



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

ALEXANDRE SOUZA RODRIGUES

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA ROCHA PEGMATÍTICA
LOCALIZADA NA REGIÃO DE EQUADOR - RN VISANDO A SUA UTILIZAÇÃO
COMO ROCHA ORNAMENTAL**

Recife
2017

ALEXANDRE SOUZA RODRIGUES

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA ROCHA PEGMATÍTICA
LOCALIZADA NA REGIÃO DE EQUADOR - RN VISANDO A SUA UTILIZAÇÃO
COMO ROCHA ORNAMENTAL**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Mineral.

Área de concentração: Rochas Ornamentais.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira
Campos Barros.

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

Recife
2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

- R696c Rodrigues, Alexandre Souza.
Caracterização tecnológica de uma rocha pegmatítica localizada na região de Equador - RN visando a sua utilização como rocha ornamental / Alexandre Souza Rodrigues. – 2017.
85 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros.
Coorientadora: Profa. Dra. Felisbela Maria da Costa Oliveira.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2017.
Inclui Referências e Apêndices.
1. Engenharia Mineral. 2. Rocha ornamental. 3. Caracterização tecnológica. 4. Mercado. I. Barros, Márcio Luiz de Siqueira Campos. (Orientador). II. Oliveira, Felisbela Maria da Costa. III. Título.
- UFPE
- 622.35 CDD (22. ed.) BCTG/2017-229



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

ALEXANDRE SOUZA RODRIGUES

**“CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA ROCHA PEGMATÍTICA
LOCALIZADA NA REGIÃO DE EQUADOR - RN VISANDO A SUA UTILIZAÇÃO
COMO ROCHA ORNAMENTAL”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ROCHAS ORNAMENTAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do
Dr. MÁRCIO LUIZ DE SIQUEIRA CAMPOS BARROS, considera o candidato,

ALEXANDRE SOUZA RODRIGUES, Aprovado.

Recife, 31 de Março de 2017.

Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros
Orientador (UFPE)

Prof.^a Dr^a Felisbela Maria da Costa Oliveira
Coorientadora (UFPE)

Prof. Dr. Almany Costa Santos
Examinador Externo (UFPE)

*Dedico este trabalho a minha esposa
Maria Aparecida Rocha Rodrigues, por
toda a paciência, e dedicação nestes
momentos de esforço tão intenso e
tão gratificante.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem a presença dele na minha vida nunca iria conseguir vencer tantas batalhas;

Aos meus pais pelo apoio com relação aos meus estudos, sempre ensinando o caminho correto a ser seguido na vida;

A minha esposa Maria Aparecida Rocha Rodrigues que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos, sempre com muita paciência e dedicação;

Aos professores Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros e Dr^a Felisbela Maria da Costa Oliveira pela orientação neste trabalho e pelos ensinamentos passados ao longo dessa jornada;

Aos Professores Júlio César de Sousa, Eldemar de Albuquerque Menor, Kenia Valença Correia, Evenildo Bezerra de Melo, Carlos Magno por terem passado um valioso conhecimento que servirá para toda a minha vida;

A empresa Mineração Coto Comércio Importação e Exportação Ltda. pelo fornecimento das amostras que foram utilizadas neste trabalho;

Aos meus amigos João Neto Monteiro, Jayson Dagoberto dos Santos, Lucio Flávio Moreira, Emanuel Itaquê, Silas Leonardo e tantos outros que de alguma forma fizeram parte desta empreitada.

