



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

DÉBORA MACÊDO DO NASCIMENTO

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UM ULTRAMILONITO DA REGIÃO DE MARCO - CE

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO

FORTALEZA

2014

DÉBORA MACÊDO DO NASCIMENTO

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UM ULTRAMILONITO DA REGIÃO DE MARCO - CE

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Geologia

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto.

FORTALEZA

2014

DÉBORA MACÊDO DO NASCIMENTO

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UM ULTRAMILONITO DA REGIÃO DE MARCO - CE

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geologia. Linha de Pesquisa: Geodinâmica e Recursos Minerais,

Aprovada em ____/____/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (Orientador)

Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Ricardo Emilio Ferreira Quevedo Nogueira

Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof.^a Dr.^a Irani Clezar Mattos

Universidade Federal do Ceará – UFC

Aos meus queridos pais e amado marido.

AGRADECIMENTOS

A Jesus e Nossa Senhora por me dar tanta luz nesta caminhada fazendo com que este sonho se tornasse real, sem eles nada sou.

Ao projeto PROCAD-NF nº 08/2008, por ter dado suporte financeiro ao desenvolvimento das análises tecnológicas e radiométricas na Universidade Estadual Paulista em Rio Claro-SP.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro, que foi primordial para a realização deste trabalho.

Ao Orientador e amigo, Dr. José de Araújo Nogueira Neto, pela oportunidade, apoio e por acreditar que eu seria capaz, foi pelo seu incentivo não me deixando desistir nas outras vezes que não deu certo que consegui concluir esta dissertação.

Ao Prof. Antônio Carlos Artur, pelo apoio e orientação na minha estadia na UNESP-Rio Claro.

Aos Professores do Departamento de Geologia que foram importantes nesta caminhada do Mestrado, em especial a Prof.^a Tereza, por ser essa mãezona que tanto nos cativa, a Prof.^a Irani por ter aceitado participar de minha banca.

Aos meus amigos Gabriela (Gabys), Diones (Bgood), Agnaldo, Martha, Joel, Leiliane, Denise, Glória e Wilkson, Fátima Bessa, Prof. Torquato por toda ajuda no decorrer destes dois anos. Fiquem certo de que sem vocês teria sido muito mais difícil. Sou muito grata a cada um.

As três pessoas mais importantes da minha vida. Meu amado marido que me ajuda e apoia incondicionalmente. Sou muito grata a Deus por ter me dado esse tesouro de presente. Meu pai que não tenho nem palavras para descrever o que ele significa para mim. Tudo de bom que tenho em mim aprendi com ele. Minha mãe que tanto lutou para me ver chegar onde cheguei. Saibam que sem vocês minha vida não tem sentido algum.

E a todos que me ajudaram direta e indiretamente na conclusão deste sonho.

Agradeço a todos vocês!!!!

Bom mesmo é ir à luta com determinação,
abraçar a vida com paixão, perder com classe e
vencer com ousadia, porque o mundo pertence a
quem se atreve e a vida é "muito" para ser
insignificante.

Charlie Chaplin

RESUMO

A presente dissertação apresenta as características mineralógicas e tecnológicas do Granito Tucunduba, conhecido comercialmente como Green Galaxy, localizado no município de Marco – CE. Foram realizados ensaios tecnológicos de índices físicos (massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente), compressão uniaxial, flexão em três e quatro pontos, desgaste abrasivo AMSLER, impacto em corpo duro e congelamento e degelo e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, baseados em normas da ABNT. Para complementar os dados, quantificou-se também a taxa de exalação de radônio. A medição radiométrica foi realizada através da aplicação do método de detecção ativa de exalação do gás para o monitoramento da quantidade de ^{222}Rn . Com a escolha dos ensaios descritos, objetivou-se avaliar a qualidade da rocha para aplicação como rocha ornamental. Foi adicionado aos principais objetivos deste trabalho a análise petrográficas voltada ao reconhecimento da composição mineralógica e feições texturais e o grau de microfissuramento do material. A análise petrográfica permitiu classificar a rocha como Ultramilonito Quartzo Feldspático. Macroscopicamente podemos descrevê-la como uma rocha de coloração predominantemente verde. Seu grau de microfissuramento se estabelece em torno de $1,8/\text{mm}^2$. Os resultados dos ensaios tecnológicos mostraram que a rocha apresenta boa qualidade para uso ornamental e revestimento até mesmo em locais de grande amplitudes térmicas. A taxa de exalação de radônio ficou dentro dos limites da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Dentro deste contexto, o Ultramilonito Quartzo Feldspático mostrou-se bastante resistente para uso como materiais de revestimentos.

PALAVRAS CHAVE: Ultramilonito; Green Galaxy, Tucunduba; Caracterização Tecnológica.

ABSTRACT

This dissertation presents the mineralogical and technological characteristics of the Granite Tucunduba, commercially known as Green Galaxy, located in the municipality of Marco - CE. Technological tests of physical indexes (bulk density, apparent porosity and water absorption apparent d'), uniaxial compression, bending in three and four points, AMSLER abrasive wear, impact and hard freezing and thawing body and speed of wave propagation were performed ultrasonic, based ABNT. To complement the data also quantified the rate of exhalation of radon. Radiometric measurement was performed by applying the active detection method exhalation gas for monitoring the amount of ^{222}Rn . With the choice of the tests described, aimed to evaluate the quality of rock for use as ornamental stone. Was added to the main objectives of this work focused on the recognition of the mineralogical composition and textural features and the degree of microcracking of the material petrographic analysis. The petrographic analysis allowed to classify the rock as Ultramilonito feldspathic quartz. Macroscopically we can describe it as a rock of predominantly green. Their degree of microcracking settles around $1.8 / \text{mm}^2$. The results of technological tests showed that the rock has good quality for ornamental use and coating even in places with large temperature ranges. The radon exhalation rate was within the limits of the United States Environmental Protection Agency. Within this context, the Ultramilonito feldspathic quartz proved to be very tough for use as coating materials.

KEYWORDS: Ultramilonito; Green Galaxy, Tucunduba; Technological characterization.

Lista de Ilustrações

Figura 1.1: Localização da área da rocha estudada	17
Figura 2.1 - Evolução do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais de 1998 a 2012.....	21
Figura 2.2: Evolução das exportações brasileiras de chapas serradas de 2001 a 2012.....	22
Figura 3.1 - Domínios geológicos da porção norte da Província Borborema (modificado de Fetter, 1999)	28
Figura 3.2 - Mapa geológico regional e de localização do granito Tuncuduba (modificado de Cavalcante & Ferreira 1983).....	36
Figura 4.1 - Ilustração do método de coloração seletiva ou colorimetria	39
Figura 4.2 – Tipos de contatos minerais considerados para avaliação qualitativa (baseado em CASTRO DORADO, 1988 e HIBBARD, 1995).....	40
Figura 4.3 - Imagem do corpo de prova no equipamento de compressão uniaxial do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro.....	45
Figura 4.4: Imagem do corpo de prova no equipamento para o ensaio de resistência a (A) flexão 3 e (B) flexão 4 pontos.....	46
Figura 4.5 - Imagem mostrando a) Máquina para o ensaio de abrasão Amsler do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro e b) corpos de prova para desgaste Amsler.....	48
Figura 4.6 – Equipamento para o ensaio de impacto ao corpo duro.....	49
Figura 4.7 – Equipamento para o ensaio da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em corpo de prova de flexão em quatro pontos.....	50
Figura 4.8 - Detector de radônio AlphaGUARD utilizado para medição da concentração de radônio.....	52
Figura 4.9 - Sistema usado para medir a exalação do gás radônio nas amostras estudadas composto de (1) espectrômetro alfa; (2) bomba de ar; (3) garrafão e (4) sistemas de válvulas e, o (5) sentido da circulação do ar interno conforme especificação do aparelho.....	53
Figura 5.1 - Foto da placa polida do ultramilonito <i>Green Galaxy</i>	56
Figura 5.2 – Fotos mostrando bloco da rocha utilizado para confeccionar os corpos-de-prova para o ensaio de compressão uniaxial. (A) Bloco parcialmente cortado; (B) Técnico confeccionando os corpos-de-prova; (C) Corpos-de-prova para o ensaio a seco; (D) Corpos-de-prova para o ensaio com congelamento e degelo.....	67

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Produção - dados mundiais. (ABIROCHAS 2013)	20
Tabela 2.2 – Reservas minerais do Ceará por classe e substância referente ao ano de 2009 (DNPM 2010).....	24
Tabela 2.3 – Produção mineral comercializada (*), bruta e beneficiada, de acordo com a classe e substância referente ao ano de 2009. (DNPM 2010).....	25
Tabela 2.4- Principais Países-Destino das Exportações Cearenses no Setor de Rocha Ornamental Período: Janeiro a Dezembro. (Valores em U\$\$ FOB) - FIEC (2012).....	26
Tabela 2.5 – Balanço das exportações/importações cearenses de rochas ornamentais no período de 2003 a 2012 – FIEC 2012.....	27
Tabela 4.1 - Exemplos de massa específica aparente de diversos grupos de rochas. (Neville 1997).....	43
Tabela 4.2 - Classificação das rochas quanto à resistência à compressão simples (ISRM 1979).....	45
Tabela 4.3 – Características das britas utilizadas.....	52
Tabela 5.1: Síntese das características petrográficas do Ultramilonito Quartzo Feldspático.....	60
Tabela 5.2 - Resultados de caracterização tecnológica da rocha estudada e valores limítrofes da ABNT (2010).....	61
Tabela 5.3 - Comparação dos resultados medidos para o Ultramilonito Quartzo-Feldspático com os da ASTM C-615(1992) e os da ABNT NBR 2010.....	62
Tabela 5.3 - Comparação dos resultados medidos para o Ultramilonito Quartzo-Feldspático com os da ASTM C-615(1992) e os da ABNT NBR 2010.....	63
Tabela 5.4 - Velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas (m/s) do Ultramilonito com os valores recomendados por Frazão & Farjallat (1995) e pela norma ASTM C-615 (1992).....	72
Tabela 5.5 - Valores obtidos do Ultramilonito, em um ciclo de 25 dias no detector de Rn AlphaGUARD, medidos em Bq.m ⁻³	74
Tabela 5.6 - Quantificação de ²²² Rn exalado de 15 amostras do Estado do Ceará, dando destaque para o Ultramilonito Green Galaxy.....	75

Lista de Gráficos

Gráfico 5.1: Resultados de massa específica aparente do Ultramilonito Quartzo Feldspático.....	63
Gráfico 5.2: Resultados de porosidade aparente e absorção d'água para o Ultramilonito Quartzo Feldspático.....	64
Gráfico 5.3: Resultados de resistência a compressão uniaxial obtidos para o Ultramilonito Quartzo Feldspático.....	65
Gráfico 5.4: Resultados de resistência a flexão 3 pontos (seco e após congelamento/degelo) obtidos para o Ultramilonito Quartzo Feldspático.....	68
Gráfico 5.5: Resultados de resistência a flexão em 4 pontos (seco e após congelamento/degelo) obtidos para o Ultramilonito Quartzo Feldspático.....	69
Gráfico 5.6: Resultados de resistência ao desgaste abrasivo obtidos para o Ultramilonito, relacionados com a porcentagem de quartzo.....	70
Gráfico 5.6 - Fontes de exposição à radiação (ICRP 60, 1991).....	72
Gráfico 4.3: Teor de ⁴⁰ K em comparação com rochas de composição básica obtidas por Anjos <i>et. al.</i> (2004).....	73

Lista de Abreviações

RN – Radônio	16
Km – quilômetro	17
DMC- Domínio Médio Coreau	28
TTG - tonalítica-trondhjemítica-granodiorítica	29
U – Urânio	30
Pb – Chumbo	30
M _{sec} - Massa seca	43
M _{sat} - Massa saturada	43
M _{sub} - Massa submersa	43
N/min – Newtons por minuto	46
Bq/m ³ - Bequerel por metros cúbicos	74

ÍNDICE

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Contextualidades.....	15
1.2 Problemática do Radônio.....	16
1.3 Localização.....	17
1.4 Objetivos.....	18
CAPITULO 2 PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS.....	19
2.1 Considerações iniciais.....	19
2.2 Rochas ornamentais do Brasil.....	19
2.3 Rochas Ornamentais no Ceará.....	22
2.3.1 Reservas Minerais e Produção de Rochas Ornamentais no Estado do Ceará.....	23
2.3.2. Mercado	25
CAPITULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO.....	28
3.1. Domínio Médio Coreau (DMC).....	29
3.1.1. Complexo Granja.....	29
3.1.2. Sequência Vulcânica Saquinho.....	30
3.1.3. Grupo Martinópole.....	30
3.1.4. Grupo Ubajara.....	31
3.1.5. Granitóides.....	32
3.1.6. Grupo Jaibaras.....	32
3.1.7. Grupo Riacho do Sairi.....	33
3.1.8. Grupo Barreiras.....	34
3.2. Estrutura.....	34
CAPITULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1 Materiais.....	37
4.2 Métodos.....	37
4.2.1 Levantamento Bibliográfico	37
4.2.2 Trabalhos de campo e coletas de amostras.....	38
4.2.3 Análises Petrográficas.....	38
4.2.3.1. Quantificação mineralógica	38
4.2.3.2. Classificação das rochas em relação aos aspectos texturais/tamanho relativo dos cristais.	39
4.2.3.3. Classificação da densidade das Microfissuras.....	41
4.2.4 – Ensaios físico-mecânicos.....	41
4.2.4.1 – Índices físicos da rocha.....	42
4.2.4.2 – Compressão uniaxial simples.....	43
4.2.4.3 - Resistência à Flexão (método dos 3 e 4 pontos)	46
4.2.4.4 - Desgaste por Abrasão Amsler.....	47
4.2.4.5 Determinação da resistência ao impacto de corpo duro.....	49

4.2.4.6 Determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.....	50
4.2.5 – Determinação Radiométrica.....	50
4.2.6 – Etapa final.....	54
CAPITULO 5 - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E RADIOMÉTRICA.....	55
5.1. Análise Petrográfica.....	55
5.1.1 Descrição Macroscópica.....	56
5.1.2 Descrição Microscópica.....	56
5.2 – Resultados físicos mecânicos.....	61
5.2.1 Índices Físicos.....	62
5.2.2 Resistência à Compressão Uniaxial Simples.....	65
5.2.3 - Resistência a Flexão em 3 pontos.....	67
5.2.3 - Resistência a Flexão em 4 pontos.....	69
5.2.4 Desgaste Abrasivo Amsler.....	70
5.2.5 Resistência ao impacto de Corpo Duro.....	71
5.2.6 Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-Sônicas (m/s)	71
5.3 Caracterização Radiométrica.....	72
CAPITULO 6 – CONCLUSÕES.....	76
CAPITULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

A utilização dos materiais rochosos para fins ornamentais, iniciou-se no Egito, a cerca de 5 milênios atrás, com a abertura das primeiras pedreiras de rochas ornamentais para extração de grandes blocos de calcário e sienito, utilizados na construção das famosas pirâmides. Antes mesmo do nascimento de Cristo, já havia um comércio dessas rochas nos continentes da África, Europa e Ásia. A Itália, já na Idade Média era conhecida por seus mármore brancos de Carrara, vendendo-os para países como a Espanha e França. Contudo, foi no século XIX que a construção civil passou a utilizar em grande escala as rochas ornamentais, ocorrendo à extração de vários tipos de materiais em países da Europa como a Espanha, Portugal, Alemanha e França (MARBLE, 2002).

No Brasil, tem-se conhecimento do uso de rochas como revestimento, especialmente dos mármore importados da Europa (italianos e portugueses), desde o período colonial, o que se incrementou a partir da segunda metade do século passado.

No Estado do Ceará as atividades deste segmento foram iniciadas em 1982 e intensificadas a partir de 1987 através de trabalhos realizados pela Companhia Cearense de Mineração - CEMINAS - em parceria com o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, os quais resultaram na identificação dos primeiros jazimentos favoráveis à exploração técnico-econômica desses materiais (MELO & CASTRO 1989).

As rochas ornamentais são submetidas às mais variadas solicitações, tanto naturais como artificiais, que provocam desgaste, perda de resistência mecânica, fissuramento, manchas, eflorescência de sais, mudanças de coloração entre outras. A forma de evitar problemas com a utilização de rochas ornamentais, é a sua correta especificação diante dos usos pretendidos, respeitando-se as características tecnológicas dos materiais e sua adequação às condições ambientais. A caracterização das rochas deve ser realizada logo na etapa de pesquisa do jazimento e nessa fase já se deve ter conhecimento dos tipos de aplicações pretendidos, tendo como foco as rochas utilizadas em maior volume, os granitos.

Para que se obtenha um maior aproveitamento do material rochoso para fins ornamentais nas etapas de exploração, beneficiamento e aplicação, é necessário um conhecimento aprofundado nas características tecnológicas e petrográficas dos mesmos.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta resultados de análises petrográficas e de caracterização tecnológica de um ultramilonito, conhecido comercialmente como *Green Galaxy*, nos mapas geológico é denominado granito Tucunduba. Além dos ensaios físicos-mecânicos, a rocha foi submetida à quantificação da emissão do gás radônio.

Dar-se o nome de ultramilonito a uma Rocha cataclástica de textura fina, folheada resultante da "moagem" de rochas mais grosseiras ao longo de zonas de falhamentos sem considerável recristalização.

1.2 Problemática do Radônio nas rochas

A presença de gases nobres em minerais e rochas tem conduzido a diversos estudos sobre as migrações de isótopos radiogênicos nos solos, águas e ar, e de sua consequente contaminação no ambiente humano (BONOTTO, 1981).

A crescente utilização de rochas como materiais de revestimento em ambientes fechados, muitas vezes com pouca ventilação, portanto favoráveis a um efeito cumulativo ao longo dos anos deste gás altamente danoso à saúde humana por suas características cancerígenas, tem despertado a preocupação do setor para a quantificação e o conhecimento dos mecanismos de sua transferência para o ar (ANJOS et al. 2005; MOURA, 2005; MOURA et al. 2004; 2005; 2006; 2007a, b; 2011; AMARAL, 2011; AMARAL et al. 2012).

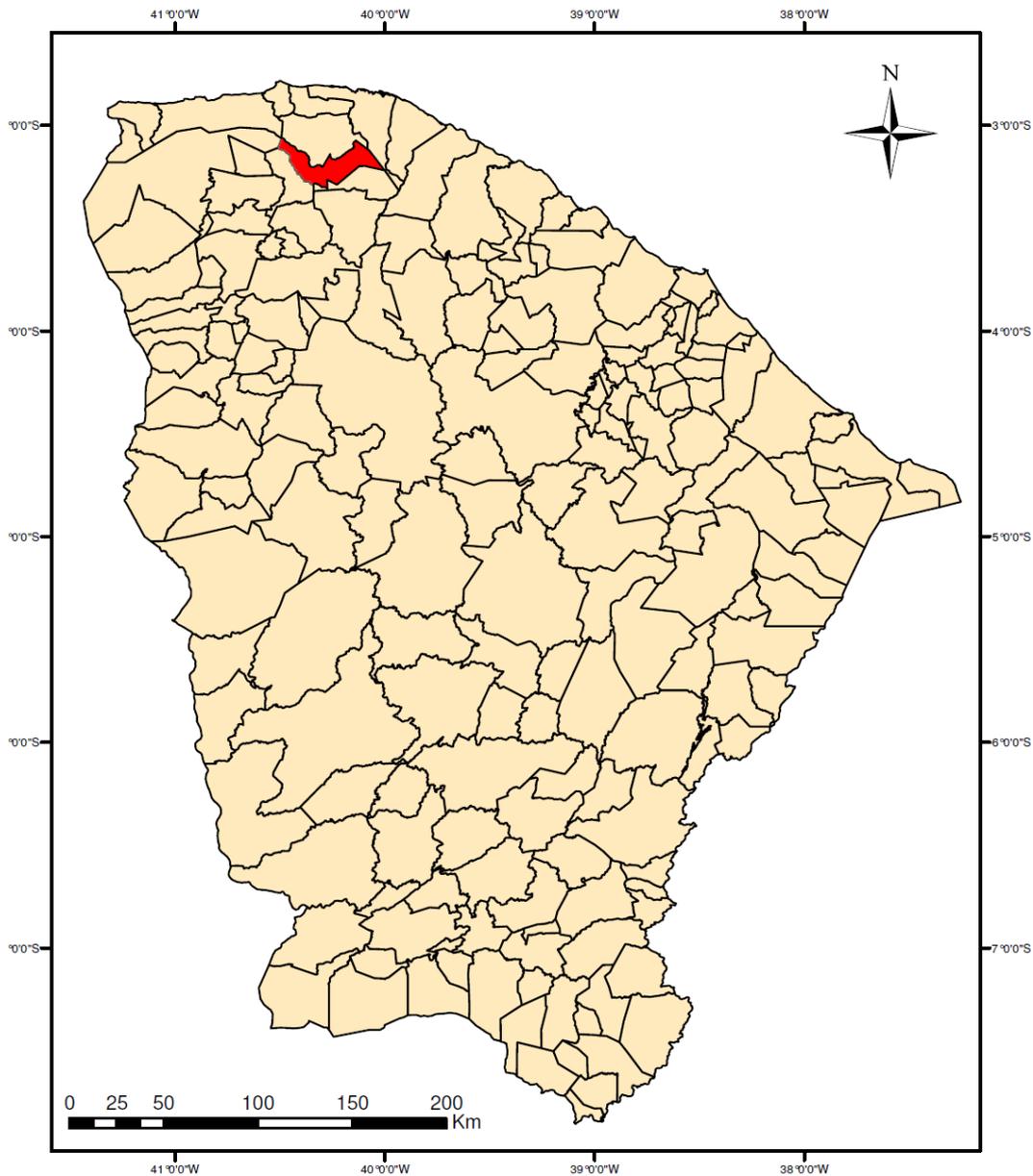
Trabalhos desenvolvidos nos últimos anos tem objetivado compreender o comportamento do radônio-222 em rochas ornamentais utilizadas em ambientes internos usando técnicas de detecção ativa e passiva (KHAN *et al.*, 1992; KUMAR *et al.*, 1999).

