaliação dos ensaios do “Granito Dália” possibilitou um melhor conhecimento da inter-relação dos resultados, e podendo assim relacionar diretamente a uma melhor aplicação do material objeto de estudo, já que até então essas informações eram escassas. Mesmo assim recomenda-se que em futuras pesquisas sejam incluídos outros ensaios tais como o de alterabilidade tendo em vista que o material possui grande concentração de mica, como também a granada (grossulária).

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 12042. **Materiais Inorgânicos. Determinação do Desgaste por Abrasão.** 1992.
- ABNT NBR 15845. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO A (normativo) Análise Petrográfica.** 2010.
- ABNT NBR 15845. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO B (normativo) Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água.** 2010.
- ABNT NBR 15845. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO D (normativo) Resistência ao congelamento e degelo.** 2010.
- ABNT NBR 15845. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO E (normativo) Resistência à Compressão Uniaxial.** 2010.
- ABNT NBR 15845. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO G (normativo) Módulo de Ruptura (Flexão por carregamento de quatro pontos).** 2010.
- ABNT NBR 15845. **Rochas para revestimento. Métodos de Ensaio. ANEXO H (normativo) Resistência ao Impacto de Corpo Duro.** 2010.
- ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. **Tecnologias de Lavra e Beneficiamento de Rochas Ornamentais: Estudo Econômico sobre Rochas Ornamentais do Nordeste** – Instituto Euvaldo Lodi – IEL. 1995.
- ALMEIDA, F. F. M. de. **Origem e Evolução da Plataforma Brasileira.** Bol. 241 do DGM/DNPM, Rio de Janeiro (1): 17 – 45 p.1967.
- ASTM C 615. **Standard Specification for Granite Dimension Stone.**
- BRITO, N. B. B. **Regionalização Tectônica do Pré - cambriano Nordestino.** Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 198 p.1975.
- CASTRO, N.F.; VIDAL. F. W. H. **Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais** (3.:2007: Natal). Anais do VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais (Org. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 380 p. 2008.

CHIODI, F. C. **Balço das Exportações e Importações de Rochas Ornamentais no Período de Janeiro a Setembro 2007**. São Paulo: ABIROCHAS. 5p. (Informe n. 30/2007).

CHIODI, F. C. **A diversidade das Rochas Ornamentais: Critérios de Especificação e Aplicação em Revestimentos**. Projeto bula. São Paulo: ABIROCHAS. 118p. 2009.

EBERT, H. **Ocorrência da Fácies Granulítica no Sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência de sua estrutura orogênica: Hipótese sobre sua origem**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 40 (supl): 215-229. 1968.

FRASCÁ, M. H. B. O. **CURSO: Qualificação de Rochas Ornamentais e para Revestimento de Edificações: Caracterização Tecnológica e Ensaio de Alterabilidade**. Anais I Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, Bahia. p:128-135. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2001.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso**. In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais, Recife, PE. 2002.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Estudos experimentais de alterabilidade acelerada de rochas graníticas para revestimento**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo. 2003.

FRAZÃO, E. B.; FRAJALLAT, J. E. S. **Características Tecnológicas das Principais Rochas Silicáticas Brasileiras Usadas como Pedras de Revestimento**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA, 1., Lisboa. 1995.

FERREIRA, J. A. M.; ALBUQUERQUE, J. P. T. **Sinopse da Geologia da Folha Seridó**. Recife: SUDENE. 52p. 1969.

IAMAGUTI A. P. S. **Manual de Rochas Ornamentais para Arquitetos**. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Rio Claro – SP. 2001.

MASCARENHAS, J. C. et. al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea**. Diagnóstico do Município de Parelhas, estado do Rio Grande do Norte. CPRM. Recife, PE. 2005.

KALIX, T. M. F. **Estudos de Caracterização Tecnológica com ênfase em Alterabilidade dos tipos comerciais do granito Marrom Imperial.** Dissertação de Mestrado. UFPE - Recife. 2011.

ROSS, K.; BUTLIN, R. N. **Durability tests for building Stones.** BRE. Watford, England. 1989.

SÁ J.; FERRAZ E. **Reavaliação dos Conceitos Estratigráficos na Região do Seridó (RN/PB) –** Rio de Janeiro. 1980.

SALES, F. A. C. B.; MORAIS. J. O. **Proposta Metodológica de Pesquisa para Rochas Ornamentais.** Anais do VI Simpósio do Nordeste de Rochas Ornamentais (Org. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 380 p. 12 p. 2003.

SGARBI, G. N. C. et al. **Petrografia Macroscópica das Rochas Ígneas, Sedimentares e Metamórficas.** 2ª Edição. Belo Horizonte. Editora: UFMG. 632 p. 2012.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** 1ª Edição. São Paulo. Editora Edgard Blucher. 400 p. 2003.

MENDES, V. A.; SANTOS. C. A. **Jazimentos de Rochas Ornamentais da Província Borborema.** IV SRONE - Fortaleza-CE/Brasil. 12 p. 2003.

TEXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra.** 2ª Edição. São Paulo. Companhia Editora Nacional. 623 p. 2009.

VIDAL, H. C. A. et al. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento.** 1ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 700 p. 2013