RESUMO

Do ponto de vista comercial as rochas ornamentais se diferenciam pelo seu padrão estético tendo como elementos relevantes para essa diferenciação a sua cor, textura e granulometria. Suas principais aplicações são na utilização em revestimentos internos e externos, elementos estruturais, elementos de composição arquitetônica, elementos artísticos decorativos e arte funerária. A caracterização tecnológica destes tipos de materiais resume-se numa etapa fundamental onde os parâmetros incluídos nesta servem de suporte para nortear a escolha do tipo de aplicação mais adequada para a rocha em estudo. Neste trabalho será apresentado o estudo das propriedades tecnológicas de uma rocha granítica localizada na região de Equador-RN. Além da análise petrográfica da rocha foram estudadas propriedades tais como a densidade aparente, porosidade aparente, absorção d'água, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, resistência ao impacto, resistência ao desgaste abrasivo Amsler. A partir da análise petrográfica macroscópica foi determinado que a rocha em estudo trata-se de uma rocha granítica intrusiva de textura pegmatítica. Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica foram comparados com os parâmetros presentes nas normas ABNT NBR 15844/2010 e ASTM C-615. Os valores encontrados para os índices físicos apresentaram-se dentro das normas ABNT NBR 15844/2010 e ASTM C-615, com exceção da porosidade e absorção que apresentaram valores acima dos estabelecidos nas normas, porém bem próximos. Os valores médios de resistência à compressão, e resistência à flexão apresentaram-se bem abaixo dos limites mínimos estabelecidos nas normas ABNT NBR 15844/2010 e ASTM C-615, exigindo assim uma maior atenção quando este material for aplicado em situações que envolvam esses tipos de solicitações. Os valores médios encontrados para resistência ao impacto e resistência ao desgaste abrasivo Amsler encontraram-se dentro dos padrões determinados na norma ABNT NBR 15844/2010, credenciando o material a ser utilizado em aplicações tais como revestimento de pisos, soleiras, degraus, mesas, balcões, pias dentre outras aplicações. Ao final deste trabalho conclui-se que a rocha em estudo, por apresentar uma excelente qualidade estética e parâmetros tecnológicos em sua maioria condizentes com os parâmetros normativos, pode ser utilizada no mercado de rochas ornamentais, para os mais variados fins.

Palavras chave: Rocha ornamental. Caracterização tecnológica. Mercado.

ABSTRACT

From the commercial point of view, the ornamental rocks are distinguished by their esthetic pattern having as relevant elements for this differentiation their color, texture and granulometry. Its main applications are in the use in internal and external coatings, structural elements, elements of architectural composition, decorative artistic elements and funerary art. The technological characterization of these types of materials is summarized in a fundamental step where the parameters included in this one serve as support to guide the choice of the most appropriate type of application of this rock. In this work will be presented the study of the technological properties of a granite rock, localized in the region of Equador - RN. In addition to the petrographic analysis of the rock, properties such as bulk density, porosity, water absorption, uniaxial compression strength, flexural strength, impact strength and Amsler abrasive wear resistance were studied. The results obtained in the technological characterization tests were compared with the parameters present in the standards ABNT NBR 15844/2010 and ASTM C-615. The values found for the physical indices were within the ABNT NBR 15844/2010 and ASTM C-615 standards, with the exception of porosity and absorption that presented values above those established in the standards but very close. The average values of compressive strength and flexural strength were well below the minimum limits established in standards ABNT NBR 15844/2010 and ASTM C-615, which requires greater attention when this material is applied in situations involving these types of requests. The average values found for impact resistance and resistance to Amsler abrasive wear were within the standards established in ABNT NBR 15844/2010, accrediting the material to be used in applications such as floor covering, sills, steps, tables, counters , sinks and so on. At the end of this work it is concluded that the rock in study, due to its excellent esthetic quality and technological parameters, most of which are acceptable in normative terms, can be used in the ornamental rock market for a wide range of purposes.

Keywords: Ornamental rock. Technological characterization. Marketplac.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Granito preto são marcos.....	18
Figura 2 – Mármore Carrara.....	19
Figura 3 – Gnaisse.....	20
Figura 4 – Ardósia Green Slate.....	20
Figura 5 – Quartzito são Tomé Bege.....	21
Figura 6 – Pedra Cariri Amarela.....	21
Figura 7 – Travertino Bege Bahia.....	22
Figura 8 – Poligonal da área onde se localiza a rocha ornamental em estudo.....	31
Figura 9 – Clima do estado do Rio Grande do Norte.....	32
Figura 10 – Geomorfologia do Estado do Rio Grande do Norte.....	37
Figura 11 – Mapa Geológico do município de Equador - RN.....	42
Figura 12 – Afloramento.....	46
Figura 13 – Emprego de argamassa expansiva nos furos.....	47
Figura 14 – Desenvolvimento das fraturas no afloramento.....	47
Figura 15 – Esquadreamento final do bloco.....	47
Figura 16 – Amostra coletada.....	48
Figura 17 – Rocha ornamental (Amostra de mão).....	50
Figura 18 – Máquina de corte com lâmina diamantada.....	51
Figura 19 – Corpos de prova na bandeja.....	52
Figura 20 – Corpos de prova seguindo para secagem na estufa.....	52
Figura 21 – Procedimento de pesagem da amostra seca.....	53
Figura 22 – Procedimento de saturação das amostras.....	53
Figura 23 – Procedimento de pesagem das amostras submersas.....	54
Figura 24 – Corpos de prova utilizados no ensaio de resistência a compressão uniaxial.....	57
Figura 25 – Corpos de prova utilizados no ensaio de resistência a flexão (módulo de ruptura).....	59
Figura 26 – Ensaio de resistência à flexão (módulo de ruptura).....	60
Figura 27 – Simulação do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.....	62
Figura 28 – Ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.....	62
Figura 29 – Amostras utilizadas no ensaio de desgaste Amsler.....	64