Neste contexto, o trabalho procura contribuir para um melhor entendimento do comportamento do gás ^{222}Rn na rocha selecionada.

1.3 Localização

A rocha escolhida para estudo está localizada na Serra de Tucunduba, Município de Marco com uma área de 574 km² que fica no noroeste do estado do Ceará, limitando-se com os municípios de Morrinhos, Acaraú, Senador Sá, Bela Cruz e Granja, distando aproximadamente 255 Km de Fortaleza. O município localiza-se na carta topográfica Bela Cruz (SA.24-Y-D-I). (Figura 1.1).

Figura 1.1 - Localização da área da rocha estudada:



Fonte: Elaborada pela autora

1.4 Objetivos

A dissertação tem como objetivo principal a caracterização tecnológica e as propriedades petrográficas (mineralogia; textura; estrutura; intensidade de microfissuramento) do Ultramilonito Tucunduba, bem como a quantificação da emissão do gás radônio presente na mesma.

Para a execução dos objetivos, foram cumpridas as seguintes etapas:

1. Caracterização tecnológica da rocha pela determinação de índices físicos (densidade, porosidade e absorção d'água), características físico-mecânicas (compressão uniaxial simples, resistência à flexão por 3 e 4 pontos, desgaste por abrasão – Amsler e resistência ao impacto de corpo duro) dando ênfase para os ensaios de compressão e flexão que foram submetidos ao congelamento gelo e degelo.
2. Análises petrográficas, voltadas a determinação da associação mineralógica, com definição da textura, estrutura, relação de contatos, grau de microfissuramento e grau de alteração mineral;
3. Quantificar a emissão do gás radônio por meio de determinações radiométricas, estabelecendo índices de radioatividade segundo os teores de urânio, tório e potássio radioativo e correspondentes taxas de emissão de radônio, correlacionando-os entre si e às principais características petrográficas, ensejando a possibilidade de uso como rocha ornamental em condições de ambientes fechados.

CAPITULO 2 - PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

2.1 Considerações Iniciais

Têm-se registro do uso de rochas ornamentais, desde o início da civilização. Exemplos ilustres são as pirâmides do Egito, as construções gregas, túmulos na Europa, Ásia e América, feitos de blocos de granito, mármore, arenito, etc. Os mais conhecidos são *Dolmenos* (França) e *Menhiros* (Alemanha, Inglaterra, Itália).

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas rochas lapídeas, rochas dimensionais, materiais de cantaria ou ainda materiais naturais de ornamentação e para revestimento incluem diferentes tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortadas em formas variadas e tendo suas faces beneficiadas através de esquadrejamento, polimento, lustro, apicoamento e flameamento (CHIODI FILHO, 1995).

A diversidade dos ambientes formadores das rochas gera padrões estéticos únicos a cada tipo de rocha, que podem ser ambientes sedimentares, magmáticos ou metamórficos, assim como a história evolutiva em diferentes períodos geocronológicos e estágios geotectônicos da crosta terrestre. Estes processos genéticos combinam dezenas de elementos químicos, centenas de minerais e infinitos padrões cromáticos resultantes, com diferentes intensidades de pressões e temperaturas, ao longo de milhões e até bilhões de anos de evolução (CHIODI FILHO, 2005).

2.2 Rochas Ornamentais no Brasil

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, traduzem a capacidade brasileira de transformar recursos minerais em negócios minero-industriais.

O Brasil está enquadrado no grupo dos grandes produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais e para revestimento. De acordo com dados da

ABIROCHAS (01/2013) a produção apresentada para o Brasil no ano de 2012 foi de 9,3 milhões de toneladas, 3,3% maior se comparada ao ano de 2011. (Tabela 2.1)

Segundo o Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais da ABIROCHAS do ano de 2013, as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento totalizaram US\$ 1.302,11 milhões, correspondentes a um volume físico comercializado de 2.725.628,78 toneladas. As rochas processadas compuseram 76,9% do faturamento e 47% do volume físico dessas exportações, tendo-se as rochas brutas com respectivamente 23,1% e 53,0%.

Tabela - 2.1 Produção - dados mundiais

Discriminação	Produção (10 ³ t)				
	Países	2010	2011	2012	%
Brasil		8.900	9.000	9.300	7,5
China		33.000	36.000	38.000	30,8
Índia		13.250	14.000	17.500	14
Turquia		10.000	10.600	11.500	9,3
Irã		8.500	8.500	7.000	5,7
Itália		7.800	7.500	7.250	5,9
Espanha		5.750	5.500	5.250	4,3
Egito		3.500	3.500	3.000	2,4
Portugal		2.750	2.750	2.750	2,2
Outros países		18.050	18.650	21.950	17,8
TOTAL		111.500	116.000	123.500	100,0

Fonte - ABIROCHAS 2013

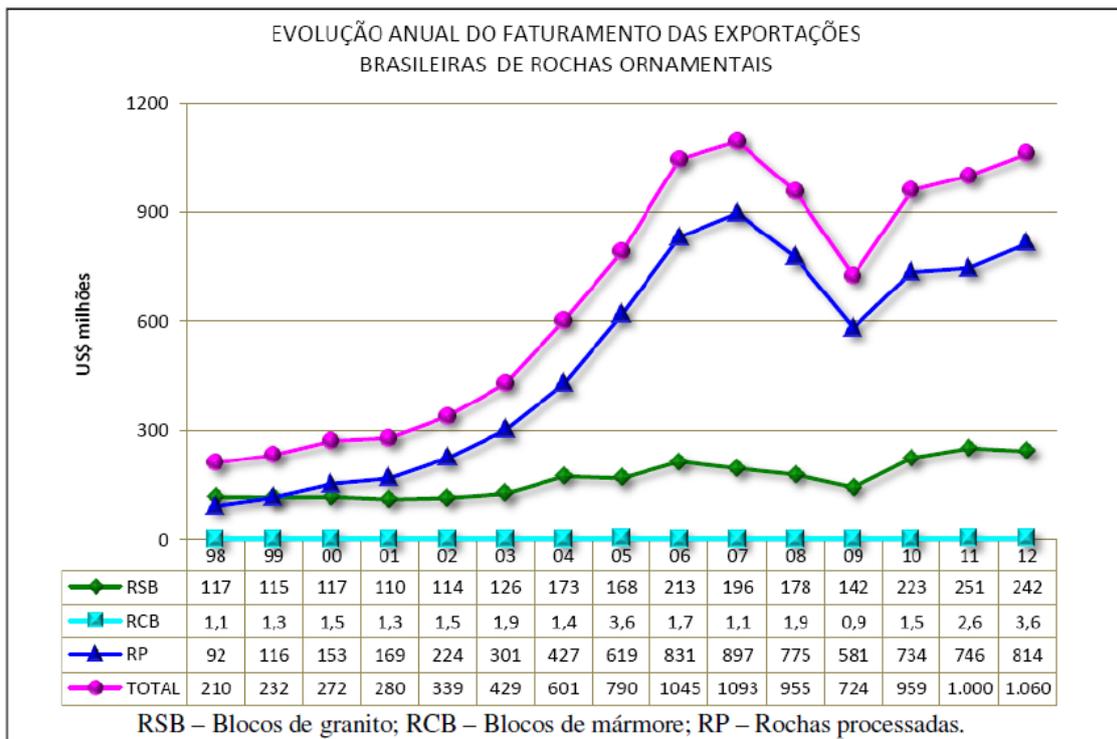
Conforme o Sumário Mineral do DNPM de 2013, A produção mundial estimada de rochas ornamentais atingiu em 2012, 123,5 Mt, com a China respondendo por cerca de 30,8%. O Brasil se posiciona em 4º no ranking mundial de produção, com 7,5%. Destaca-se o crescimento da produção da Turquia (+1278%) desde 1996 quando produzia cerca de 900.000 toneladas anuais de rochas. Neste mesmo período, o crescimento da produção brasileira foi da ordem de 400% e da China/Índia, 500%.

No Brasil, o consumo aparente de rochas em 2012 foi estimado em 6,64 Mt, impulsionado novamente pela manutenção do crescimento da construção civil e das obras de infraestrutura, atendendo também eventos como a Copa de 2014. Com base nas estimativas da Abirochas, a produção de chapas serradas atingiu o equivalente a 71,9 milhões de m² em 2012 (32,4 milhões de m² para granitos, 18 milhões de m² para mármore e travertinos, 4,3 milhões de m² para ardósias e 7,9 milhões de m² de quartzitos

foliados e maciços). Para outros tipos de rochas, estima-se 7,2 milhões de m² Para mármore importados, estima-se 1,4 milhão de m² e para materiais aglomerados, 0,7 milhão de m².

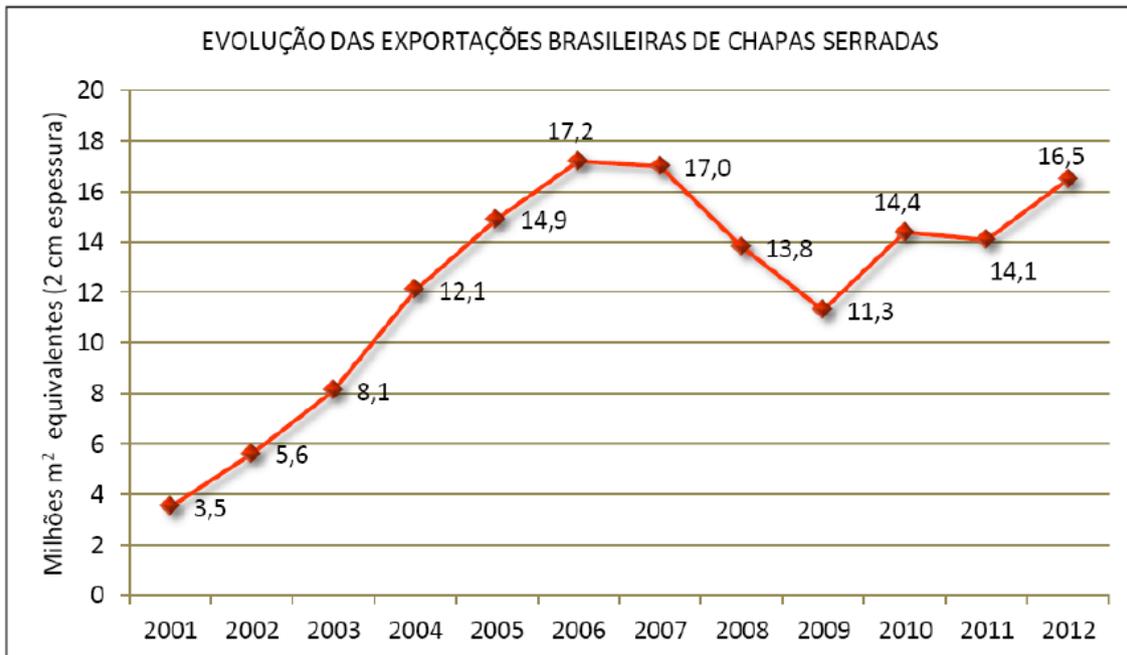
Apesar de o Brasil estar entre os grandes produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais e para revestimento, nos anos de 2007, 2008 e 2009 as exportações brasileiras sofreram queda, conforme os gráficos das Figuras 4.1 e 4.2 (ABIROCHAS, 01/2013), provocada pela crise imobiliária nos EUA e pelo desaquecimento da construção civil (ABIROCHAS, 18/2009). A partir de 2010 as exportações começaram a se recuperar, conforme as Figuras 2.1 e 2.2 (ABIROCHAS, 01/2013). Outro aspecto que pode ser levado em consideração foi a veiculação de notícias sobre a existência de problemas relativos aos níveis de radioatividade e particularmente de exalação de gás radônio nas rochas graníticas, materiais bastante utilizados para elaboração de bancadas naquele país.

Figura 2.1 – Evolução do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais de 1998 a 2012.



Fonte - ABIROCHAS, 01/2013

Figura 2.2 – Evolução das exportações brasileiras de chapas serradas de 2001 a 2012.



Fonte - ABIROCHAS, 01/2013

Apesar do setor das rochas ornamentais definir uma das mais promissoras áreas de negócio minero-industrial, representa um dos recursos naturais menos estudados da economia brasileira e que vem drasticamente, nos últimos anos, perdendo espaço no mercado internacional para a China, Índia e África do Sul. Trata-se, assim, de um setor que carece de estudos em praticamente todos os seus aspectos, incluindo pesquisas geológicas, lavra e controle dos jazimentos, beneficiamento, previsão no comportamento tecnológico, marketing e comercialização (CHIODI FILHO, 2003; CHIODI FILHO et al. 2004; CRESPO, 1991; CHIODI FILHO & RODRIGUES, 1999; FRASCÁ, 2003; MENDES, 2005; SALES & MORAIS, 2003).

2.3 Rochas Ornamentais no Ceará

No Estado do Ceará as atividades deste segmento foram iniciadas em 1982 e intensificadas a partir de 1987 através de trabalhos realizados pela Companhia Cearense de Mineração - CEMINAS - em parceria com o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, os quais resultaram na identificação dos primeiros jazimentos favoráveis à exploração técnico-econômica desses materiais (MELO & CASTRO 1989).

No contexto geológico, o embasamento cristalino do Ceará constitui cerca de 75% da área do estado que oferece condicionamento favorável à ocorrência de rochas ígneas e metamórficas com características ornamentais. Os tipos petrográficos explorados pelas pedreiras variam na composição mineralógica, desde granitos *sensu strictu*, passando por sienitos, gnaisses, charnockitos, dioritos, rochas básicas a ultrabásicas. As rochas calcárias e mármore propriamente ditos ocorrem em quantidade relativamente pequena. (HOLANDA *et all* 1999).

As principais fontes para rochas ornamentais e para revestimento do Estado do Ceará se devem à grande variedade de gnaisses e migmatitos do Pré-Cambriano (Arqueano e Paleoproterozóico), além dos batólitos e *stocks* graníticos Neoproterozóicos (alguns anorogênicos). Não menos importantes, porém menos antigas, pertencentes ao período Cretáceo, são as bacias sedimentares com rochas calcárias das regiões do Cariri e do Apodi (MATTOS, 2005).

2.3.1 Reservas Minerais e Produção de Rochas Ornamentais no Estado do Ceará

Conforme os dados do Anuário Mineral Brasileiro, fornecido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral DNPM/CE (2010), as reservas minerais do Estado do Ceará referentes ao ano de 2009 totalizam uma reserva medida de 4.481.966.892t, reserva indicada de 2.969.893.468t, reserva inferida de 3.852.605.713t, reserva lavrável de 2.196.552.253t, entre substâncias metálicas e não-metálicas. A reserva de Rochas Ornamentais ocupa o segundo lugar, estando abaixo apenas das reservas de Calcário conforme apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Reservas minerais do Ceará por classe e substância referente ao ano de 2009

CLASSE/SUBSTÂNCIA	RESERVAS (t)			
	Medida	Indicada	Inferida	Lavrável
Metálicos				
Ferro	7.244.469	17.729.278	-	7.217.032
Manganês	249.995	68.275	-	-
Não-Metálicos				
Ardósia	92.000	2.430.000	-	-
Areia	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Areia industrial	18.546.701	3.444.066	1.824.269	16.005.662
Arenito ornamental	145.855	-	-	-
Argilas comuns	86.633.460	35.637.062	643.869	4.750.784
Calcário (rochas)	2.727.367.708	2.040.720.517	1.488.113.237	1.624.750.940
Calcita	1.380.000	-	-	1.380.000
Diatomita	353.889	-	-	50.000
Feldspato	98.534	27.411	-	-
Filito	11.663.593	-	-	-
Fosfato(P2O5)	5.698.550	-	-	-
Gipsita	4.524.237	-	-	49.274
Grafita	60.000	-	-	60.000
Leucita e Nefelina - Sienito	17.526.338	4.625.000	670.000	1.747.988
Magnesita	75.518.951	53.430.110	134.750.000	86.954.369
Mica	10.812	3.007	-	-
Quartzo Ornamental	197.587	24.408	-	-
Quartzo	525.197	27.535	40.470	n.d.
Rochas (britadas) e cascalho	n.d.	n.d.	n.d.	-
Rochas Ornamentais - outras	583.392	-	-	251.163.697
Rochas Ornamentais - (granitos e afins)	1.120.753.581	504.469.871	1.251.849.089	196.503.412
Rochas Ornamentais (mármore e afins)	396.448.885	327.484.481	974.714.779	5.463.258
Tufo Vulcânico	5.463.158	-	-	-

Fonte: (ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO – 2010/DNPM)

A produção bruta de minério (quantidade da produção vendida, consumida ou transferida para industrialização) referente ao ano de 2009 ultrapassou 50.000t e a produção beneficiada superou 40.000 t. A de rochas ornamentais totalizou 52.327t da substância bruta e 42.064 da substância beneficiada como mostra a Tabela 2.3 a seguir:

Tabela 2.3 – Produção mineral comercializada (*), bruta e beneficiada, de acordo com a classe e substância referente ao ano de 2009.

CLASSE/SUBSTÂNCIA	Bruta	Beneficiada
Metálicos		
Ferro	62.098 t	-
Ouro (secundário)	-	146 Kg Au
Não-Metálicos		
Água Mineral		205.061x10 ³ L
areia	7.964.105 t	-
Areia industrial	141.088 t	-
Argilas comuns	1.362.900 t	-
Calcário (rochas)	818.398 t	2.014.296 t
Magnesita	84.370 t	13.844 t
Mica	1.188 t	-
Rochas (britadas) e cascalho	1.750 t	5.632.804 t
Rochas Ornamentais - outras	672 t	-
Rochas Ornamentais (Granitos e afins)	47.517 t	1.504 t
Rochas Ornamentais (Mármore e afins)	4.138 t	40.560 t
Saibro	365.479 m ³	-
Sal Marinho	62.000 t	-
Tufo Vulcânico	104.861 t	-

Fonte - (ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO – 2010/DNPM).

(*) Quantidade da produção vendida, consumida ou transferida para industrialização.

2.3.2. Mercado

Fernandes (2004) considera que o Ceará surgiu de modo mais importante no mercado nacional a partir de 1994, com as principais jazidas de rochas ornamentais, perfazendo 85% da extração de granitos, situados principalmente na porção noroeste do Estado. Na parte Sul localizam-se as jazidas de calcário laminado (Pedra Cariri).

O mercado no Ceará encontra-se em constante ascensão. Possui aproximadamente 60 tipos de rochas ornamentais, destacando-se por sua diversidade. Atualmente estão sendo exportados os seguintes materiais: Granitos Branco Ceará, Branco Ártico, Golden Ártico, Verde Pantanal, Pantanal Light, e Rain Forest, Red Dragon, Golden Fóssil, Juparaná Fantástico, Ju Bordeaux, Bordeaux Terracota, Juparaná Montiel, Juparaná Leight e Green Galaxy (Material em estudo), além dos calcários sedimentares (Bege Capri, San Marino e Blue Marine. A exportação para a China já representa 35% de todo o “granito” exportado pelo Ceará. A expectativa do setor é que,

nos próximos anos, este país asiático ocupe a liderança nesse mercado importador, deixando para trás países como Itália, Alemanha e Portugal, nossos principais compradores de granito.

Segundo DNPM/CE (2004), a produção mensal de blocos de rochas gira em torno de 4.500 m³/mês, destacando-se o Granito Branco Ceará com cerca de 37% da produção estadual. A produção de Pedra Cariri (calcário laminado) gira em torno de 2.500 m³/mês. Em relação a Pedra Cariri, foram cadastradas pelo DNPM/CE cerca de 272 frentes de extração de Pedra Cariri nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri (sul do Ceará).

Em conformidade com os dados da Federação das Indústrias do Estado do Ceará – FIEC (2012), os principais países-destinos das exportações do Estado do Ceará são Estados Unidos, Itália, China, Canadá e Austrália. (Tabela 2.4)

Tabela 2.4- Principais Países-Destino das Exportações Cearenses no Setor de Rocha Ornamental Período: Janeiro a Dezembro. (Valores em US\$ FOB)

Países	2013	2012	Var (%)
Estados Unidos	6.217.559	4.500.478	38,2 +
Itália	4.908.761	4.288.321	14,5+
China	2.098.869	1.107.604	89,5+
Canadá	1.916.996	1.910.123	0,4+
Austrália	215.633	-	-
Demais países	629.171	677.763	7,2 -
Total Exportado CE	15.986.989		28,1+
Total de países	16	9	77,8+

Fonte: Secex/MDIC/FIEC (2012)

As exportações cearenses de rochas ornamentais somaram US\$ 13.414.911 no ano de 2011 e US\$ 12.484.262 em 2012, registrando uma queda da ordem de 6,9% no faturamento, de 2011 para 2012, como mostra a Tabela 3.5. Ultrapassaram as do Estado da Bahia no ano de 2012 (FIEC, 2012), posicionando o Estado do Ceará com 4º maior estado exportador brasileiro de rochas ornamentais, atrás do Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo, transformando-se no maior estado exportador fora da região sudeste.

Tabela 2.5 – Balanço das exportações/importações cearenses de rochas ornamentais no período de 2003 a 2012

Ano	Valor Exportado (US\$)	Valor importado (US\$)	Comércio Corrente (US\$)	Saldo Comercial (US\$)
2003	6.391.164	73.635	6.464.799	6.317.529
2004	12.204.885	276.134	12.481.019	11.928.751
2005	6.786.969	346.624	7.133.320	6.440.072
2006	12.561.535	225.710	12.787.245	12.335.825
2007	11.212.392	219.940	11.432.332	10.992.452
2008	11.589.939	401.967	12.000.906	11.196.972
2009	9.820.937	363.390	10.184.327	9.457.547
2010	14.719.049	1.030.161	15.749.210	13.688.888
2011	13.414.911	1.058.877	14.473.788	12.356.034
2012	12.484.262	1.204.089	13.688.351	11.280.173

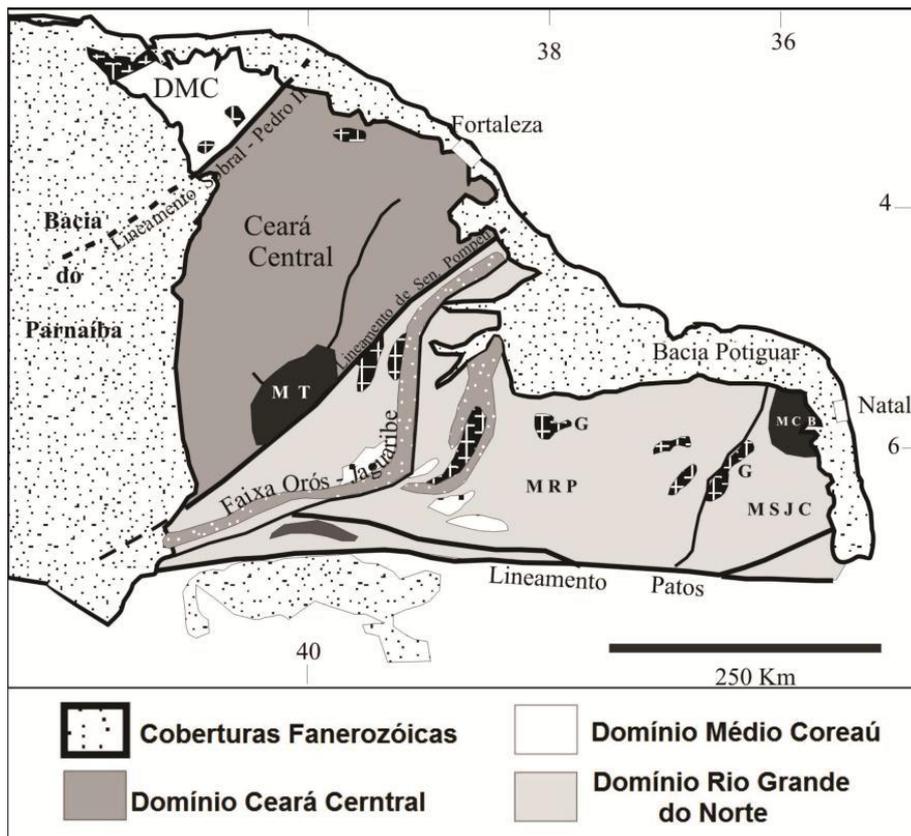
Fonte: Secex/MDIC/FIEC (2012)

CAPITULO 3 - CONTEXTO GEOLÓGICO

A rocha em estudo, encontra-se inserida no contexto geológico da Província Borborema, denominada assim primeiramente por Almeida *et al.* (1977). Segundo Santos *et al.* (2007) uma província é um retalho de terrenos de diferentes litologias, separados por falhas e lineamentos importantes.

A Província Borborema, recentemente dividida em domínios geotectônicos neoproterozóicos, é formada por blocos crustais amalgamados durante a orogênese brasileira (SANTOS *et al.*, 2001). A porção norte desta Província, circunscrita acima do Lineamento Patos, é subdividida em três grandes Domínios, a saber: Médio Coreau, Ceará Central e Rio Grande do Norte (BRITO NEVES, 2000) (figura 3.1). A rocha estudada está inserida dentro do **Domínio Médio Coreau (DMC)**.

Figura 3.1 - Domínios geológicos da porção norte da Província Borborema (modificado de Fetter, 1999)



Fonte: Santos, Nogueira Neto e Fetter (2001)

3.1. Domínio Médio Coreaú (DMC)

O Domínio Médio Coreaú - **DMC** situa-se na parte noroeste do Estado do Ceará e nordeste do Estado do Piauí, está limitado entre a margem retrabalhada do Cráton São Luís - Oeste Africano e o Lineamento Transbrasiliano (BRITO NEVES; DOS SANTOS; VAN SCHMUS, 2000). Para Santos *et al.* (2008) representa a margem noroeste da Província Borborema, compreendendo um cinturão colisional Brasileiro/Panafricano formado durante a aglutinação do Gondwana oeste. O limite leste com o Domínio Ceará Central é marcado pelo lineamento Sobral-Pedro II.

No final do século XX, o DMC era referido como a “Faixa de Dobramentos do Médio Coreaú” (Brito Neves, 1975) e representa, ainda hoje, uma das áreas geologicamente mais espetaculares do Ceará e do NE do Brasil (TORQUATO & NOGUEIRA NETO, 1996).

Segundo (TORQUATO & NOGUEIRA NETO, 1996) a Região de Dobramentos do Médio Coreaú é caracterizada por um elevado grau de heterogeneidade, devido à multiplicidade de origens e idades dos terrenos que a constituem. Podem distinguir-se seis unidades litoestratigráficas principais no DMC: (1) O Complexo de Granja, correspondendo a uma porção afetada por metamorfismo de médio a alto grau; (2) o Grupo Martinópole; (3) o Grupo Ubajara; (4) Granitos Brasileiros; (5) o Grupo Jaibaras e; (6) as Coberturas Sedimentares (SANTOS *et al.*, 2001).

3.1.1. Complexo Granja

O Complexo Granja representa o embasamento do **DMC**, segundo Santos *et al.* (2001) através de dados em campo, geocronologia Rb/Sr, associados a estudos geoquímicos e petrográficos o Complexo Granja pode ser dividido em três sequências. Deste modo, tem-se a Sequência I, representada por uma suíte de rochas com afinidade tonalítica-trondhjemítica-granodiorítica (TTG); a Sequência II, composta de granulitos, kondalitos e kinzigitos e; Sequência III, formada por migmatitos.

De acordo com Torquato & Nogueira Neto (1996), os diferentes litotipos do Complexo Granja são subdivididos em duas grandes unidades:

1 - Ortognaisses de composição diorítica, tonalítica e granodiorítica, correspondendo à sequência TTG definida por Santos (1999) e Santos *et al.* (2001) e;

2 - A Faixa Granulítica de Granja, representada por gnaisses enderbíticos, enderbitos gnáissicos, gnaisses charnoquíticos, granulitos máficos e “*khondalitos*” (gnaisses com silimanita e granada). Além das duas unidades anteriores, os autores referem ainda a presença de migmatitos (metatexitos e diatexitos).

Segundo Nogueira Neto (2000), as rochas da Faixa Granulítica Granja (gnaisses com silimanita e granada, gnaisses enderbíticos, enderbitos e granulitos máficos), conjuntamente com os ortognaisses TTG e a fácies gnáissico-migmatítica, representam terrenos pré-brasilianos retrabalhados. Os resultados geocronológicos obtidos idades (TDM, U/Pb e Pb/Pb) convergem para o posicionamento destas unidades no Paleoproterozóico, entre 2.3 e 2.1 Ga (FETTER, 1999; NOGUEIRA NETO, 2000; SANTOS *et al.*, 2001).

3.1.2. Sequência Vulcânica Saquinho

Esta unidade compreende rochas vulcânicas félsicas a intermediárias incluindo traquiandesitos, riolitos, brechas vulcânicas e tufos (SANTOS *et al.*, 2002, SANTOS *et al.* 2008).

A idade U/Pb obtida por Santos *et al.* (2002) em zircões de um metariolito (1785 ± 2 Ma) foi interpretada como uma idade de cristalização e permitiu datar a deposição da sequência do Paleoproterozóico tardio. Para muitos autores, este complexo formou-se durante um evento extensional do Paleoproterozóico, a tafrogénese Estateriana (BRITO NEVES *et al.*, 1995b; MAGINI *et al.*, 1999).

3.1.3. Grupo Martinópolis

O Grupo Martinópolis (GM) representa a primeira sequência supracrustal de idade neoproterozóica aflorante no DMC. Brito Neves nomeou o grupo (1975), em seguida Prado *et al.* (1981) subdividem o Grupo Martinópolis nas três formações clássicas:

- Santa Terezinha constituída por filitos,
- Covão formada essencialmente por xistos e
- São Joaquim onde os quartzitos são os principais litotipos e colocam-no no Proterozóico Médio.

Santos *et al.* (2004, 2007, 2008) propõem a inclusão de mais uma formação (Goiabeira) na porção basal da sequência. Litologicamente, a Formação Goiabeira é formada por metapelitos de médio a alto grau metamórfico (com muscovita-clorita, granada-clorita, estaurolita, distena) e, em menor proporção, paragnaisses quartzofeldspáticos (Santos *et al.*, 2008). Segue-se a Formação São Joaquim, composta essencialmente por quartzitos, de composição mineralógica variável nos quais se intercalam rochas calcissilicáticas e rochas félsicas vulcânicas. A Formação Covão é dominada por metapelitos com muscovita + quartzo + Sericita + clorita, interestratificados com finas bandas quartzíticas (metadiamicritos). Por último, a Formação Santa Terezinha é constituída por metapelitos e metacarbonatos (metadolomitas, calcários e mármore) com intercalações de metagrauvas, quartzitos e rochas metavulcânicas félsicas (SANTOS *et al.*, 2008).

As idades U/Pb obtidas em zircões dos metavulcanitos do GM forneceram idades neoproterozóicas ($808 \pm 7,8$ Ma.) e permitiram datar esta sequência (FETTER *et al.*, 1995; SANTOS, 1999).

Fetter *et al.* (2003) sugerem que o GM poderá corresponder ao enchimento de uma bacia frontal, instalada na periferia de um arco magmático continental, no Neoproterozóico. Para estes autores, o complexo batolítico de Santa Quitéria, localizado no SE do DCC, poderia representar o arco magmático continental.

3.1.4. Grupo Ubajara

O Grupo Ubajara foi descrito primeiramente por Small (1914) como sendo composto de folhelhos, calcários e arenitos. Posteriormente esse grupo foi chamado de Grupo Bambuí e foi subdivido em quatro unidades por Mabassone, Beurlen, Rand (1971) e Costa *et al.* (1973), sendo estas Formação Coreá (composta por grauvas, arcóseos, arenitos finos e hornfels), Formação Freicheirinha (composta por calcários e hornfels), Formação Caiçaras (composta por ardósia, quartzito e hornfels) e Formação Trapiá (composta por arenito, siltito, siltito filitoso e hornfels).

No seu conjunto, estas formações parecem ter-se acumulado num ambiente deposicional de plataforma proximal, de carácter flúvio-marinho (Santos *et al.*, 2001, 2004, 2007, 2008). Supõe-se ainda que a bacia em que se depositou a Faixa Martinópole-Ubajara foi posteriormente deformada durante o evento orogénico Brasileiro, como

sugerem os dados radiométricos Rb/Sr obtidos por Novais *et al.* (1979) numa fracção argilomineral das ardósias da Formação Caiçaras (610 Ma).

3.1.5. Granitóides

Diversas intrusões de corpos graníticos ocorrem no Domínio Médio Coreauá, estes corpos estão representados segundo Santos (1999) pelos batólitos graníticos de Meruoca, Mucambo, Chaval e Tucunduba. Dois desses granitos (Chaval e Tucunduba) foram afetados pela deformação Brasileira (SANTOS *et al.*, 2008).

Uma dessas intrusões é a da rocha em estudo (Batólito Tucunduba), situada no meio de duas falhas, sendo a principal denominada de falha água branca, próximo ao município de Senador Sá (figura 3.2).

A história evolutiva destes magmas está intimamente relacionada com o padrão de desenvolvimento tectónico da orogénese e permite reconhecer dois grandes grupos de intrusões: *sin*-cinemáticas e pós-cinemáticas (SANTOS *et al.*, 2007).

Os batólitos de Chaval e Tucunduba mostram sinais de terem sido afetados pela deformação brasileira, ou seja, apresentam uma foliação concordante com as estruturas regionais e um carácter *sin*-cinemático bem marcado (Santos *et al.*, 2008).

As datações obtidas pelos métodos Rb/Sr em rocha total e U/Pb em monazita ou zircão são de 507 ± 27 Ma (Rb/Sr – rocha total; Nogueira Neto *et al.*, 1989) e de 591 ± 10 Ma (U/Pb – monazita; Fetter, 1999) para o maciço de Chaval e de 563 ± 17 Ma (U/Pb – zircões: SANTOS *et al.*, 2007) para o maciço de Tucunduba (rocha em questão).

Os corpos graníticos de Meruoca e Mucambo não se encontram deformados e parecem constituir os testemunhos mais representativos do plutonismo pós-tectónico que ocorreu no DMC (SANTOS *et al.*, 2008).

3.1.6. Grupo Jaibaras

A Bacia de Jaibaras corresponde a uma depressão com 10-20 km de largura e 120 km de extensão, que foi preenchida por materiais sedimentares do Fanerozóico inferior (OLIVEIRA, 2000). Segundo Santos (1999), a Bacia é a área da Província Borborema e da Província Nigeriana, em que estas sequências estão melhor representadas.

Segundo Cavalcante *et. al.* (2003), este grupo é constituído da base para o topo pelas seguintes formações:

- Formação Massapê: são ortoconglomerados brechóides, de matriz arenoarcoseana cinzenta, com seixos de gnaisses, granitóides, quartzitos, filitos e arenitos, em contatos transicionais com a Formação Pacujá caracterizando um ambiente fluvial;
- Formação Pacuja: é constituída por arenitos líticos e arcoseanos, micáceos e de granulometria variável, folhelhos e siltitos vermelhos, micáceos, leitos conglomeráticos; cores escura, roxo-avermelhada; estratificação planoparalela e laminação; metamorfismo de baixo grau caracterizando um ambiente fluvial;
- Formação Parapuí: compreende basaltos (em parte amigdaloidais/ vesiculares e/ou espilitizados/queratofirizados), andesitos, riolitos (com fases porfiríticas e ignimbríticas), gabros, diabásios e dacitos, somando-se seções marcadas por associações vulcano-vulcanoclástica e piroclástica (com bombas e lapílis);
- Formação Aprazível: ortoconglomerados grossos e polimíticos, com matriz arcoseana e, normalmente, sem acamamento caracterizando um ambiente fluvial.

A datação da Formação Pacujá pelo método Rb/Sr (rocha total) forneceu uma idade de 535 ± 27 Ma (NOVAIS *et al.*, 1979), que tanto pode ser interpretada como uma idade da sedimentação, como do anquimetamorfismo associado ao soterramento posterior.

As idades K/Ar obtidas em amostras da Formação Parapuí (510 e 480 Ma) parecem corresponder a idades de arrefecimento. Os dados isotópicos Rb/Sr – rocha total para os diques que afloram na periferia da Bacia Jaibaras permitiram datar a sua cristalização aos 580 Ma (NOVAIS *et al.*, 1979) e aos 562 ± 19 Ma (SIAL & LONG, 1987).

3.1.7. Grupo Riacho do Sairi

Segundo Cavalcante *et. al.* (2003), o Grupo Riacho Sairi é constituído da base para o topo pelas seguintes formações:

- Formação 1: conglomerados polimíticos com seixos de quartzitos, granitóides, gnaisses e filitos, de matriz areno-arcoseana cinzenta em contatos

transicionalinterfaciais com a Formação 2 caracterizando um ambiente fluvial com trato proximal;

- Formação 2: arenitos quartzosos, arcoseanos, líticos e micáceos, de granulometria diversificada, matriz quartzo feldspática e cimento silicoso e ferruginoso; tonalidades escura, roxo-avermelhada e, subordinadamente, cinza-esverdeada e creme; estratificação plano-paralela, marcas de ondas e laminação, caracterizando um ambiente fluvial com tratos distais.
- Formação 3: ortoconglomerados polimíticos, geralmente de matriz areno feldspática sem acamamento marcante, caracterizando um sistema fluvial.

3.1.8. Grupo Barreiras

Originalmente essa unidade foi determinada como Formação Barreiras por Kendel (1957 apud ANTUNES 2004), ainda segundo Antunes (2004), essa unidade foi redefinida e promovida a Grupo Barreiras por de Mabeoone et al. (1972), sendo subdividida nas Formações Serra dos Martins, unidade basal representada por coberturas remanescentes no interior continental, Guararapes e Macaíba, sendo essas duas últimas presentes no litoral do Nordeste, onde cada uma delas seria separadas entre si através de discordâncias e cada uma delas apresentaria perfis de intemperismo típicos.

Antunes 2004 também cita Morais Neto (1999) onde identifica que esta unidade compreende depósitos de arenitos médio a grossos, argilosos, com intercalações de níveis conglomeráticos, argilitos e folhelhos, embora sejam raros e que comumente apresentam-se caulinizados e laterizados no topo.

3.2. Estrutura

Segundo Brito Neves *et al.* (2000), a estruturação atual da Província Borborema resulta da sobreposição de estruturas geradas em dois ciclos tectônicos distintos:

- 1 - O Ciclo Cariris Velhos do Mesoproterozóico tardio;
- 2 - O Ciclo Brasileiro do Neoproterozóico tardio.

O termo Cariris Velhos tem sido aplicado a uma faixa móvel Eoneoproterozóica, que faria parte integrante do cinturão mundial de orógenos

grenvillianos associados à fusão do Supercontinente Rodínia (BRITO NEVES *et al.*, 1995a; BRITO NEVES *et al.*, 2001).

Uma das características mais marcantes da evolução neoproterozóica na Província Borborema é o desenvolvimento de numerosas zonas de cisalhamento dúctil, de escala continental, às quais se associam cinturões miloníticos e ultramiloníticos, de dezenas a centenas de metros de extensão, com lineações de estiramento quase horizontais (VAUCHEZ *et al.*, 1995; ARTHAUD, 2008). Com base na tipologia destes acidentes, Vauchez *et al.* (1995) subdividem a Província em dois grandes domínios:

1 - O Domínio Ocidental, abrangendo essencialmente o Estado do Ceará, em que predominam zonas de cisalhamento dextros de direcção NE-SW, como é o caso das zonas de cisalhamento de Granja (ZCG), Sobral (ZCS), Senador Pompeu (ZCSP), Tatajuba (ZCTT) e Potengi (ZCPi) (Figura 3.2);

2 - O Domínio Oriental, incluindo os Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, dominado por zonas de cisalhamento sinuosas e descontínuas, com direcção E-W.

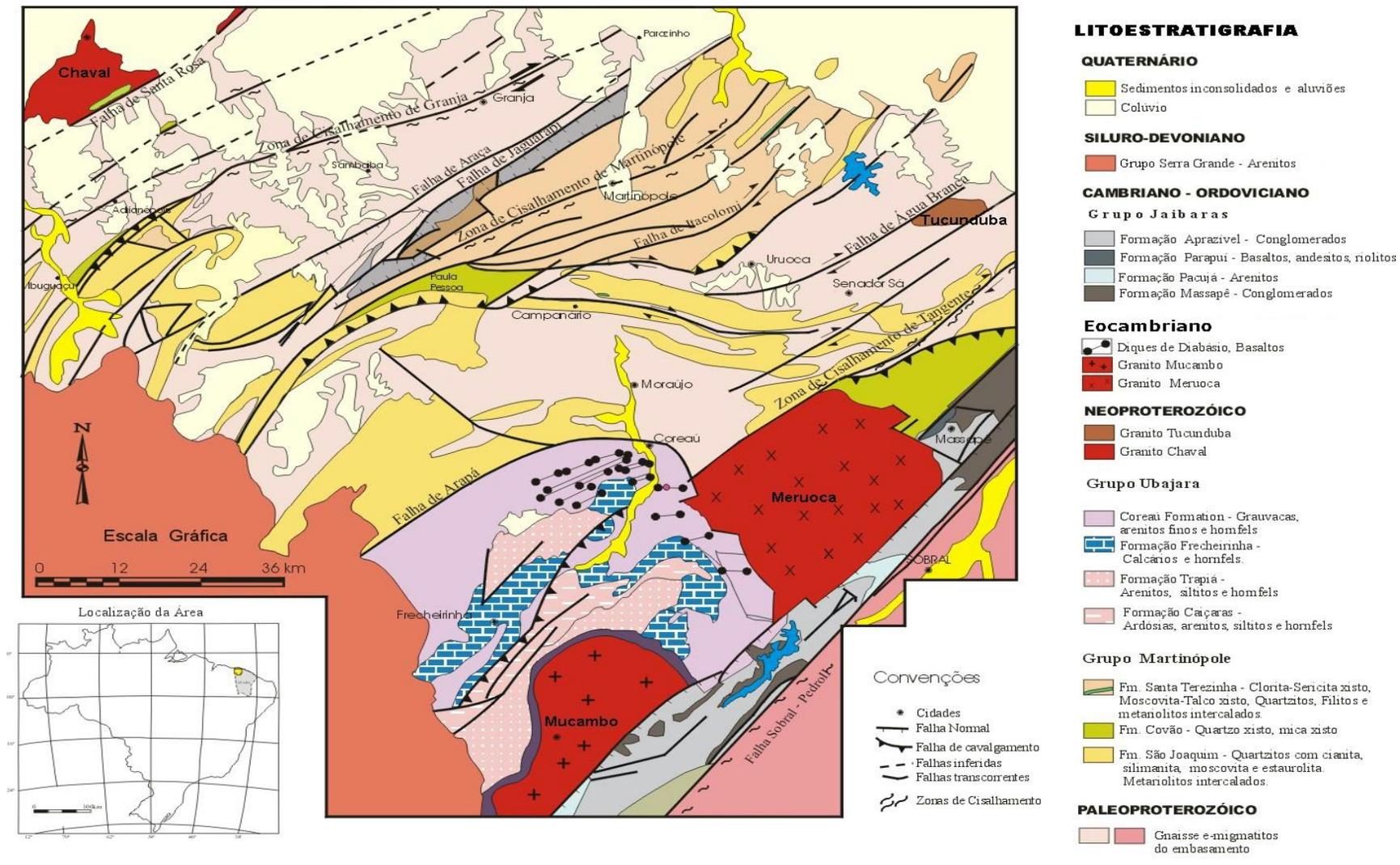


Figura 3.2 - Mapa geológico regional e de localização do granito Tucunduba (modificado de Cavalcante & Ferreira 1983).

CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para o alcance de um resultado eficiente, levando em consideração a obtenção dos objetivos propostos desta pesquisa, adotou-se uma metodologia abrangendo etapas de gabinete, campo e laboratoriais, que se encontram apontadas a seguir.

4.1 Materiais

Foi escolhido um tipo de rocha para fins ornamentais e/ou revestimento, conhecida comercialmente como *Green Galaxy*. Posteriormente foi selecionado em campo o material para confecção dos corpos-de-prova como também foi acionada uma empresa do setor (IMARF granitos), que disponibilizou amostras da rocha em forma de placas polidas para obtenção dos ensaios de impacto ao corpo duro e resistência a flexão em três e quatro pontos. As amostras coletadas foram encaminhadas para o Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro onde foram confeccionados os corpos-de-prova para a realização dos ensaios tecnológicos.

4.2 Métodos

4.2.1 Levantamento Bibliográfico

Com a pesquisa bibliográfica adquiriu-se informações acerca do contexto geológico, histórico de produção (extração e comercialização), caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento, localização, acesso, da área de estudo especificamente no que diz respeito à rocha, que se trata de um ultramilonito, comercialmente conhecida como “*Green Galaxy*”. Esses instrumentos de informação deram condições para que fossem realizadas as primeiras avaliações quanto à execução do trabalho.

4.2.2 Trabalhos de campo e coletas de amostras

O trabalho de campo apresentou como principal finalidade a realização da coleta de amostras representativas da rocha em estudo, para a realização das análises de índices físicos, físico-mecânicas, petrográficas e radiométricas afim de indicar possíveis utilizações do material como rocha ornamental. Foram extraídos quatro blocos do ultramilonito medindo aproximadamente 30x40x30 cm para a confecção dos corpos-de-prova.

4.2.3 Análises Petrográficas

As análises petrográficas foram feitas em amostras representativas, tanto na fração mais milonítica como nas porções onde se identificava os minerais a vista desarmada. Seguiu-se a norma ABNT NBR 15845:2010 (ANEXO A), assim como as orientações presentes em NAVARRO (1998), RODRIGUES *et al.* (1996, 1997).

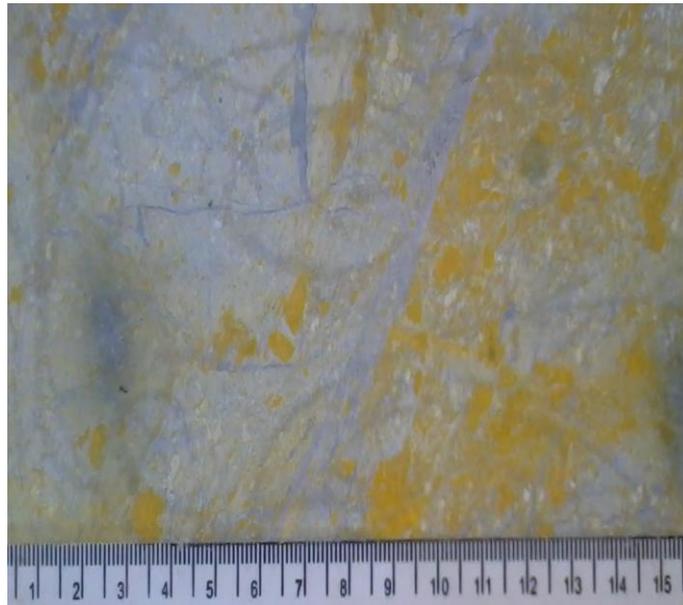
Nesta etapa, buscamos analisar e quantificar os aspectos e/ou parâmetros composicionais, texturais e estruturais, como tamanho absoluto e relativo dos minerais, forma dos minerais, relações de contatos entre os cristais, tipos e graus de alteração e de microfissuramento mineral.

4.2.3.1. Quantificação mineralógica

Ao se analisar a composição modal das rochas levou-se em consideração seus aspectos texturais visando uma melhor precisão na classificação petrográfica dos materiais estudados.

Deste modo, a porcentagem modal da rocha foi determinada através da contagem dos minerais em lâminas delgadas, a contagem macroscópica de minerais félsicos, foi feita através da técnica de colorimetria (conforme técnica descrita por MORAIS e RODRIGUES, 1978), que consiste no ataque da superfície de placas polidas com ácido fluorídrico seguido por tratamento com cobalto nitrito de sódio, que permitiu a distinção entre feldspatos potássicos (que ganharam a cor amarela), cálcio-sódico (que apresentaram baixa alteração do padrão cromático) e o quartzo (que não apresenta nenhuma mudança cromática) como se pode visualizar na figura 4.1. A determinação percentual entre os referidos minerais é obtida fazendo uso de uma malha de pontos com espaçamento que varia de acordo com a granulação da rocha.

Figura 4.1 - Ilustração do método de coloração seletiva ou colorimetria



Fonte - Elaborada pela autora.

4.2.3.2. Classificação das rochas em relação aos aspectos texturais/tamanho relativo dos cristais:

Quanto à relação ao tamanho relativo dos cristais as rochas foram classificadas em:

- *Equigranulares*: textura de rochas onde os grãos minerais têm o mesmo tamanho ou com uma pequena variação relativa;
- *Inequigranulares*: textura de rochas onde os cristais apresentam diferenças de tamanhos de até 1:10, de forma que os minerais maiores não sobressaiam em relação aos menores;
- *Porfíricas* textura da rocha que apresenta megacristais no mínimo cinco vezes maior que a média da matriz, destacando-se visivelmente da matriz;

Quanto à granulação dominante as rochas, classificaram-se em:

- *Fina*: diâmetro médio predominante dos cristais inferior a 1,0 mm;
- *Granulação média* – entre 1,0 e 10,0mm que foi dividida em:
 - *Fina-média*: diâmetro médio predominante entre 1 e 3 mm;
 - *Média*: diâmetro médio entre 3 e 7 mm;
 - *Média-grossa*: diâmetro médio entre 7 e 10 mm

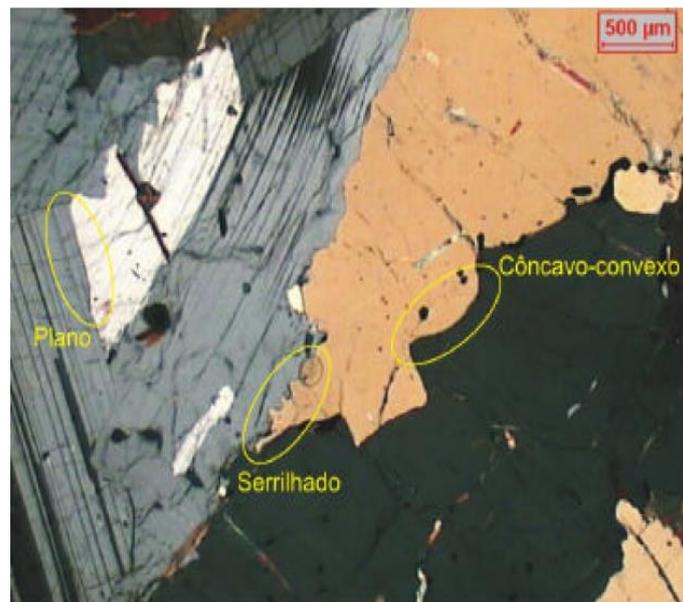
- *Grossa*: diâmetro médio acima de 10,0mm

Quanto a relação dos contatos entre os minerais verificados em microscópico, foram classificados em três tipos básicos:

- *Contato plano*;
- *Côncavo-convexo*
- *Serrilhado*.

Cada tipo é quantificado de acordo com a média das contagens executadas em microscópio óptico, cujo aumento é determinado de acordo com a granulação da rocha: aumento de 4x para as rochas com granulações média/grossa e de 10x para as de granulações mais finas (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Tipos de contatos minerais considerados para avaliação qualitativa (baseado em CASTRO DORADO, 1988 e HIBBARD, 1995)



Fonte - NAVARRO, 2006

Quanto ao grau de alteração mineral.

O grau de alteração observado em microscópio óptico foi quantificado para cada mineral passível de alteração, tais como plagioclásio (saussuritização; sericitização; epidotização; transformação para carbonatos), feldspato potássico (sericitização; argilominerais) e minerais máficos (cloritização; epidotização; bastitização;

transformações para óxidos e hidróxidos). De acordo com a intensidade das alterações das rochas foram classificados em:

- Grau de alteração intenso >60% da rocha alterada
- Grau de alteração moderado 30 a 60% da rocha alterada
- Grau de alteração incipiente <30% da rocha alterada
- Ausente 0% rocha sem alteração

4.2.3.3. Classificação da densidade das Microfissuras.

O microfissuramento mineral foi expresso em número de microfissuras por mm², equivalente a média das contagens efetuadas através de microscópio óptico. As microfissuras são discriminadas em termos de vazias ou preenchidas, neste caso, determina-se tipo de preenchimento; intragrãos ocorrendo dentro do mineral e intergrãos atinge uma ponta a outra do mineral. Para a classificação das microfissuras, em termos de quantificação, foram adotados os seguintes critérios

- Alto > 2,0 microfissuras por mm²
- Moderado 1,0 a 2,0 microfissuras por mm²
- Baixo < 1,0 microfissuras por mm²

Vale ressaltar que o grau de fissuramento está diretamente ligado com o comportamento da rocha quanto à porosidade, absorção d'água e resistência mecânica, tendo uma importância relevante na sua descrição, podendo comprometer a integridade física da rocha para fins ornamentais.

4.2.4 – Ensaios físico-mecânicos

A caracterização tecnológica é utilizada para avaliar as características físicas e físico-mecânicas das rochas através de ensaios normatizados pela ABNT. Os ensaios efetivados neste trabalho, foram:

- Índices físicos (Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água);
- Resistência à compressão uniaxial: Ensaio realizado na amostra seca e após congelamento gelo/degelo;
- Módulo de ruptura (Flexão por carregamento em três pontos): Ensaio realizado na amostra seca e após congelamento gelo/degelo;

- Flexão por carregamento em quatro pontos: Ensaio realizado na amostra seca e após congelamento gelo/degelo;
- Desgaste AMSLER;
- Resistência ao impacto de corpo duro;
- Velocidade de pulso ultrassônico: Foi conexas aos ensaios de resistência a compressão, flexão por carregamento em três pontos e flexão por carregamento em quatro pontos, visando uma melhor avaliação do grau de sanidade da rocha estudada.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do curso de Geologia – UNESP/Rio Claro, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15845:2010.

4.2.4.1 - Índices Físicos das Rochas

De acordo com a norma ABNT NBR 15845:2010 (Anexo B), são designadas de índices físicos as propriedades de massa específica aparente seca e massa específica aparente saturada, densidade aparente, porosidade aparente e a absorção de água, onde as determinações de tais propriedades refletem várias características das rochas. Os valores de porosidade, que representam o volume de espaços “vazios” de uma rocha, e a absorção de água, que corresponde à capacidade da rocha para absorver e reter água nos seus poros e descontinuidades, são bem correlacionáveis com a resistência mecânica da rocha.

Rochas com alta absorção de água apresentam aumento na massa específica aparente saturada e na condutividade térmica, dentre outras, enquanto a resistência mecânica diminui, por enfraquecimento das ligações intergranulares.

Segundo Neville (1997), os grupos rochosos mais comuns possuem valores de massa específica aparente entre 2,6 e 2,8 g/cm³ (Tabela 4.1). O efeito da água contida nos poros ou cavidades rochosas reflete-se em todas as propriedades físico-mecânicas, uma vez que a densidade da água é muito maior que a do ar. Isso faz aumentar a densidade aparente da rocha, mesmo sem qualquer alteração estrutural.

Tabela 4.1 - Exemplos de massa específica aparente de diversos grupos de rochas

Grupo de rochas	Massa Específica (g/cm ³)	Variação
Basalto	2,80	2,6-3,0
Sílex	2,54	2,4-2,6
Granito	2,69	2,6-3,0
Arenito	2,69	2,6-2,9
Hornfels	2,82	2,7-3,0
Calcário	2,66	2,5-2,8
Quartzito	2,62	2,6-2,7

Fonte - Neville (1997)

Seguindo o procedimento determinado na norma, foram confeccionados 10 cubos com dimensões em torno de 5 X 5 X 5 cm, pesando entre 230 e 270g. Os corpos-de-prova foram lavados e colocados em estufa com temperatura de 110°± 5°C, durante 24 horas.

Após esse tempo, os corpos-de-prova foram retirados da estufa e resfriados a temperatura ambiente por 30 minutos e pesados individualmente. Os respectivos valores resultantes são designados por peso seco (massa A).

Em seguida, foi efetuada a imersão e saturação dos corpos-de-prova em água destilada por mais 24 horas, em temperatura ambiente. Após o período de 24 horas, os corpos-de-prova foram retirados da água, enxutos em suas superfícies, e pesados ao ar, determinando-se assim, o peso saturado (massa B). Logo após, efetua-se uma nova pesagem de cada corpo-de-prova. Desta vez, são imergidos em um recipiente com água destilada, suspensos e presos sobre a balança, em fio de *naylon*, para se garantir efeito de empuxe. Tal procedimento resulta no peso submerso (massa C).

Os cálculos para cada corpo-de-prova seguiram as fórmulas abaixo e, ao final, foram calculadas as médias aritméticas para os 10 valores obtidos no ensaio.

Densidade aparente: $M_{\text{sec}} / (M_{\text{sat}} - M_{\text{sub}}) \times 1.000$

Porosidade aparente: $(M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}}) / (M_{\text{sat}} - M_{\text{sub}}) \times 1.000$

Absorção de água: $(M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}}) / M_{\text{sec}} \times 1.000$

4.2.4.2 - Compressão Uniaxial Simples

Este ensaio tem como objetivo a determinação da tensão de ruptura de um material, quando submetida a esforços compressivos. A tensão suportada varia de acordo

com a composição mineralógica, a textura, o estado de alteração e a porosidade do material.

A resistência à compressão uniaxial simples permite quantificar a carga máxima suportada pela rocha quando submetida a esforços compressivos, sendo indispensável para testes de materiais pétreos destinados a funções estruturais. Este ensaio mostra as qualidades mecânicas da rocha, onde os valores obtidos fornecem uma indicação da resistência do material ao esforço mecânico compressivo através da determinação do valor máximo de tensão que a rocha suporta antes de sua ruptura e também permite avaliar a integridade física do material, sobretudo para as rochas aplicadas como elementos de sustentação. Segundo CICCUC *et al.* (1996), elevados valores de resistência à compressão implicam, de um modo geral, baixos valores de porosidade e alta resistência à flexão. Quanto mais alterada e microfraturada for a rocha analisada, menor será o valor correspondente a esse ensaio.

A compressão foi executada em cinco corpos-de-prova de forma cúbica com arestas de aproximadamente 7cm, no estado seco submetidos a esforços compressivos, com taxa de carregamento de 600 kPa/s em uma prensa hidráulica com capacidade de 200 t (Figura 2.3).

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 15845:2010 (Anexo E). A tensão de ruptura na compressão é determinada pela relação:

$$\sigma_c = P/A,$$

Onde σ_c é a tensão de ruptura (MPa), P é a força de ruptura (kN) e A é a área de carga do corpo-de-prova (m²).

Os valores detectados fornecem uma indicação da resistência do material ao esforço mecânico compressivo, mostrando o valor máximo de tensão que a rocha suporta antes de sua ruptura. Estes valores são funções da composição mineralógica, textura, estado de alteração, microfissuramento e porosidade do material.

Figura 4.3 - Imagem do corpo de prova no equipamento de compressão uniaxial do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro



Fonte - Elaborada pela autora

A Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses - ISRM (1979), classifica as rochas segundo a resistência à compressão uniaxial desde extremamente brandas a extremamente resistentes de acordo com o Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Classificação das rochas quanto à resistência à compressão simples

σ_c (MPa)	Classificação
<1	Extremamente branda (solo)
1 – 5	Muito branda
5 – 25	Branda
25 – 50	Resistência média
50 – 100	Resistente
100 – 250	Muito resistente
> 250	Extremamente resistente

Fonte - ISRM (1979)

4.2.4.3 - Resistência à Flexão (método dos 3 e 4 pontos)

- **Método dos três pontos**

Estes ensaios visa determinar a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores (flexão e tração simultaneamente). Para cada amostra foram ensaiados cinco corpos-de-prova com dimensões de aproximadamente 20x10x5cm. A prensa hidráulica é a mesma usada nos ensaios de compressão, porém com uma taxa de carregamento de 4.500 N/min e apoiados em dispositivo apropriado, que possui dois cutelos inferiores (de reação) espaçados de 18 cm e um superior (de ação) posicionado ao meio da peça, em seu sentido longitudinal (Figura 2.4).

Figura 4.4: Imagem do corpo de prova no equipamento para o ensaio de resistência a (A) flexão 3 e (B) flexão 4 pontos.



Fonte - Elaborada pela autora

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 15845:2010 (Anexo F), obtendo-se a tensão de ruptura a partir da fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{3PL}{2bd^2}$$

onde σ_1 é tensão de ruptura (MPa), P é a força de ruptura (KN), L , a distância entre os cutelos de reação (m), b largura do corpo-de-prova (m) e d é a altura do corpo-de-prova (m).

Os valores determinados indicam a tensão máxima de flexão que a rocha suporta e permitem determinar o tamanho e a espessura de placas externas (painéis) para suportar as solicitações de flexão entre outros índices, causadas pela carga de vento.

- **Método dos 4 pontos**

Este ensaio visa determinar a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores (flexão e tração simultaneamente). Foram ensaiados dez corpos-de-prova com dimensões de 30 cm de comprimento, 5 cm de largura e 2 cm de espessura (que já era a da placa) cindo deles para o ensaio na rocha seca e cinco para amostra após o congelamento e degelo. A prensa hidráulica é a mesma usada nos ensaios de compressão e flexão em três pontos, porém com uma taxa de carregamento de 2.200 N/min e apoiados em dispositivo apropriado, que possui dois cutelos superiores e dois inferiores (Figura 2.4).

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 15845:2010 (Anexo G), obtendo-se a tensão de ruptura a partir da fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{3PL}{4bd^2}$$

Onde σ_1 é tensão de ruptura (MPa), P é a força de ruptura (KN), L , a distância entre os cutelos de reação (m), b largura do corpo-de-prova (m) e d é a altura do corpo-de-prova (m).

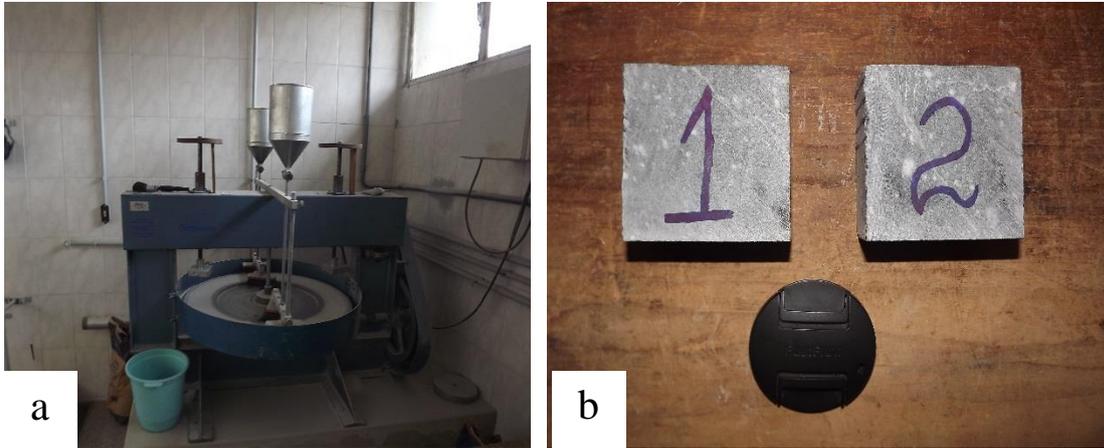
Os valores determinados indicam a tensão máxima de flexão que a rocha suporta e permitem determinar o tamanho e a espessura de placas externas (painéis) para suportar as solicitações de flexão entre outros índices, causadas pela carga de vento.

4.2.4.4 - Desgaste por Abrasão Amsler

Este ensaio segue a norma NBR 12042 (ABNT, 1992e), e mede a resistência do material à solicitação abrasiva por meio da verificação na redução de espessura (em mm) que duas placas de rochas apresentam após um percurso abrasivo de 1000 metros, medidas em equipamento apropriado denominado “Máquina Amsler” (Figura 4.5). 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.

Figura 4.5 - Imagem mostrando a) Máquina para o ensaio de abrasão Amsler do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro e b) corpos de prova para desgaste Amsler.



Fonte - Elaborada pela autora

Foram utilizados dois (2) corpos-de-prova com dimensões de aproximadamente $7 \times 7 \times 2,5\text{cm}$. Inicialmente foram selecionadas as superfícies que não seriam desgastadas e as arestas enumeradas de um a quatro (1, 2, 3 e 4). Com auxílio de um micrômetro (relógio comparador), foram efetuadas as medidas iniciais nos quatro cantos dos corpos-de-prova. Os valores foram devidamente anotados em planilha.

O ensaio na Máquina Amsler é feito com dois corpos fixados nas sapatas de acoplamento que os mantêm em contato e girando em torno do seu próprio eixo, sobre um anel de ferro fundido com perímetro de 2 metros (superfície de abrasão), tendo areia média como abrasivo, com vazão de $76 \pm 2 \text{ cm}^3/\text{min}$, a uma velocidade de rotação de $0,6 \pm 0,02 \text{ rpm}$.

Os corpos-de-prova foram então submetidos a um desgaste equivalente a 500 metros, ou 250 voltas. Retirados os corpos-de-prova da máquina, estes são limpos, invertidos e novas medidas são efetuadas por mais 500 metros.

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

$$\mathbf{d = a - b;}$$

$$\mathbf{e = a - c;}$$

onde:

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 após 500 metros (mm);

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

4.2.4.5 Determinação da resistência ao impacto de corpo duro

Este ensaio é realizado através da norma ABNT NBR 15845:2010 (Anexo H) e o procedimento utilizado consiste em deixar uma esfera de aço, com massa de 1 kg, cair sobre um corpo-de-prova com dimensões de 20 cm x 20 cm x 2 cm, assentado sobre um “colchão” de areia, até que ocorra a fissura, lascamento ou ruptura da placa utilizando-se da energia potencial gravitacional (figura4.6).

Figura 4.6 – Equipamento para o ensaio de impacto ao corpo duro.



Fonte – Elaborada pela autora

4.2.4.6 Determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas

Neste ensaio foi adotado o procedimento de medição, antes da realização dos ensaios mecânicos de (compressão uniaxial, flexão em três pontos e flexão em quatro pontos) na rocha em condição seca, em todos os corpos-de-prova, utilizando como base a norma D2845 (ASTM, 1990).

Projeta-se o pulso ultrassônico para dentro do corpo-de-prova, medindo o tempo até que o mesmo se propague até outro ponto (alinhado com o primeiro) do corpo-de-prova. Sabendo a distância entre os pontos, é possível então determinar a velocidade média no trecho de propagação. As medidas foram efetuadas com o aparelho denominado PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Test), em uso na UNESP (figura 4.7).

Figura 4.7 – Equipamento para o ensaio da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em corpo de prova de flexão em quatro pontos.



Fonte – Elaborada pela autora

4.2.5 – Determinação Radiométrica

Detecção Ativa de ^{222}Rn e Filhos

O método de detecção da exalação do gás radônio descrito neste trabalho foi desenvolvido no DPM/IGCE – UNESP de Rio Claro para a sua aplicação na medição da taxa de exalação de radônio das rochas.

Para a determinação da atividade de radônio existem duas técnicas: a amostragem passiva e ativa. A amostragem passiva de radônio não requer energia elétrica e utiliza filtros plásticos. A amostragem ativa de radônio requer energia para realizar a medição.

Exemplos de sensores que podem medir níveis de radônio incluem detectores de traço alfa, dispositivos de absorção de carvão ativado, e o monitor AlphaGUARD. Detectores de traço Alfa são dispositivos de amostragem passiva de radônio. Eles contêm um fino pedaço de plástico ou filme montado no detector. O radônio flui no detector através de uma abertura no filtro. Como o radônio dentro do detector decai, as partículas alfa emitidas atingem o filme formando traços no filme. Os traços são contados para determinar a concentração de radônio. Estes detectores não são muito eficientes na medição de altas concentrações de radônio (SPEELMAN *et. al.*, 2004).

O monitor de radônio AlphaGUARD é um sensor de amostragem ativa contínua de radônio. Ele possui uma câmara de ionização e usa espectroscopia alfa para detectar o radônio. Os dois isótopos de radônio mais comuns (^{222}Rn e ^{220}Rn) são identificados através de suas respectivas energias do decaimento alfa (SWAKON *et. al.*, 2004). O sinal gerado da detecção alfa é convertido em um sinal. Este sinal pode ser lido pelo AlphaGUARD ou computador. O AlphaGUARD é ideal para aplicações na exalação de radônio, radônio no solo, interior, exterior, nas minas e nas medições de radônio em reservatórios de água.

O Detector

O detector AlphaGUARD é designado para monitoramento da concentração de radônio a longo prazo e o aparelho registra simultaneamente em seus sensores a temperatura ambiente, umidade relativa e pressão atmosférica.

O AlphaGUARD (figura 4.8) mede as concentrações de radônio utilizando espectroscopia alfa 3D. Existe um atraso no sinal devido ao tempo requerido para a difusão do radônio dentro da câmara de ionização. Quando exposto a uma mudança na concentração de radônio, o AlphaGUARD vai chegar a 30% do novo valor de concentração após 10 minutos, 70% após 20 minutos e 90% após 30 minutos.

Figura 4.8 - Detector de radônio AlphaGUARD utilizado para medição da concentração de radônio.



Fonte - Elaborado pela autora

Armazenamento das amostras e leitura

A rocha em questão foi britada em quatro frações de acordo com a norma ABNT NBR 7211/2005 como mostra a tabela 4.3.

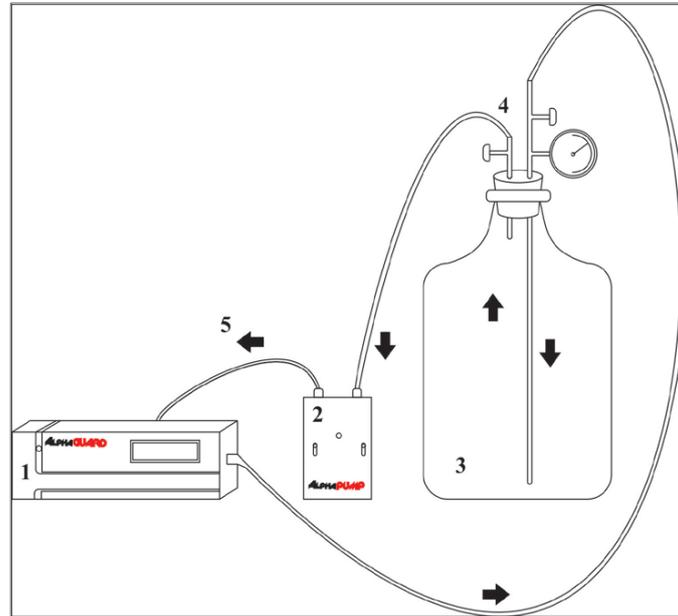
Tabela 4.3 – Características das britas utilizadas.

BRITAS	PESO (Kg)	DIÂMETRO (mm)
Brita 1	0,795	4,8 a 12,5
Brita 2	1,163	12,5 a 25,0
Brita 3	1,98	25,0 a 50,0
Brita 4	2,086	50,0 a 76,0

Fonte – Elaborada pela autora

Após a britagem, as amostras foram levadas a estufa por um período 24 horas, a temperatura de 70°C, para extrair a umidade. Passadas as 24 horas, as britas foram retiradas da estufa e resfriadas a temperatura ambiente e condicionadas no garrafão do equipamento, lacrados com rolhas de borracha apresentando válvulas de saída e entrada de ar. A partir daí, foram colocadas no vácuo a pressão de 400 mmHg, logo após fechando as válvulas para que obtivesse o fechamento do sistema. (Figura 4.9)

Figura 4.9 - Sistema usado para medir a exalação do gás radônio nas amostras estudadas composto de (1) espectrômetro alfa; (2) bomba de ar; (3) garrafão e (4) sistemas de válvulas e, o (5) sentido da circulação do ar interno conforme especificação do aparelho.



Fonte - Amaral 2011

A concentração de radônio emanado de cada amostra dentro do contêiner de emanação foi calculada pela acumulação pelo tempo e ele foi medido em ciclos de 10 minutos por um tempo médio de 30 minutos. A acumulação da atividade de radônio dentro do contêiner de emanação segue a equação (AL-JARALLAH, 2001):

$$\mathbf{A_t = A_0(1 - e^{-\lambda t})}$$

(1)

onde λ é a constante de decaimento do nuclídeo em questão e A_0 é o valor final de atividade em $t \sim 7T_{1/2}$, que é de aproximadamente 27 dias para o radônio. A taxa de exalação de radônio por unidade de área do diabásio, E , é definido como o fluxo de radônio liberado na superfície do material. Este foi calculado usando a seguinte formula (BARTON & ZIEMER, 1986; AL-JARALLAH, 2001):

$$\mathbf{E = A_0 \lambda (V/F)}$$

(2)

onde λ é a constante de decaimento do radônio ($7,567 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$), V é o volume do contêiner de emanação (191 ou $19 \times 10^{-3} \text{ m}^3$) e F é a área da superfície total das amostras. A unidade

da taxa de exalação de radônio (E) é em $\text{Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. A atividade de final de radônio emanado por percentual de massa C_{Rn} foi calculada usando a seguinte formula:

$$C_{\text{Rn}} = A_0 V/m$$

onde m é a massa das amostras e A_0 e V são definidos na equação (1) e (2), respectivamente. A unidade da C_{Rn} é Bq kg^{-1} .

Os dados obtidos para o ultramilonito foram correlacionados com a análise petrográfica e índices físicos obtidos na caracterização tecnológica e posteriormente com os resultados obtidos por AL-JARALLAH, 2001 para avaliar se o material possui alta concentração de radônio.

4.2.6 - Etapa final

Os dados obtidos na literatura, em campo e no laboratório como foi explorado no decorrer do capítulo descrito, foram tratados, integrados e interpretados, contribuindo para a confecção do texto final da dissertação.

CAPITULO 5 - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E RADIOMÉTRICA

Neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos através da pesquisa com a rocha adotada descritos da seguinte forma:

- Análises petrográficas: Serão apresentadas a associação mineralógica da rocha, sua textura, estrutura, relação de contatos, grau de microfissuramento e o grau de alteração mineral;
- Determinações das propriedades físicas e mecânicas (caracterização tecnológica): O estudo das propriedades tecnológicas buscou determinar as características físico-mecânicas da rocha aspirando avaliar o comportamento da mesma frente às condições ambientais e solicitações a que estão sujeitos quando aplicados em obras civis, tais como atrito, impacto, umidade, esforços e variações de temperatura;
- Caracterização Radiométrica: Foi feita com a amostra britada em quatro frações diferentes buscando fazer a comparação da emissão do gás radônio nas mesmas.

5.1. Análise Petrográfica

Através da análise petrográfica é possível averiguar a composição mineralógica, a presença de minerais alterados, as relações texturais, as microfissuras e o seu grau de intensidade. Estas informações são de grande relevância para avaliar a estrutura da rocha observando componentes que possam interferir em suas propriedades.

Foram descritas três lâminas do material coletado em campo, procurando enfatizar tanto as partes mais milonitizadas como as partes onde a mineralogia se tornava mais visível a vista desarmada.

Ultramilonito Quartzo-Feldspático (U.Q.F.)

5.1.1 Descrição Macroscópica

A rocha comercialmente conhecida como *Green Galaxy* corresponde à um ultramilonito de coloração predominante verde variando de verde musgo para verde escuro, com algumas áreas acinzentadas (Figura 5.1). São visíveis em toda a rocha fraturas irregulares preenchidas ora por um material claro, ora por um material escuro. A estrutura geral é foliada, de natureza ultramilonítica. Destacam-se faixas intensamente milonitizadas que apresentam granulação fina, impossibilitando o reconhecimento dos minerais presentes, em meio a matriz apresentam alguns cristais esbranquiçados de quartzo e feldspatos.

Figura 5.1 - Foto da placa polida do ultramilonito *Green Galaxy*



Fonte: Elaborada pela autora

5.1.2 Descrição Microscópica

A rocha apresenta uma textura porfiroblástica, os grãos minerais se apresentam, em sua maioria, submilimétricos com cristais de quartzo e feldspatos medindo até aproximadamente 6 mm se destacando em meio à matriz fina composta predominantemente por quartzo, feldspato e clorita. Nota-se, no decorrer da lâmina, indicadores cinemáticos no sentido dextral.

Uma análise mais precisa da proporção entre os minerais constituintes, principalmente em relação aos tipos de feldspatos presentes, torna-se imprecisa devido ao grau de milonitização da mesma.

Com o resultado da média das três lâminas, mostra que a rocha possui mineralogia composta por aproximadamente 25% de quartzo, 37% de feldspato potássico, 23% de plagioclásio, 8% de clorita, 4% de epidoto e 1% de óxidos e hidróxidos de ferro, além de traços de zircão, titanita e allanita.

Os contatos minerais são irregulares, possui grãos com fraturas em aproximadamente 40%, em determinadas áreas o quartzo se apresenta recristalizado. Os tipos de contatos predominantes são os serrilhados e côncavo-convexos, os contatos planos aparecem em menor quantidade nas lâminas com aproximadamente 15%.

A alteração mineral é apresentada na rocha pela sericitização dos feldspatos, cloritização das biotitas e disseminação de óxidos e hidróxidos de ferro ao longo de fraturas e microfissuras.

O **quartzo** aparece em meio a uma massa quartzo-feldspática em tamanhos submilimétricos, chegando a aproximadamente 2mm com frequentes extinções ondulantes. Encontram-se fraturados e falhados. Possuem formas que vão de anedral a subeudral, aparece na textura mimerquítica bordejando cristais de feldspato potássico bem como em preenchimento de fraturas que cortam cristais de plagioclásio. Em meio a matriz mais de 50% desses cristais estão recristalizados, nos veios essas recristalizações também aparecem quando estes são completamente preenchidos por quartzo.

O **feldspato potássico** apresenta geminação polissintética. São os cristais de maior tamanho na lâmina, chegando a aproximadamente 5,5 mm. Nota-se inclusões de quartzo e clorita, algumas vezes nota-se a presença de pertitas. Possuem formas que variam de anedral a subeudral. Encontram-se fraturados, algumas dessas fraturas estão preenchidas por quartzo. Em meio a matriz foliada, os cristais aparecem rotacionado, seguindo o sentido dextral da foliação.

O **plagioclásio** em conjunto com o feldspato potássico, são os cristais que possuem maiores tamanhos nas lâminas, apresenta-se zonados e falhados, vão de submilimétricos a aproximadamente 5 mm, possuem a geminação Polissintética, podendo classifica-lo como oligoclásio e menos frequente em torno de 10% a geminação Carlsbad. Aproximadamente 10% cristais encontram-se alterados contendo sericitas, aparecem inclusões de quartzo, clorita e veios preenchidos por quartzo, que corta todo o cristal. Em meio a matriz cerca de 12% aparecem com formas alongadas e outros estão rotacionado

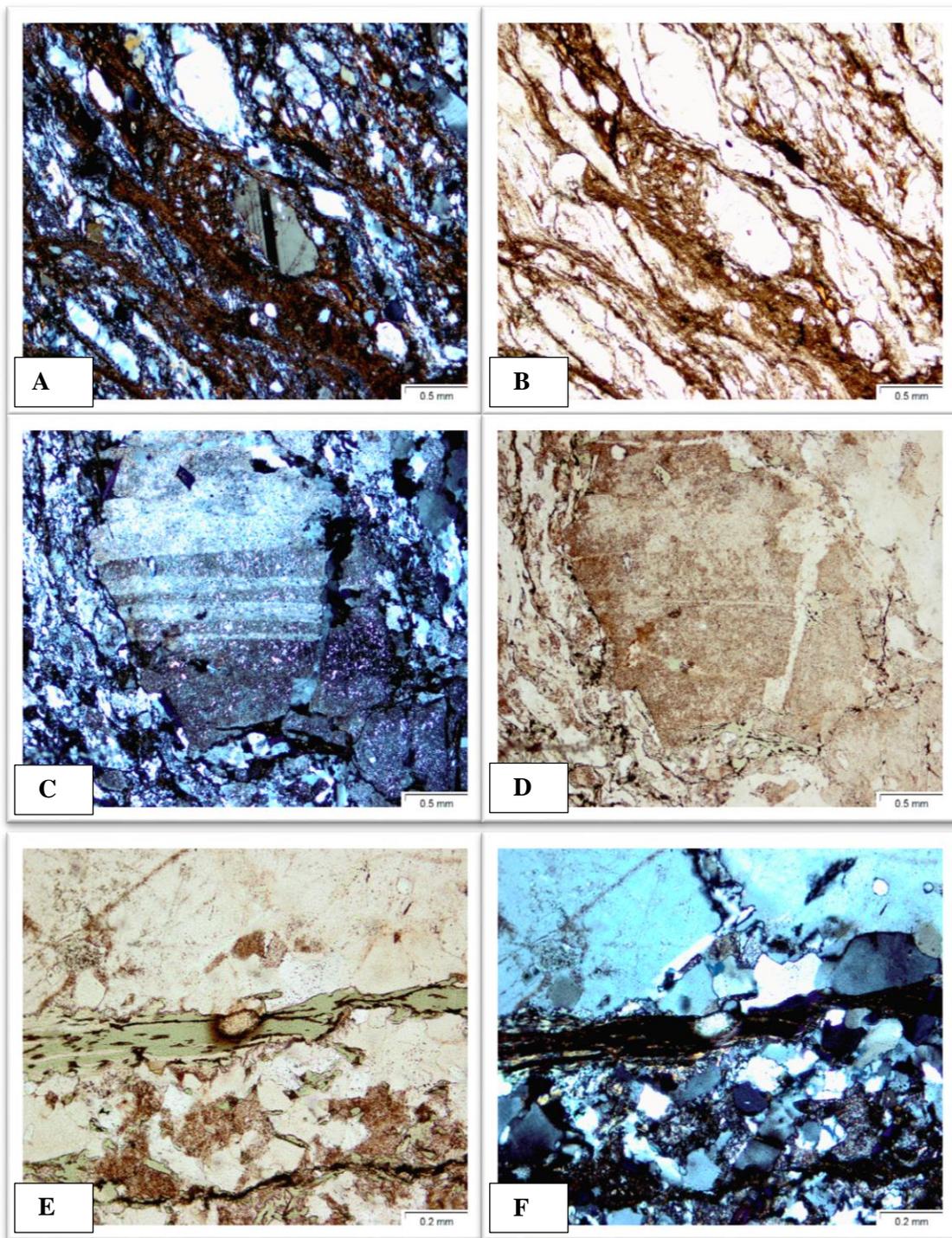
formando sigmoides, com movimento no sentido dextral, os cristais maiores possuem formas irregulares (Prancha 5.1).

A **clorita** aparece em forma de finos agregados disseminados pela massa quartzo feldspática, inclusas nos cristais de feldspato potássico e plagioclásio. Possui um forte pleocroísmo, com coloração variando de amarelo intenso para castanho e verde escuro para verde intenso. Quando se apresenta em forma lamelar atinge até aproximadamente 2,0mm. Nas fissuras mais desenvolvidas é comum sua presença. De forma frequente aparecem inclusos cristais de zircão (Prancha 5.1).

O **epidoto** exibe uma forma de grãos micrométricos dispersos pela rocha e como principal elemento no preenchimento das fissuras, onde é possível identificar mais facilmente seus microgrãos através do microspópio. Considera-se que é um dos minerais, juntamente com a clorita, responsável pela tonalidade esverdeada da rocha.

Os **óxidos e hidróxidos de ferro** desenvolvem fina massa junto com epidoto e clorita ao longo de planos de microfissuras, também são encontrados disseminados em meio a matriz da rocha.

Os demais minerais acessórios encontrados nas lâminas foram a **titanita**, raros grãos de **allanita** bastante fragmentados e cristais de **zircão** encontrado mais comumente inclusos nas cloritas e na matriz da rocha.



Prancha 5.1 – (A) Matriz da rocha, dando destaque a cristais de plagioclásio, alguns rotacionados e aos óxidos e hidróxidos de ferro preenchendo as microfissuras na luz ortoscópica; (B) Matriz da rocha, dando destaque a cristais de plagioclásio, alguns rotacionados e aos óxidos e hidróxidos de ferro preenchendo as microfissuras na luz natural; (C) Plagioclásio saturizado com inclusões de clorita na luz ortoscópica; (D) Plagioclásio saturizado com inclusões de clorita na luz natural; (E) Zircão incluído no cristal de clorita na luz ortoscópica; (F) Zircão incluído no cristal de clorita na luz natural.

A densidade de microfissuramento é considerada alta, como demonstrado nas lâmina vão de 1,7 a 1,9 microfissuras/mm². As microfissuras predominantes são do tipo intergranulares e/ou transgranulares com 77,81%, as do tipo intragrãos compõem cerca de 22,18%. Em lâmina delgada as dimensões das microfissuras variam desde milimétricas até aproximadamente 10 mm, se dispõe na maioria das vezes nos feldspatos potássicos e oligoclásio.

Na tabela 5.1 estão dispostas sucintamente as principais características da rocha utilizada como comparativo para análise petrográfica e ensaios físico-mecânicos.

Tabela 5.1: Síntese das características petrográficas do Ultramilonito Quartzo Feldspático

Características Petrográficas do Ultramilonito quartzo feldspático		Lâmina 1	Lâmina 1	Lâmina 3
Mineralogia (%)	Quartzo	19,83	25,69	28,75
	Feldspato Potássico	26,34	37,48	44,4
	Plagioclásio	34,51	17,09	14,51
	Clorita, Sericita, epidoto	18,32	18,74	13,34
	Óxidos e hidróxidos de Fe, Titanita, allanita e zircão	1	1	1
Granulação(mm)	Matriz	0,1 a 1	0,1 a 1	0,1 a 1
	Pórfiros	1 a 5,5	1 a 6	1 a 5
Microfissuras	Total/mm ²	1,94	1,89	1,7
	Intragrãos (%)	22,18	26,92	24,15
	Intergrãos (%)	77,81	73,07	75,85
	Comunicabilidade	Alta	Alta	Alta
Contatos (%)	Côncavo/Convexo	34,17	31,77	30,11
	Serrilhado	50,25	45,81	48,26
	Plano	15,87	24,4	21,63
Alteração Mineral	Plagioclásio	Fraco	Fraco	Fraco
	Clorita	Fraco	Fraco	Fraco
	Coloração	Verde	Verde	Verde
	Estrutura	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica
	Textura	Porfiroblástica	Porfiroblástica	Porfiroblástica
	Granulação	Fina	Fina	Fina

Fonte – Elaborada pela autora

5.2 – Resultados Físico-Mecânicos

Serão apresentados e discutidos os resultados referentes aos testes laboratoriais do ultramilonito *Green Galaxy* (Tabela 5.2) comparando-os com os parâmetros fixados pela ABNT NBR 15844:2010 “Rocha para revestimento – modo de ensaio” e pela ABNT NBR 12042:1992 “determinação do desgaste por abrasão”, nos valores fixados pela norma ASTM (C 615) (1992).

Tabela 5.2 - Resultados de caracterização tecnológica da rocha estudada e valores limítrofes da ABNT (2010).

Resultados dos Ensaio				
Ensaio		Valores obtidos	ABNT 2010	Unidade
Resistência à Compressão Uniaxial		146,1	100,0	MPa
Resistência à Compressão Uniaxial após congelamento/degelo		167,2	100,0	MPa
Coeficiente de Enfraquecimento (K)		1,14	-	
Resistência à Flexão (3 pontos)		17,3	10,0	MPa
Resistência à Flexão (3 pontos) após gelo/degelo		21,3	10,0	MPa
Resistência à Flexão (4 pontos)		21,42	8,00	MPa
Resistência à Flexão (4 pontos) após gelo/degelo		22,80	8,00	MPa
Índices Físicos	Massa espec. aparente seca	2,675	2,560	(g/cm ³)
	Massa espec. aparente saturada	2,677	-	(g/cm ³)
	Porosidade aparente	0,27	≤ 1,0	%
	Absorção d'água aparente	0,10	≤ 0,4	%
Desgaste Amsler	Após percurso de 500m	0,22		mm
	Após percurso de 1000m	0,49	≤ 1,0	mm
Resistência ao Impacto de Corpo Duro		0,39m	≥ 0,3	m
Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais	Em cps para compressão	6031,1		m/s
	Em cps para módulo de ruptura 3 pontos/4 pontos	5890,5/ 6049,41		m/s
	Em cps para resist. à flexão	6049,41		m/s
	Média	5990,34		m/s

Legenda – cps: corpos-de-provas.

Tabela 5.3 - Comparação dos resultados medidos para o Ultramilonito Quartzo-Feldspático com os da ASTM C-615(1992) e os da ABNT NBR 2010.

ENSAIOS	ASTM (C 615)	ABNT NBR 2010	Ultramilonito Quartzo-Feldspático
Massa Específica Aparente (Kg/m ³)	≥ 2,560	≥ 2,550	2,675
Porosidade Aparente (%)	n.e.	≤ 1,0	0,27
Absorção d'água (%)	≤ 0,4	≤ 0,4	0,10
Resistência à Compressão Uniaxial seco (MPa)	≥ 131,0	≥ 100,0	146,10
Flexão 3 Pontos seco (MPa)	≥ 10,34	≥ 10	17,3
Flexão 4 Pontos seco (MPa)	≥ 8,27	≥ 8,0	21,42
Desgaste Amsler para 1000m (mm)	n.e.	≤ 1,0	0,49

5.2.1 Índices Físicos

O ensaio dos índices físicos foi feito segundo as diretrizes da norma NBR 15845 – Anexo B (ABNT, 2010), compreendendo densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água em rochas que se destinam ao uso para revestimento. Pode-se constatar que a rocha em pesquisa apresenta-se com valores, em geral, dentro dos padrões exigidos por tais normas. Os resultados deste ensaio estão expostos na tabela 5.3. A planilha com os dados completos está disponível no Anexo 1.1.

Apontou-se uma correlação dos índices físicos com os valores obtidos do grau de fraturamento intragrãos e intergrãos, conquistados pela análise petrográfica da rocha visando um conhecimento mais amplo do comportamento desse material. Estas correlações estão representadas nos gráficos 5.1 e 5.2

Tabela 5.3 - Comparação dos resultados medidos para o Ultramilonito Quartzo-Feldspático com os da ASTM C-615(1992) e os da ABNT NBR 2010.

ENSAIOS	ASTM (C 615)	ABNT NBR 2010	Ultramilonito Quartzo-Feldspático
Massa Específica Aparente (Kg/m ³)	≥ 2,560	≥ 2,550	2,675
Porosidade Aparente (%)	n.e.	≤ 1,0	0,27
Absorção d'água (%)	≤ 0,4	≤ 0,4	0,10
Resistência à Compressão Uniaxial seco (MPa)	≥ 131,0	≥ 100,0	146,10
Flexão 3 Pontos seco (MPa)	≥10,34	≥10	17,3
Flexão 4 Pontos seco (MPa)	≥8,27	≥8,0	21,42
Desgaste Amsler para 1000m (mm)	n.e.	≤ 1,0	0,49

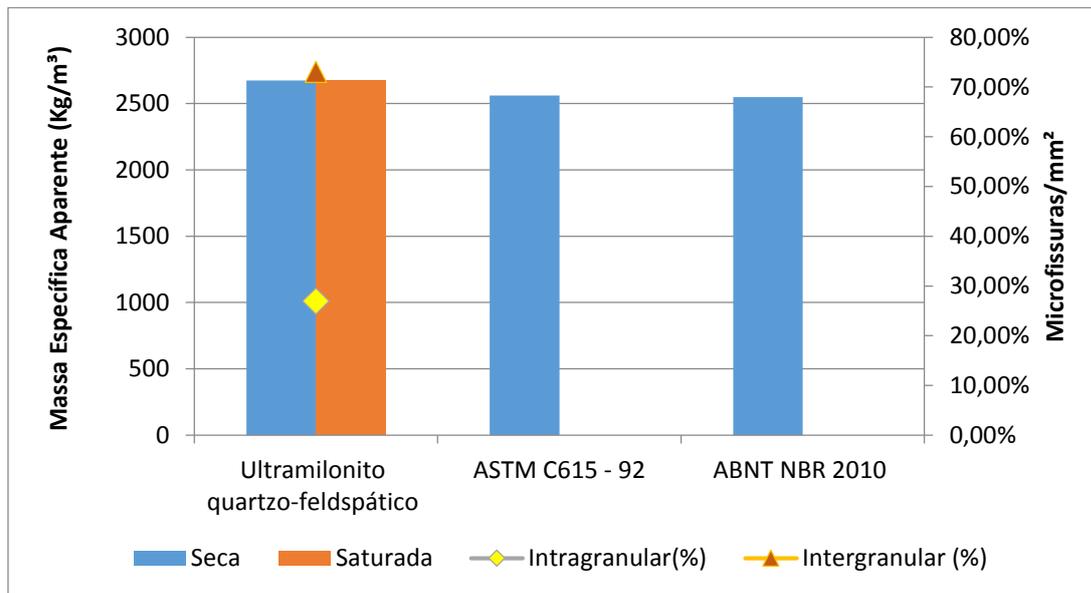


Gráfico 5.1: Resultados de massa específica aparente do Ultramilonito Quartzo Feldspático.

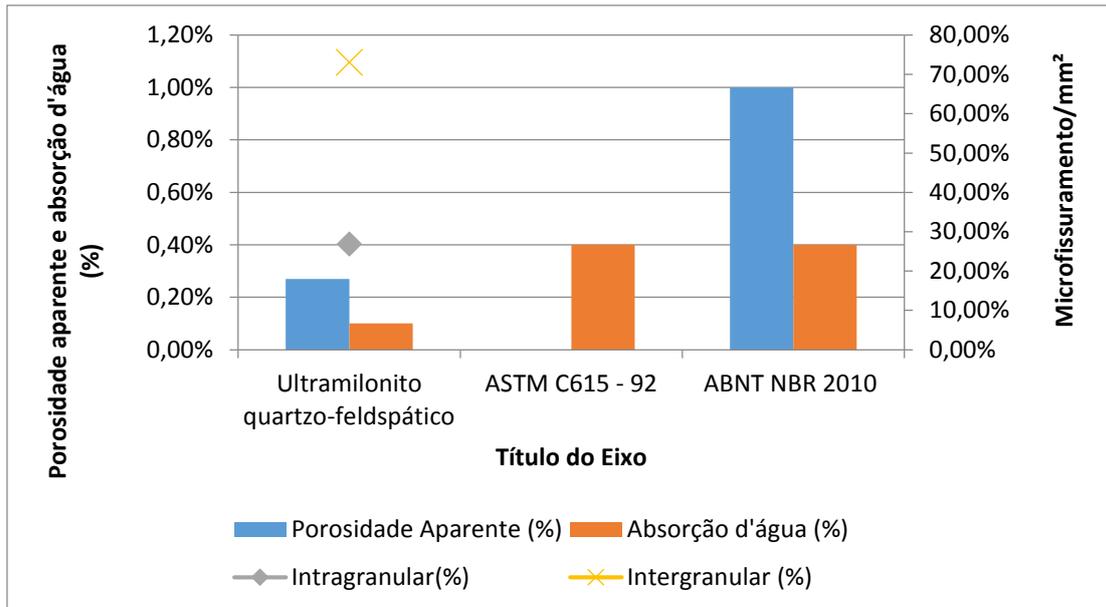


Gráfico 5.2: Resultados de porosidade aparente e absorção d'água para o Ultramilonito Quartzo Feldspático.

Contemplando os resultados obtidos para os ensaios de massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente (Tabela 5.3), constatou-se que o material estudado apresenta qualidades superiores a dos valores médios sugeridos pela da norma ABNT NBR 2010.

A massa específica aparente seca expos o valor de $2,675 \text{ g/cm}^3$, a massa específica aparente saturada apresentou $2,677 \text{ g/cm}^3$, a porosidade aparente obteve um valor de 0,27% e a absorção d'água aparente mostrou o valor de 0,10 %.

A porosidade aparente com resultado de (0,27%) e absorção de água aparente (0,10%), mostra que a rocha está dentro dos valores limítrofes da norma ABNT NBR 2010. Estes resultados positivos deram-se ao fato da mesma apresentar uma granulação muito fina e que, apesar do elevado grau de microfissuramento intergrãos ($1,42/\text{mm}^2$), as fraturas estão totalmente preenchida por uma massa mineral fina e compacta e por quartzos recristalizados presentes em toda a lâmina inferindo uma baixa absorção de água. Tais fatos adequam-se a literatura, onde diversos trabalhos mostram que os principais fatores que condicionam os índices de porosidade aparente e absorção aparente, são a granulação da rocha, o grau de entrelaçamento, grau de microfissuramento e o grau de alteração dos minerais constituintes.

5.2.2 Resistência à Compressão Uniaxial Simples

A resistência mecânica das rochas está condicionada a uma série de fatores intrínsecos que influenciam diretamente, embora com pesos diferentes, os valores finais. Dentre estes se destacam a direção do esforço de compressão em relação à estrutura, o estado de alteração, a presença ou ausência de microfissuras na rocha, a anisotropia, as dimensões dos minerais e a porosidade da rocha (Figueiredo 1997).

Valores mínimos de resistência à compressão uniaxial aceitáveis para granitos ornamentais são definidos pela ASTM C615-92 (ASTM, 1992) como maior ou iguais a 131 MPa, e pela ABNT NBR (2010) que sugeriram valores de resistência a compressão igual ou superior a 100 MPa. O gráfico 5.3 relaciona os resultados obtidos para o ultramilonito. As planilhas com os dados completos estão disponíveis no Anexo 1.2.

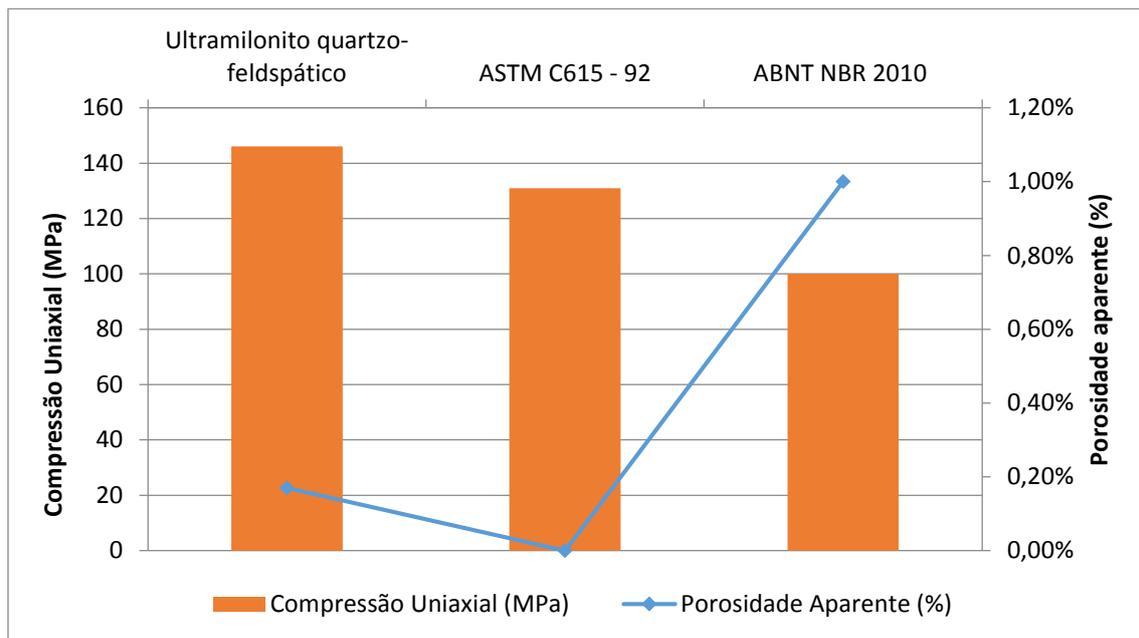


Gráfico 5.3: Resultados de resistência a compressão uniaxial obtidos para o Ultramilonito Quartzo Feldspático.

Comparando os valores obtidos no ensaio com o valor proposto da norma ABNT NBR 15845:2010 Anexo E, conclui-se que o material estudado apresenta uma boa resistência atingindo valores de 146,1 MPa com a rocha seca e 167,2 MPa após o congelamento e degelo (tabela 5.1). Frazão & Farjallat (1995) indicam um valor médio da resistência à compressão igual ou superior a 100 MPa. Fazendo uma comparação aos

valores propostos pela ISRM (1979), pode-se concluir que o Ultramilonito, é classificado como muito resistente (100-250 MPa), estando também dentro dos limites da ASTM – C 615 (1992).

Levando em consideração os resultados obtidos neste ensaio, percebe-se que o resultado na amostra após o congelamento/degelo apresentou-se mais resistente do que a amostra seca. Como os corpos-de-prova foram confeccionados do mesmo bloco, sem diferença de granulometria, composição mineralógica ou número de fissuras (Figura 5.2), tal fato pode ter ocorrido em consequência da rocha apresentar a predominância de uma matriz muito fina e de microfissuras serem totalmente preenchidas e principalmente pelo fato do quartzo se apresentar recristalizado tanto na matriz como nas fissuras da rocha. Com isso, após os ciclos de congelamento e degelo, os cristais podem ter ficados mais coesos na matriz e nas microfissuras preenchidas tornando assim a rocha mais resistente.

Com os resultados obtidos, pode-se considerar a rocha como apta para uso ornamental tanto em locais de grande amplitude térmica.

Figura 5.2 – Fotos mostrando bloco da rocha utilizado para confeccionar os corpos-de-prova para o ensaio de compressão uniaxial. (A) Bloco parcialmente cortado; (B) Técnico confeccionando os corpos-de-prova; (C) Corpos-de-prova para o ensaio a seco; (D) Corpos-de-prova para o ensaio com congelamento e degelo.



Fonte: Elaborada pela autora

5.2.3 - Resistência a Flexão em 3 pontos

Este ensaio determina qual a tensão mínima, ou qual a flexão máxima, que provoca a ruptura de um bloco ou placa de rocha quando submetida a esforços de compressão e/ou tração. Uma das principais propriedades da rocha que influenciam na resistência a flexão é sua granulação: quanto maior ela for, menos resistente será a rocha, podendo acarretar possíveis problemas no uso das placas.

A norma ABNT NBR 15845:2010 Anexo F, determina um valor mínimo de 10 Mpa, para o citado ensaio. O valor mínimo exigido pela norma C-615 da ASTM (1992) é de 10,34 MPa e o valor médio sugerido por Frazão & Farjallat (1995) é de 10 MPa. Os

resultados estão expostos na tabela 5.2. Foram correlacionados os dados da amostra seca e após o congelamento/degelo, que estão representados na forma do gráfico 5.4. Os dados mais detalhados estão expostos no Anexo 1.3.

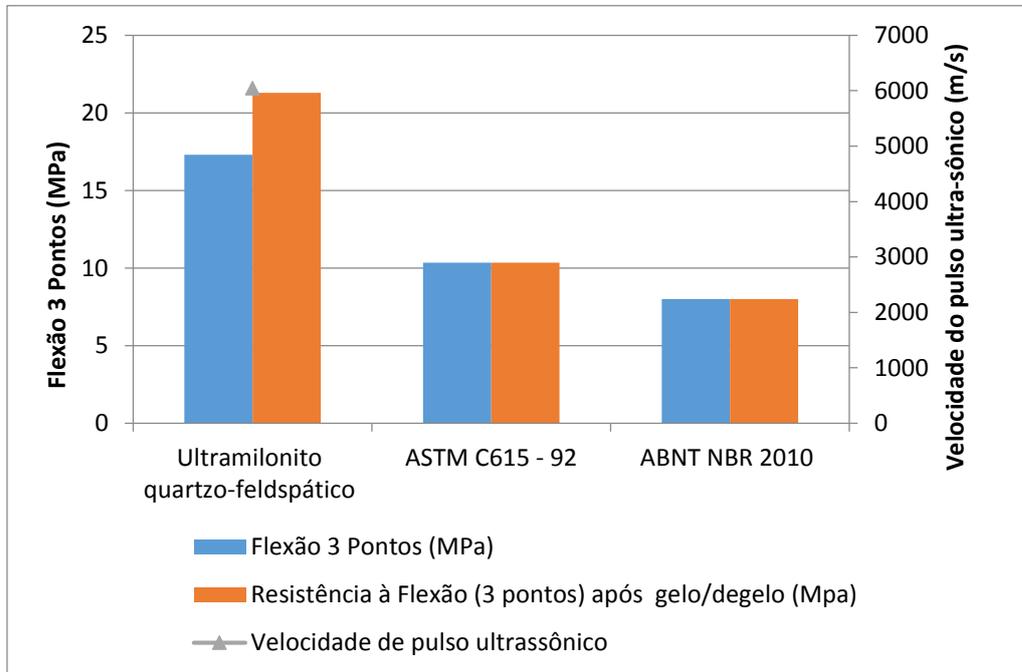


Gráfico 5.4: Resultados de resistência a flexão 3 pontos (seco e após congelamento/degelo) obtidos para o Ultramilonito Quartzo Feldspático.

De acordo com o resultado do ensaio, a rocha obteve um valor de 17,3 MPa com a amostra seca e 21,3 MPa após o congelamento/degelo, um valor bem acima do exigido pela ABNT NBR 2010, por Frazão & Farjallat (1995) e ASTM (1992).

Como no ensaio de resistência à compressão uniaxial, a amostra que passou pelos ciclos de congelamento e degelo, apresentou-se mais resistente que a seca. Os resultados certificaram uma alta resistência mecânica para as duas situações. Tal fato se dá pela coesão dos minerais e devido os cristais de quartzo se apresentarem em torno de 90% recristalizados em meio a matriz fina da rocha e no preenchimento das microfissuras, silificando a rocha dando uma maior resistência até mesmo após o ciclo do congelamento e degelo.

5.2.3 - Resistência a Flexão em 4 pontos

Neste ensaio todas as seções compressivas se encontram entre os dois cutelos centrais determinando assim a resistência à flexão quando submetido a ações conjuntas de compressão e tração nas amostras no estado seco e após o congelamento e degelo.

De acordo com o resultado do ensaio, a rocha obteve um valor de 21,42 Mpa com a amostra seca e 22,80 Mpa após o congelamento e degelo, um valor bem acima do exigido pela ABNT NBR 2010, por Frazão & Farjallat (1995) e ASTM (1992).

A norma ABNT NBR 15845:2010 Anexo G, determina um valor ≥ 8 Mpa, para o a resistência a flexão em 4 pontos. O valor mínimo exigido pela norma C-615 da ASTM (1992) é de 10 MPa e o valor médio sugerido por Frazão & Farjallat (1995) é de 10 MPa. Os resultados estão expostos na tabela 5.2. Foram correlacionados os dados da amostra seca e após o congelamento e degelo, mostrando também os resultados da velocidade de pulso ultrassônico onde estão representados no gráfico 5.5. Os dados mais detalhados estão expostos no Anexo 1.4.

Como no ensaio de flexão em três pontos, a rocha se mostrou mais resistente após o ciclo de congelamento e degelo, constatando assim a coesão dos minerais e a silicificação devido a recristalização dos cristais de quartzo.

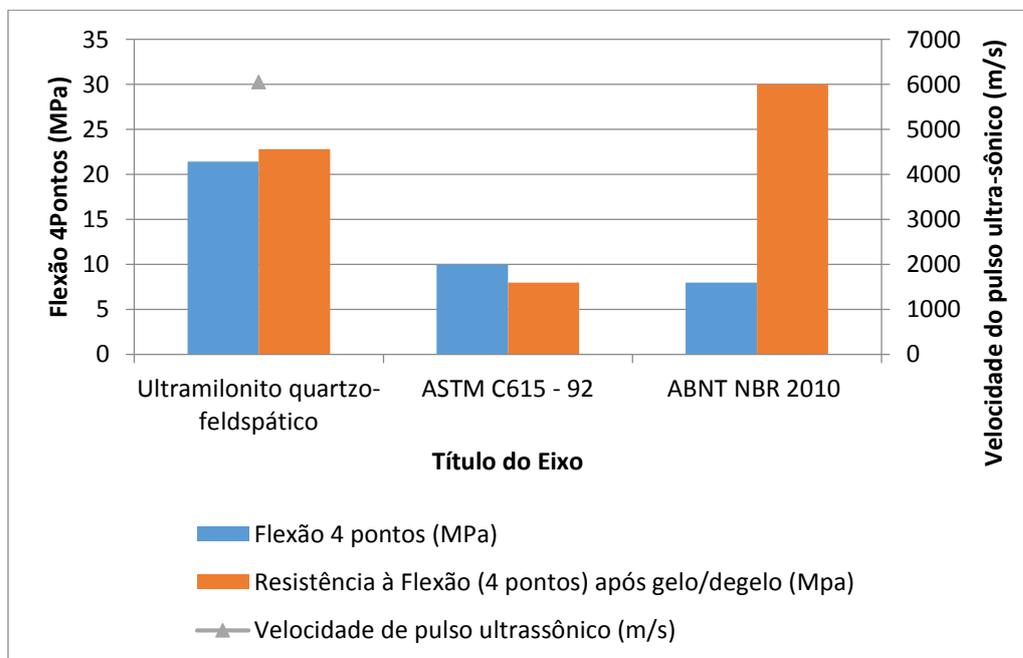


Gráfico 5.5: Resultados de resistência a flexão em 4 pontos (seco e após congelamento/degelo) obtidos para o Ultramilonito Quartzo Feldspático.

5.2.4 Desgaste Abrasivo Amsler

Este ensaio indica a redução de espessura em milímetros que as placas de rochas expõem após um percurso abrasivo de 1000. A resistência ao desgaste de uma rocha, está associada a sua composição mineralógica, granulometria, grau de fissuras e a sanidade da rocha.

O valor sugerido para este ensaio na Norma ABNT NBR 12042:1992 “Determinação do Desgaste por Abrasão” é $\leq 1,0$ mm e o valor sugerido por Frazão & Farjallat (1995) para o desgaste Amsler é $\leq 1,0$ mm. Os resultados do ensaio estão dispostos na tabela 5.2 e mais detalhados no Anexo 3.5.

Os resultados do ensaio de desgaste abrasivo mostraram que a amostra do Ultramilonito preenche os critérios técnicos de qualidade ornamental, apresentando um valor de 0,66 mm para um percurso de 1000m (Gráfico 5.6).

Mesmo a rocha apresentando 18,32 % Clorita, Sericita, epidoto, 26,34% de Feldspato Potássico, 34,51% de plagioclásio e possuindo um grau alto de microfissuras, exibiu uma boa resistência a abrasão que pode ter ocorrido devido a coesão dos minerais, preenchimento das microfissuras e tamanho da granulação de sua matriz.

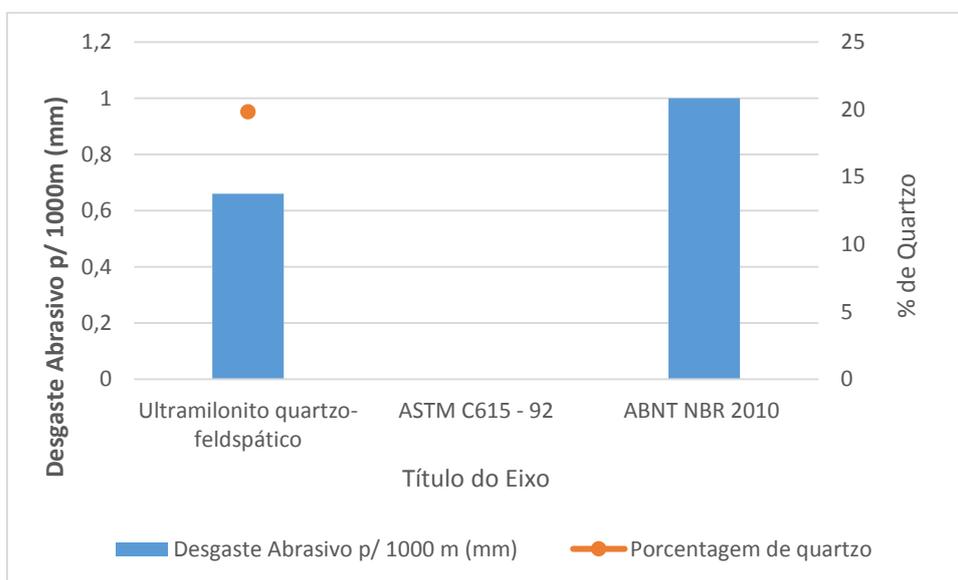


Gráfico 5.6: Resultados de resistência ao desgaste abrasivo obtidos para o Ultramilonito, relacionados com a porcentagem de quartzo.

5.2.5 Resistência ao impacto de Corpo Duro

Este ensaio expressa informações sobre do grau de tenacidade da rocha e sua capacidade de suportar ações mecânicas instantâneas. Essa propriedade relaciona-se tanto com o arranjo dos minerais como sua estrutura.

O valor limítrofe para à resistência ao impacto de corpo duro em rochas ornamentais e de revestimento sugeridas pela norma ABNT NBR 15845:2010 Anexo H é $\geq 0,3m$ e por Frazão & Farjallat (1995) é $\geq 0,4m$. O Ultramilonito obteve um valor de 0,39m, se enquadrando nos valores adotados pela ABNT NBR 2010. Os dados mais detalhados deste ensaio estão dispostos no Anexo 1.5

A resistência da rocha dá se pela coesão de seus minerais e pela recristalização dos cristais de quartzo, nota-se que os resultados deste ensaio encontra-se no limite do valor estipulado pela norma da ABNT, tal fato pode ter ocorrido por existirem microfissuras no decorrer de toda placa confeccionada para o ensaio (figura 5.1), pois mesmo com o seu preenchimento, quando a rocha recebe o impacto, sua quebra sempre se dá ao longo das microfissuras.

5.2.6 Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-Sônicas (m/s)

As velocidades das ondas que atravessam os corpos-de-provas da rocha dependem das suas características elásticas e da sua massa específica, sendo também influenciadas pelas fissuras presentes na amostra, que fazem diminuir o valor das velocidades.

Torquato *et al.* (2003) demonstram as possibilidades de utilizar o estudo da velocidade de propagação de ondas em algumas rochas graníticas aparentemente isotrópicas visando a determinação de anomalias mineralógicas ou estruturais em escala não visível a olho nu. A velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas por estar condicionada à estrutura, textura, porosidade e presença ou não de água nos poros, permite avaliar as condições de sanidade da rocha.

Analisando a tabela 5.4, percebe-se que a rocha mostra velocidades maiores do que os valores estabelecidos por Frazão & Farjallat(1995) para os três corpos de provas submetidos a este ensaio (compressão uniaxial, flexão em três pontos e flexão em quatro pontos), feitos na amostra da rocha seca. Estes valores ocorre devido os minerais presente

na rocha estarem bem coesos, acelerando a velocidade de propagação de ondas, o que não significa maior integridade da rocha.

Tabela 5.4 - Velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas (m/s) do Ultramilonito com os valores recomendados por Frazão & Farjallat (1995) e pela norma ASTM C-615 (1992).

Ensaio	Ultramilonito Quartzo Feldspático	ASTM C 615	Frazão & Farjallat
Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas nos corpos-de-prova para compressão uniaxial(m/s)	6031,1	n.e.*	≥4000
Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas nos corpos-de-prova para flexão em 3 pontos(m/s)	5891	n.e.*	≥4000
Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas nos corpos-de-prova para flexão em 4 pontos(m/s)	6049,41	n.e.*	≥4000

n.e. – Não especificado

5.3 Caracterização Radiométrica

Contemplando a Caracterização Radiométrica, adotou-se o ensaio de exalação de radônio realizado no DPM/IGCE – UNESP de Rio Claro, seguindo a metodologia retratada no capítulo II.

A radioatividade natural é responsável por 81% da dose anual total recebida pela população e o radônio contribui com 55% dessa dose, proveniente de materiais de construção e solo – dados mundiais (ICRP 60, 1991). Outras fontes naturais, como ^{40}K e raios cósmicos, excluindo o radônio, representam 26% da dose anual recebida. Os 19% restantes advêm das fontes artificiais de radiação (Gráfico 5.6).

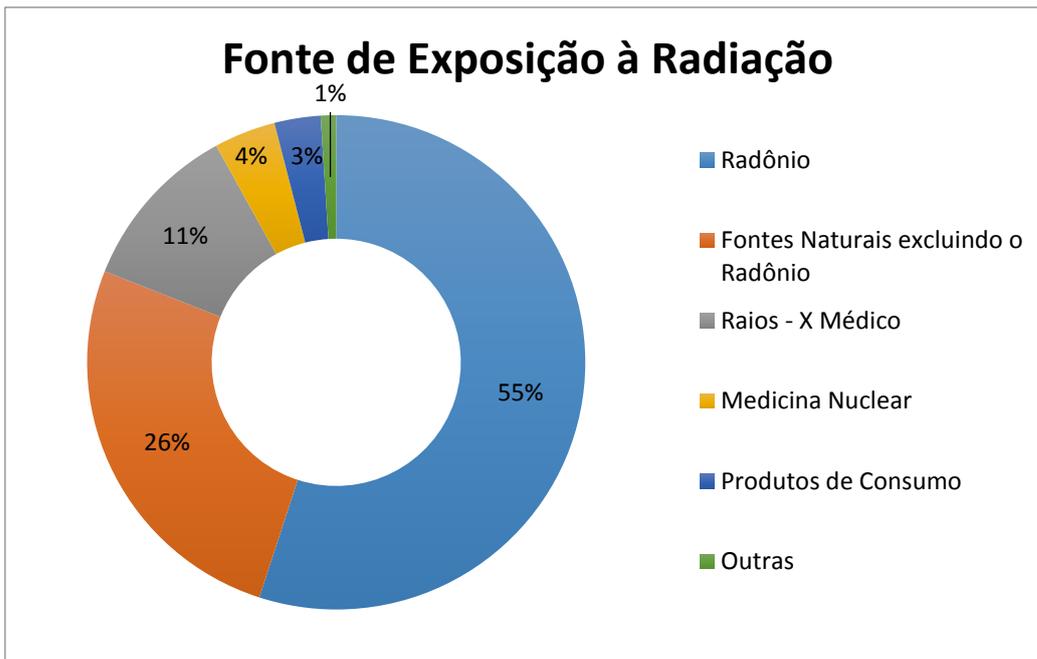


Gráfico 5.6 - Fontes de exposição à radiação (ICRP 60, 1991).

Comumente este ensaio é feito em placas polidas conforme são comercializadas exatamente para simular como seria o comportamento do gás nas placas fixadas em ambientes fechados, como residências e comércios. Para a referida dissertação optou-se fazer a quantificação do gás radônio na rocha britada em quatro frações seguindo a norma ABNT NBR 7211/2005 “Agregados para concreto – Especificação”, levando em consideração o material ser utilizado também como agregado para construção civil, para verificar o comportamento do radônio em uma área maior, já que foi feita uma comparação com os dados de (Azevedo 2013), onde foi executada a Quantificação de ^{222}Rn exalado em placas de 15 tipos de rochas do estado do Ceará incluindo o Ultramilonito em questão.

A quantificação da exalação do gás radônio deu-se através do monitoramento da evolução temporal do gás descrito em circuito fechado por meio de ciclos pré-definidos de 25 dias. Os resultados da exalação do gás ^{222}Rn foram expressos em (Bq/m³), encontram-se descritos na Tabela 5.5 e os dados mais detalhados do monitoramento estão no Anexo 1.6.

Tabela 5.5 - Valores obtidos do Ultramilonito, em um ciclo de 25 dias no detector de Rn AlphaGUARD, medidos em Bq.m⁻³.

BRITAS	PESO (Kg)	DIÂMETRO (mm)	CICLO 25 DIAS (Bq/m ³)
Brita 1	0,795	4,8 a 12,5	79,9
Brita 2	1,163	12,5 a 25,0	77
Brita 3	1,98	25,0 a 50,0	62,7
Brita 4	2,086	50,0 a 76,0	102,3

Fonte: Elaborada pela autora

A brita com maior volume e, por conseguinte, de maior granulação (brita 4) foi a que apresentou uma maior quantidade de radônio (102,3 Bq/m³). A brita número 3, que apresenta o segundo maior volume e a segunda maior granulação, apresentou a menor quantidade do gás exalado nas quatro frações (62,7 Bq/m³), expondo portanto uma variação de 34,6 Bq/m³ entre a maior e menor exalação.

A análise feita com a rocha em forma de placas polida por (Azevedo 2013), exibiu um valor de 60,00 Bq/m³ no ciclo de 25 dias (tabela 5.6), valor esse aproximado dos apresentados nas britas 1,2 e 3.

Como não existem normas brasileiras para este ensaio, foi feita uma comparação dos resultados com os limites aceitáveis de exposição do gás radônio em ambientes internos indicados pelas agências de saúde dos Estados Unidos e Canadá que seria de 150 Bq/m³.

No geral, a rocha apresentou baixos valores de exalação de radônio se mantendo inferiores a 150 Bq/m³ nas quatro frações analisadas. Segundo Azevedo 2013, o Ultramilonito *Green Galaxy* foi uma das rochas que apresentou as maiores variações na exalação do gás radônio, não apresentando uma constância na exalação entre os ciclos monitorados, exibindo valores baixos em algum ciclo com relação aos outros.

Comparando os dados de exalação da placa polida de Azevedo 2013 com os da rocha britada nota-se a semelhança da variação do gás em cada tipo de brita, independente do volume utilizado para cada fração. Não foi utilizado o mesmo volume em razão de que uma fração mínima como a que foi utilizada não iria alterar na emanação do gás, como foi comprovado nos resultados obtidos.

Tabela 5.6 - Quantificação de ^{222}Rn exalado de 15 amostras do Estado do Ceará, dando destaque para o Ultramilonito Green Galaxy.

Rochas	Ciclo 5 dias (Bq/m ³)	Ciclo 10 dias (Bq/m ³)	Ciclo 15 dias (Bq/m ³)	Ciclo 20 dias (Bq/m ³)	Ciclo 25 dias (Bq/m ³)
Green Galaxy – GG	9,33	19,00	48,00	17,00	60,00
Juparaná Gold – JG	213,00	273,00	314,00	305,33	321,67
Verde Ceará – VC	35,33	59,67	62,67	71,33	52,67
Verde Light – VL	72,00	82,67	77,33	140,00	94,00
Vermelho Filomena – VF	78,00	153,67	136,33	178,33	199,00
Red Dragon – RD	37,33	42,67	45,33	74,33	54,33
Yellow Tropical – YT	195,67	251,67	181,33	178,33	153,33
Branco Cristal Quartzo – BCQ	329,33	592,00	462,00	481,33	715,33
Rosa Iracema – RI	91,00	133,00	287,33	256,00	244,33
Cinza Prata – CP	54,33	54,00	74,67	124,00	72,33
Branco Ceará – BC	56,33	66,33	85,00	83,00	129,33
Branco São Paulo – BSP	102,33	139,67	159,33	102,67	199,33
Infinity Gold – IG	7,33	14,33	10,33	19,67	11,33
Cinza Ouro Branco – COB	51,00	41,33	40,33	54,00	39,67
Bourdeaux Terracota – BT	54,67	63,33	54,67	93,00	81,33

Fonte – Azevedo 2013

CAPITULO 6 - CONCLUSÕES

A rocha escolhida para estudo está localizada na Serra de Tucunduba, Município de Marco que fica no noroeste do estado do Ceará distando aproximadamente 255 Km de Fortaleza.

Os batólitos de Chaval e Tucunduba mostram sinais de terem sido afetados pela deformação Brasileira, ou seja, apresentam uma foliação concordante com as estruturas regionais e um carácter *sin*-cinemático bem marcado (Santos *et al.*, 2008).

O batólito de Tucunduba, denominado nos mapas geológicos por granito Tucunduba, encontra-se no meio de duas falhas, uma delas denominada como falha de Água Branca, explicando o carácter ultramilonítico do material.

As datações obtidas para o maciço de Tucunduba pelos métodos U/Pb em zircões, forneceram uma idade correspondente a 563 ± 17 Ma (Santos *et al.*, 2007).

A amostra estudada da rocha ornamental comercialmente designada para o mercado como *Green Galaxy* apresenta aspectos composicionais, texturais e estéticos favoráveis à utilização como rocha ornamental e para revestimento.

Com a caracterização petrográfica da rocha escolhida conclui-se que se trata de um Ultramilonito Quartzo Feldspático, com coloração predominante verde variando de verde musgo para verde escuro, com algumas áreas acinzentadas. São visíveis em toda a rocha fraturas irregulares preenchidas ora por um material claro, possivelmente composto por epidoto, quartzo e feldspato, ora por um material escuro composto por óxidos de ferro. A estrutura geral é foliada, de natureza ultramilonítica. Destacam-se faixas intensamente milonitizadas impossibilitando a identificação dos minerais em meio a uma matriz fina exibindo alguns cristais esbranquiçados de quartzo e feldspatos.

Com base nos resultados obtidos nas três lâminas, foi realizada uma média, da mineralogia e concluiu-se que a rocha é composta por aproximadamente de 25,45% de quartzo, 37,06% de feldspato potássico, 23,03% de plagioclásio, 8,70% de clorita, 4,76% de epidoto e 1,0% de óxidos e hidróxidos de ferro com aspecto pulveroso, além de traços de zircão, titanita e allanita.

Os contatos minerais são irregulares, com grãos bastante fraturados, em determinadas áreas o quartzo se apresenta recristalizado e bastante fraturado. Os tipos de

contatos predominantes são os serrilhados e côncavo-convexos, menos intensamente apresentam-se os contatos planos.

A intensidade de microfissuramento é considerada alta, como mostrado na lâmina, com aproximadamente 1,94 microfissuras/mm². As microfissuras predominantes são do tipo intergranulares e/ou transgranulares com 77,81%, as do tipo intragrãos compõem cerca de 22,18%. Em lâmina delgada as dimensões das microfissuras variam desde milimétricas até aproximadamente 10 mm, se dispõe na maioria das vezes nos feldspatos potássicos e oligoclásio.

Com resultados obtidos através da relação entre a massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente, constatou-se que o material estudado apresenta qualidades superiores a dos valores médios obtidos pela da norma ABNT NBR 2010. A massa específica aparente seca exos o valor de 2,675 g/cm³, a massa específica aparente saturada apresentou 2,677g/cm³, a porosidade aparente obteve um valor de 0,27% e a absorção d'água aparente mostrou o valor de 0,10 %.

No ensaio de compressão uniaxial, comparou-se os valores obtidos no ensaio com o valor proposto da norma ABNT NBR 2010, conclui-se que o material estudado apresenta uma boa resistência com atingindo valores de 146,1 com a rocha seca e 167,2 após o congelamento e degelo.

Percebe-se que o resultado na amostra após o congelamento e degelo foi superior ao da amostra seca. Tal fato pode ter ocorrido em consequência de predominar na rocha uma matriz muito fina e as microfissuras serem preenchidas totalmente por um material fino de difícil identificação e pelo fato dos quartzos estarem mais de 40% recristalizados. Com isso, após os ciclos de congelamento e degelo, os cristais podem ter adquirido uma maior coesão, tornando assim a rocha mais resistente.

No ensaio de resistência à flexão em 3 pontos demonstrou-se que a rocha obteve um valor de 17,3 Mpa com a amostra seca e 21,3 Mpa após o congelamento e degelo, um valor bem acima do exigido pela ABNT NBR 2010.

Como no ensaio de resistência a compressão uniaxial, amostra que passou pelos ciclos de congelamento e degelo, apresentou-se mais resistente que a seca, devido a recristalização do quartzo e a coesão de seus minerais. Os resultados certificaram uma alta resistência mecânica para as duas situações.

Na resistência à flexão por 4 pontos a rocha obteve um valor de 21,42 Mpa

com a amostra seca e 22,80 Mpa após o congelamento e degelo, um valor bem acima do exigido pela ABNT NBR 2010.

Os resultados do ensaio de desgaste abrasivo mostraram que a amostra do Ultramilonito possui boa resistência mecânica ao desgaste, preenchendo os critérios técnicos de qualidade ornamental, apresentando um valor de 0,66 mm para um percurso de 1000m.

O valor limítrofe para a resistência ao impacto de corpo duro em rochas ornamentais e de revestimento sugeridas pela norma ABNT NBR 2010 é $\geq 0,3m$ e por. O Ultramilonito obteve um valor de 0,39m, se enquadrando nos valores adotados pela referida norma.

No ensaio feito para quantificar a exalação do gás radônio foi feita uma comparação com os dados de (Azevedo 2013), onde foi executado a Quantificação de ^{222}Rn exalado em placas de 15 tipos de rochas do Estado do Ceará, incluindo o Ultramilonito em questão. Obtiveram-se os resultados da exalação do gás através do monitoramento da evolução temporal do gás descrito em circuito fechado por meio de ciclos pré-definidos de 25 dias. Foi feita uma comparação dos resultados com os limites aceitáveis de exposição do gás radônio em ambientes internos indicados pelas agências de saúde dos Estados Unidos e Canadá que seria de 150 Bq/m^3 . De modo geral, a rocha apresentou baixos valores de exalação de radônio a 150 Bq/m^3 de acordo com a nas quatro frações analisadas.

Do ponto de vista tecnológico o Ultramilonito conhecido comercialmente como *Green Galaxy* apresenta um bom desempenho físico-mecânico, sugerindo que pode ser aplicável como rocha ornamental e de revestimento em obras civis, dando destaque para sua excelente resistência após o ciclo de congelamento e degelo, recomendando também sua utilização em países de clima quentes e países de clima frio.

Recomenda-se um estudo mais detalhado da rocha, dando ênfase ao ensaio de congelamento e degelo nos corpos de prova de compressão uniaxial, flexão em três pontos e flexão em quatro pontos, realizando o ensaio da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e petrografia na rocha seca e após o congelamento e degelo para obter mais informações a respeito da maior resistência após o ciclo de congelamento.

CAPITULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Informe 01/2013 – Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2012. 2013. Disponível em: <http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/11476/Informe_01_2013.pdf> Acesso em: 15 Jan 2013.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Informe 18/2009 – Situação Mundial e Posição Brasileira no Setor de Rochas Ornamentais em 2008. 2009. Disponível em: <http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6661/Situacao_Mundial2008.pdf> Acesso em: 25 nov. 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
(NBR – 12.042, 1992). Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão
(NBR – 15845, 2010). Anexo A (normativo) – Análise petrográfica – Método de ensaio
(NBR – 15845, 2010). Anexo B (normativo) – Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água – Método de ensaio
(NBR – 15845, 2010). Anexo D (normativo) – Resistência ao congelamento e degelo - Método de ensaio
(NBR – 15845, 2010). Anexo E (normativo) – Resistência à compressão uniaxial – Método de ensaio
(NBR – 15845, 2010). Anexo F (normativo) – Módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos) - Método de ensaio
(NBR – 15845, 2010). Anexo G (normativo) – Módulo de ruptura (flexão por carregamento em quatro pontos) - Método de ensaio
(NBR – 15845, 2010). Anexo H (normativo) – Resistência ao impacto de corpo duro – Método de ensaio

AL-JARALLAH, M.; 2001; Radon exhalation from granites used in Saudi Arabia. *Journal of Environmental Radioactivity*, 53, p. 91-98, 2001

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SBG/Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, 1977, Campina Grande. *Boletim de Resumos...* Campina Grande – PB, p. 363-391. 1977.

AMARAL, P. G. Q.; GALEMBECK, T. M. B.; BONOTTO, D. M.; ARTUR, A. C. Uranium distribution and radon exhalation from Brazilian dimension stones. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 70, nº 4, p. 808-817, 2012.

AMARAL, P. G. Q. Caracterização Radiométrica e de Exalação de Radônio em Rochas Ornamentais Silicáticas Beneficiadas no Estado do Espírito Santo. 2011. 193 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 2011.

ANJOS, R.M.; VEIGA, R.; SANTOS, A.M.A.; AGUIAR, J.G.; FRASCA, M.H.B.O.; BRAGE, J.A.P.; UZÊDA, D.; MANGIA, L.; FACURE, A.; MOSQUERA, B.; CARVALHO, C. 2005. Natural radionuclide distribution in Brazilian commercial granites. *Radiation Measurements*; 39:245-253.

ANTUNES, F.A. 2004. Evolução Tectono-Estrutural do Campo de Xaréu (Sub-Bacia de Mundaú, Bacia do Ceará – NE do Brasil). Abordagem Multiescala e Pluriferramental. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 355p.

ARTHAUD, M.H.; CABY, R.; FUCK, R.A.; DANTAS, E.L.; PARENTE, C.V. (2008). Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa, *In: Pankhurst, R.J.; Trouw, R.A.J.; Brito Neves, B.B.; De Wit, M.J. (eds.) West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society, London, Special Publications, vol. 294, p. 49-67.*

ASTM – American Society for Testing and Materials (1990): Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock – D2845. Philadelphia, USA.

ASTM – American Society for Testing and Materials, C-615 (1992). Standard Specification for Granite Dimension Stone.

AZEVEDO, L. R. P. Emissão de radônio em rochas ornamentais e para revestimento do estado do Ceará, Brasil / Leiliane Rufina Pereira de Azevedo. – Rio Claro : [s.n], 2013 185 f. : il., figs., gráfs., tabs.

BRITO NEVES, B.B. 1983. O mapa geológico do Nordeste oriental do Brasil, escala 1/1.000.000. Tese de Livre Docência, IG-USP, 177p. São Paulo, SP.

BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, E. J.; CAMPOS NETO, M. C.; KOZUCH, M. O evento Cariris Velhos na Província Borborema. Revista Brasileira de Geociências, v. 25, p. 279-296, 1995.

BRITO NEVES, B.B., DOS SANTOS, E. J. e VAN SCHMUS, W. R. 2000. Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil. In: CORDANI, U., MILANI, E. J., THOMAZ FILHO, A. & CAMPOS, D. A. (eds) Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, 151–182.

BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M. C.; VAN SCHMUS, W. R.; FERNANDES, T. M. G.; SOUZA, S. L. O terreno Alto Moxotó no leste da Paraíba (“Maciço Caldas Brandão”). Revista Brasileira de Geociências, v. 31, n. 2, p. 185-194, 2001.

CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A.M.; MEDEIROS, M.F.; PAIVA, I.P.; GOMES, F.E.M.; CAVALCANTE, S.N.; CAVALCANTE, J.E.; MELO, A.C.U.; DUARTE NETO, V.C.; BENEVIDES, H.C. (2003). Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000. Fortaleza, *Ministério das Minas e Energia Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais*.

CHIODI FILHO, C. Balanço das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2004 - Novo Recorde Histórico de Crescimento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1. e SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2. 2005, Guarapari. Anais... Guarapari: CETEM/CETEMAG, 2005. 1CD.

CHIODI FILHO, C. Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais. CNPq/CETEM. Série Estudos e Documentos, 28. Rio de Janeiro, 1995. 75 p., il.

CHIODI FILHO, C. Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no primeiro semestre de 2004. Revista Pedras do Brasil, Espírito Santo, n. 29, p.50- 61, 2004.

CHIODI FILHO, C. & RODRIGUES, E. DE P. Quadro setorial brasileiro das rochas ornamentais e de revestimento. Revista Rochas de Qualidade. São Paulo, Edição 147, ano XXVIII, p. 86-104, julho/agosto 1999.

CICCU, R. *et al.* Valutazione Sperimentale Delle Caratteristiche di lavoro Degli Utensili Diamantati. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 4., 1996, Canela. Anais... Canela: SBGE, 1996, p. 131-139.

COSTA, M.J.; França, J.B. De; Bacciegga, I.F.; Habekost, C.R.; Cruz, W.B. da. 1973. *Geologia da Bacia Jaibaras: Ceará, Piauí e Maranhão*. Projeto Jaibaras. DNPM/CPRM. Fortaleza, Vol.1 e 2.

CRESPO, A. Novas tecnologias para extração de rochas ornamentais. Rochas e Equipamentos, Lisboa, n. 24, p. 122-136. Portugal. 1991.

FERNANDES, T. W. G. Diagnóstico da Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e de Revestimentos do Estado do Ceará: mineração serrarias, marmorarias

e desafios do Setor. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 122 p. 2004.

FETTER A.H., *et al.* Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceara State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, Osaka, v. 6, n.2, p. 265-273, 2003.

FETTER, A. H. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana. 164p. 1999. Tese (Doutorado) – Dep. of Geology, Kansas University. 1999.

FIEC – Federação das Indústrias do Estado do Ceará. 2009. Estudo Setorial – Rochas Ornamentais – Dezembro/2012. Disponível em:

<http://www.fiec.org.br/cin/principal/estatisticas/documents/rocha2012.pdf>

Acesso em: 22 jan 2013.

FRASCÁ, M. H. B.de O. 2003. *Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento*. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo, 264 pp.

HIBBARD, M.J. Petrography to petrogenesis. USA.1995. p. 596. ISRM – International Society of Rock Mechanics. Suggested methods for the determining the uniaxial compressive strength and deformability of rocks materials. *International Journal of Rock Mechanics*, Nova York, v. 16, Abstract, 1979.

MABESOONE, J. M.; Beurlen, K.; Rand, H. M. 1971. *Geologia da Bacia de Jaibas (Ceará)*. Universidade Federal de Pernambuco, Instituto de Geociências. Série B: Estudos e Pesquisas, 2: 1-116.

MATTOS, I. C. Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do stock granítico Serra do Barriga, Sobral (CE). 2005. 260 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 2005.

MELO, K. E. V. & Castro, L.M. 1989. *Avaliação econômica dos granitos do Ceará*. MME/CEMINAS. Fortaleza, 114 pp.

MENDES, V. A. Pesquisa geológica do potencial regional de rochas ornamentais. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5. 2005. Recife. *Anais...Recife* (Editor: J. C. Souza; R. Neves; Recife PPGE Minas/SBG). p. 225-229. Recife - PE. 2005.

MORAES, M.C. & RODRIGUES, E.P. Exemplo de Aplicação de Coloração Seletiva de Feldspato Potássicos e Cálcicos, como Técnica Auxiliar no Estudo de Rochas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 21. 1978. Blumenau, *Anais....Blumenau*: v. 24, n. 97, p. 32-35, 1978.

MOURA, C.L. 2005. Radioatividade Natural e Emissão de ^{222}Rn em rochas Ornamentais Provenientes de Diferentes Séries Magmáticas Utilizadas como Revestimento Interno. Tese Doutorado apresentada ao IGCE/UNESP. 195p.

MOURA, C.L.; ARTUR, A.C.; BONOTTO, M.D. 2007a. A influência da porosidade na taxa de exalação de ^{222}Rn de rochas utilizadas como ornamental e de revestimento. Livro de Resumos do X Simp. Geologia do Sudeste (SBG - Núcleos SP/ES/MG). p. 111. Casa da Glória, Diamantina - MG; nov./2007.

MOURA, C.L.; ARTUR, A.C.; BONOTTO, D.M. 2005. Radioatividade natural em rochas ornamentais provenientes de diferentes séries magmáticas. I Congr. Internacional de Rochas Ornamentais e II Simp. Brasileiro de Rochas Ornamentais (Realização: CETEM/CETEMAG). Guarapari - ES. CD-ROOM (6 páginas), Ref. 072.

MOURA, C.L.; ARTUR, A.C.; BONOTTO, M.D.; GUEDES, S. 2006. Radioatividade natural e taxa de exalação de radônio em rochas ornamentais de diferentes séries magmáticas. Anais do 43o Congr.Bras.Geol. (SBG); Apresentação Oral S13:AO-244. Aracaju - SE.

NAVARRO, F. C. Granitos Ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico e mecânico. In: CONGRESSO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2, 1998, Punta del Leste. *Anais...* Montevideo: SUG, 1998, p. 103-107.

NOGUEIRA NETO, J.A., Evolução geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo Noroeste da Província Borborema. 2000. 239 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional), Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

NOVAIS, F.R.G., BRITO NEVES, B. B. DE & KAWASHITA, K. 1979. Reconhecimento cronoestratigráfico da região noroeste do Ceará. In: "Simp. Geol. Nordeste" 9 Natal. Atas ... Fortaleza, Bol. Soc. Bras. Geol. Núcleo Nordeste 7: 93-110.

PRADO, E. S.; MENDONÇA, J. C. G. S.; MORAIS, J. B. A.; MEDEIROS, M. E.; ASSUNÇÃO, P. R. S.; ANDRADE, V. A.; MEDEIROS, R. P. 1981. Geologia da região NW do Estado do Ceará – Projeto Martinópole. DNPM/CPRM – Série geologia básica 17 – Brasília – 59 pp, incluindo mapa.

RODRIGUES, E. P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J. J. M. Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. *Revista Rochas e Equipamentos*, Lisboa, v. 47, 2p. 1997.

RODRIGES, E.P.; COUTINHO, J.M.V.; CHIODI FILHO, C., 1996; Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental. São Paulo: Rochas de Qualidade. n. 127, p. 80-84.

SPEELMAN, W., 2004. Master of Science full thesis, Department of Physics, University of the Western Cape, Australia. Modeling and Measurement Of Radon Diffusion Through Soil for Application On Mine Tailings Dams, pp. 36 - 63.

SALES; F. A. C. B. & MORAIS, J. O. Proposta metodológica de pesquisa para rochas ornamentais. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Fortaleza – CE. *Anais...Fortaleza – CE*: (Editor: F. W. H. Vidal; M. A. B. Lima; Rio de Janeiro, CETEM/SBG), 2003, p. 2-12.

SANTOS, T.J.S.; FETTER, A.H.; HACKSPACHER, P.C.; VAN SCHMUS W.R.; NOGUEIRA NETO, J.A. 2008. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* 25.p 271–284.

SANTOS, M. V.; OLIVEIRA, T. C. C.; ABREU, F. A. M. 2007. Regionalização de dados de cartografia geológica utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto: o exemplo da Folha-Sobral-CE. INPE. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil*. p. 2155-2161.

SANTOS, T.J.S.; NOGUEIRA NETO, J.A.; FETTER, A.H.; HACKSPACHER, P.C. 2001. Petrografia e Litogeoquímica das Rochas do Embasamento Cristalino da Região De Granja – Ce. *Revista de Geologia*, 2001, Vol. 14: 33-48.

SANTOS, T.J. & HACKSPACHER, P.C. 1992. Geologia do Grupo Martinópole, noroeste do Ceará. In: *Cong. Bras. Geol.*, 37. São Paulo,1992. *Anais*. São Paulo, SBG. v.1. p. 298-299.

SANTOS, T.J.S. 1999. Evolução tectônica e geocronológica do extremo noroeste da Província Borborema. Curso de Pós-Graduação em Geociências – IGCE/UNESP. Tese de Doutorado, 186p.

SMALL, H. L. 1914. *Geologia e Supprimento d'Água subterrânea no Piauí e parte do Ceará*. Ministério da Viação e Obras Públicas. Inspectoria de Obras Contra as Secas. Série I.D. Geologia. Rio de Janeiro, 169pp. (Publicação 32).

SPEELMAN, W., 2004. Master of Science full thesis, Department of Physics, University of the Western Cape, Australia. Modeling and Measurement Of Radon Diffusion Through Soil for Application On Mine Tailings Dams, pp. 36 - 63.

SWAKON, J., KOZAK, K., PASZKOWSKI, M., GRADZINSKI, R., ŁOSKIEWICZ, J., MAZUR, J., JANIK, M., BOGACZ, J., HORWACIK, T., OLKO, P. 2004. Radon concentration in soil gas around local disjunctive tectonic zones in the Krakow area. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 78, Issue 2, pp 137 – 149.

TORQUATO, J. R. & NOGUEIRA NETO, J. A. 1996. Historiografia da Região de Dobramentos do Médio Coreau. *Revista Brasileira de Geociências*. Fortaleza – CE. Vol.26(4):303-314.

VAN SCHMUS, W. R., BRITO NEVES, B. B., HACKSPACHER, P. C., FETTER, A. H., KOZUCH, M.; DANTAS, E. L.; HABINSKI, M. The Borborema province: a collage of polycyclic domains in NE Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17, 1997. *Anais...* Sociedade Brasileira de Geologia, 1997. p.115-120.

VAUCHEZ, A.; NEVES, S.; CABY, R.; CORSINI, M.; EGYDIO SILVA, M.; ARTHAUD, M.; AMARO, V. (1995). The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 8, p. 247-266.

ANEXO 1 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS – ULTRAMILONITO *GREEN GALAXY*.

1.1 – Índices Físicos

ENSAIO PARA DENSIDADE APARENTE, POROSIDADE APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA – NORMA ABNT NBR 15845:2010 (ANEXO B).

Amostra: Green Galaxy

Data: 25/03/2013

Procedência: Marco -Ceará

AMOSTRA/ EXEMPLAR	DENSIDADE APARENTE Kg/m ³	POROSIDADE %	ABSORÇÃO %
1	2662,11	0,28	0,10
2	2662,45	0,31	0,11
3	2673,73	0,29	0,11
4	2670,05	0,35	0,13
5	2672,50	0,23	0,09
6	2697,03	0,28	0,10
7	2663,48	0,31	0,12
8	2682,19	0,21	0,08
9	2674,98	0,20	0,07
10	2688,15	0,21	0,08
Média	2674,67	0,27	0,10
Desvio Padrão	11,5358245	0,050401004	0,019050255
Coef. De Variação	0,004312995	0,189170694	0,191173883

1.2 Resistência à Compressão Uniaxial Simples

ENSAIO PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL SIMPLES –
NORMA ABNT NBR 15845:2010 (ANEXO E).

Amostra: Green Galaxy

Data: 08/04/2013

Procedência: Marco -Ceará

	Corpo- de-prova	Dimensões dos Corpos-de-prova (mm)			Carga de Ruptura	Tensão de Ruptura
	n°	altura	aresta b	aresta d	(kN)	(MPa)
ao natural (seco em estufa A 70° c)	1	75,70	73,08	74,02	914,60	169,09
	2	75,65	74,46	75,37	652,60	116,29
	3	75,13	75,10	73,67	956,50	172,88
	4	73,36	71,93	73,67	624,80	117,91
	5	75,53	73,42	71,12	811,45	155,40
	6	75,38	74,69	70,98	768,80	145,03
	Média (T ao natural):					146,10
Desvio Padrão:					24,56328616	
Coefficiente de Variação					0,168126538	
após congelamento	7	75,81	74,16	70,82	716,85	136,50
	8	75,56	74,42	71,60	1366,20	256,42
	9	74,91	74,02	72,57	621,80	115,76
	10	75,73	75,62	75,00	800,35	141,12
	11	75,22	74,73	75,79	1243,00	219,46
	12	75,97	75,09	74,29	747,95	134,08
	Média (T após congelamento e degelo):					167,22
Desvio Padrão:					56,67070571	
Coefficiente de Variação					0,338889433	
K = (T congelamento e degelo)/(T natural):					1,14	

➤ Velocidade de Pulso Ultra Sônico (Amostra seca)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	11,8	75,70	6415
2	12,7	75,65	5957
3	12,3	75,13	6108
4	12,7	73,36	5776
5	12,6	75,53	5994
6	12,7	75,38	5935
Média:			6031
Desvio Padrão:			216,53

1.3 - Resistência à Flexão por Carregamento em três pontos

ENSAIO PARA RESISTÊNCIA À FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM TRÊS PONTOS – NORMA ABNT NBR 15845:2010 (ANEXO F).

Amostra: Green Galaxy

Data: 30/04/2013

Procedência: Marco –Ceará

➤ Resultados da amostra seca

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	50,99	50,81	50,90	50,37	50,77	101,82	101,25	101,15	101,85	101,52	180	14024	14,5
2	50,57	50,18	50,44	50,39	50,40	101,20	101,13	100,92	100,98	101,06	180	16088	16,9
3	50,75	50,68	50,93	50,89	50,81	101,28	101,00	101,03	100,49	100,95	180	20338	21,1
4	50,68	50,20	50,13	50,55	50,39	101,76	101,86	101,00	101,05	101,42	180	17100	17,9
5	50,67	50,27	50,50	50,57	50,50	100,30	100,56	100,62	100,81	100,57	180	14912	15,7
6	50,84	50,98	50,87	50,55	50,81	101,28	101,51	101,22	100,69	101,18	180	16972	17,5
Média:					50,61						101,12	16572,3	17,3
Desvio Padrão:					0,206						0,341	2195,62	2,25
											Coefficiente de variação		0,13

➤ Resultados da amostra após o congelamento e degelo

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	50,47	50,44	50,78	50,30	50,50	101,75	101,44	101,62	101,77	101,65	180	18608	19,4
2	50,73	50,67	50,65	50,46	50,63	101,35	101,16	101,64	101,67	101,46	180	23852	24,8
3	50,40	50,23	50,36	50,46	50,36	101,66	101,80	101,92	101,51	101,72	180	21104	22,1
4	50,62	50,56	50,51	50,60	50,57	101,15	101,26	101,67	101,88	101,49	180	19682	20,5
5	50,87	50,63	50,31	50,47	50,57	101,82	101,77	101,48	101,41	101,62	180	16798	17,5
6	50,34	50,22	50,37	50,22	50,29	101,73	101,60	101,95	101,88	101,79	180	22316	23,4
Média:					50,49						101,62	20393,33	21,3
Desvio Padrão:					0,134						0,130	2560,62	2,69
											Coefficiente de Variação	0,126584111	

➤ Velocidade de Pulso Ultra Sônico (Amostra seca)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (μ s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	36,2	202,08	5582
2	34,6	201,43	5822
3	31,1	202,04	6496
4	35,5	200,87	5658
5	34,2	201,50	5892
6	34,1	200,94	5893
Média:			5891
Desvio Padrão:			322,745

1.4 - Resistência à Flexão por Carregamento em quatro pontos

ENSAIO PARA RESISTÊNCIA À FLEXÃO POR CARREGAMENTO EM QUATRO PONTOS – NORMA ABNT NBR 15845:2010 (ANEXO F).

Amostra: Green Galaxy

Data: 09/05/2013

Procedência: Marco –Ceará

➤ Resultados da amostra seca

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa	
	espessura (d)					largura (b)								
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b				
1	24,17	24,45	24,28	24,40	24,33	40,70	40,29	40,36	40,86	40,55	200	3646	22,79	
2	24,72	25,12	24,52	25,14	24,88	40,95	40,26	40,18	40,47	40,47	200	2978	17,84	
3	24,61	24,55	24,39	25,37	24,73	40,80	40,96	40,93	40,55	40,81	200	3326	19,99	
4	23,34	23,79	23,70	23,94	23,69	40,52	40,88	40,63	40,73	40,69	200	3994	26,23	
5	25,14	24,65	25,17	25,09	25,01	40,81	40,89	40,72	40,74	40,79	200	3622	21,29	
6	25,13	24,55	25,23	25,05	24,99	40,90	40,84	40,93	40,98	40,91	200	3472	20,38	
Média:					24,60						40,70			
Desvio Padrão:					0,51261						0,169			
											Coefficiente de variação	0,133621593		

➤ Resultado após congelamento e degelo

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				média	largura (b)				média			
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	24,27	24,15	24,20	24,20	24,21	40,70	40,29	40,46	40,85	40,58	200	3398	21,44
2	24,62	24,78	24,56	24,99	24,74	40,24	40,52	40,57	40,48	40,45	200	2858	17,32
3	24,63	24,52	24,92	24,30	24,59	40,11	40,50	40,05	40,13	40,20	200	3746	23,11
6	24,65	23,48	23,91	23,60	23,91	40,77	40,97	40,69	40,87	40,83	200	4746	30,50
5	25,03	24,49	25,35	24,51	24,85	40,75	40,79	40,64	40,63	40,70	200	3572	21,33
6	24,66	25,15	24,55	25,08	24,86	40,89	40,66	40,86	40,42	40,71	200	3870	23,07
Média:					24,53						40,58		
Desvio Padrão:					0,3859955						0,2253035		
											Coefficiente de Variação	0,189774022	

➤ Velocidade de Pulso Ultra Sônico (Amostra seca)

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (μs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	41,2	250,12	6071
2	41,8	250,22	5986
3	41,9	250,15	5970
4	40,4	250,00	6188
5	41,2	250,03	6069
6	41,6	250,12	6013
Média:			6049
Desvio Padrão:			79,648

1.5 - Desgaste Abrasivo Amsler

ENSAIO PARA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO (MÉTODO AMSLER) - NORMA ABNT NBR 12042:1992.

Amostra: Green Galaxy

Data: 22/03/2013

Procedência: Marco –Ceará

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média	Média	
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)	(500m)	(1000m)	
1	1	9,49	1	9,30	1	8,96	0,19	0,53	0,20	0,50	
	2	9,41	2	9,33	2	9,00	0,08	0,41			
	3	9,60	3	9,38	3	9,12	0,22	0,48			
	4	9,65	4	9,36	4	9,07	0,29	0,58			
2	1	10,01	1	9,83	1	9,67	0,18	0,34	0,24	0,48	
	2	10,27	2	9,96	2	9,78	0,31	0,49			
	3	10,41	3	10,12	3	9,80	0,29	0,61			
	4	10,17	4	9,99	4	9,69	0,18	0,48			
									média entre os corpos de prova	0,22	0,49
									desvio padrão	0,03	0,01

1.6 Resistência ao impacto de Corpo Duro

ENSAIO PARA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO - NORMA ABNT NBR 15845:2010 (ANEXO H).

Amostra: Green Galaxy

Data: 25/03/2013

Procedência: Marco –Ceará

		Corpos - de - prova																
		1			2			3			4			5				
altura das quedas (cm)		nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	nada observado	lascamento	fissura	ruptura	
	20		X			X				X				X				X
25		X			X				X				X				X	
30			X			X			X				X				X	
35		X				X			X				X				X	
40			X			X		X					X				X	
45				X					X				X					
50									X									
55																		
espessura	e 1	25,61			e 1	24,49			e 1	24,94			e 1	24			e 1	24,55
	e 2	24,51			e 2	24,15			e 2	23,82			e 2	23,65			e 2	23,74
	e 3	24,74			e 3	23,84			e 3	23,5			e 3	23,52			e 3	23,9
	e 4	25,47			e 4	24,28			e 4	24,45			e 4	23,46			e 4	24,03
méd ia		25,08				24,19				24,18				23,66				24,06
		Média das alturas de queda correspondentes à fissura da rocha:															0,39m	
		Média das alturas de queda correspondentes à ruptura da rocha:															0,44m	