Figura 30 – Máquina para execução do ensaio de desgaste abrasivo Amsler.....	65
Figura 31 – Textura Corolítica, em virtude da alteração do feldspato.	67
Figura 32 – Cristais de quartzo (amarelo) em contato com mica e feldspato com extinção ondulante.	68
Figura 33 – Cristais de microclina, aspecto xadrezado típico.....	68
Figura 34 – Cristais de muscovita e biotita hábito micáceo.....	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução e projeção da produção e do intercâmbio mundial de rochas ornamentais e de revestimento (2000 – 2020).....	24
Gráfico 2 – Evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais de 1998 a 2016.....	27
Gráfico 3 – Exportações brasileiras por países de destino em 2016 (US\$ 1.000). ...	28
Gráfico 4 – Importações brasileiras acumuladas de materiais rochosos naturais em 2015 e 2016.	29
Gráfico 5 – Comparação da densidade aparente da amostra obtida no ensaio e as respectivas densidades aparentes consideradas nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615.....	70
Gráfico 6 – Comparação da porosidade aparente da amostra obtida no ensaio e a porosidade aparente considerada na norma ABNT- NBR 15844/2010.....	71
Gráfico 7 – Comparação da absorção de água da amostra obtida no ensaio e as respectivas absorções de água consideradas nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615.....	71
Gráfico 8 – Comparação da resistência à compressão uniaxial da amostra obtida no ensaio e os respectivos valores de resistência à compressão uniaxial considerados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615.....	73
Gráfico 9 – Comparação da resistência à flexão (módulo de ruptura) da amostra obtida no ensaio e os respectivos valores de resistência à flexão (módulo de ruptura) consideradas nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615.....	75
Gráfico 10 – Comparação da resistência ao impacto de corpo duro da amostra no ensaio e a resistência ao impacto considerada na norma ABNT- NBR 15844/2010.	76
Gráfico 11 – Comparação do desgaste abrasivo Amsler da amostra no ensaio e o desgaste abrasivo Amsler considerado na norma ABNT- NBR 15844/2010.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Rochas ornamentais – Classificação por origem (FONTES, 1984).....	18
Tabela 2 – Produção mundial de rochas ornamentais.	23
Tabela 3 – Maiores produtores mundiais de rochas ornamentais.	24
Tabela 4 – Principais importadores mundiais de rochas ornamentais em volume físico.	25
Tabela 5 – Principais países exportadores de rochas ornamentais. Evolução do volume físico e participação percentual no total mundial.	26
Tabela 6 – Perfis das exportações brasileiras de rochas em 2016.	27
Tabela 7 – Memorial descritivo da área onde se localiza a rocha ornamental em estudo.	31
Tabela 8 – Açudes com capacidade de acumulação superior a 5 milhões de m ³ por bacia hidrográfica.	38
Tabela 9 – Especificações para granitos segundo a ABNT e a ASTM.....	44
Tabela 10 – Ensaio de caracterização tecnológica.	48
Tabela 11 – Minerais constituintes da rocha ornamental em estudo.....	67
Tabela 12 – Descrição mineralógica da lâmina da rocha ornamental em estudo e nome da rocha.	67
Tabela 13 – Valores médios de índices físicos da rocha ornamental estudada.	69
Tabela 14 – Valor médio da Resistência à compressão uniaxial da rocha ornamental em estudo.....	73
Tabela 15 – Valor médio da Resistência à flexão da rocha ornamental em estudo. .	74
Tabela 16 – Valor médio das alturas de queda que causam microfissuramento e ruptura na rocha ornamental em estudo.	76
Tabela 17 – Valor médio do Desgaste abrasivo Amsler na rocha ornamental em estudo.	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 ROCHAS ORNAMENTAIS	17
2.1.1 Classificação e Origem das Rochas Ornamentais	17
2.2 O MERCADO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS	22
2.2.1 Cenário Mundial (Produção, Importação e Exportação)	23
2.2.2 Cenário Brasileiro (Exportações e Importações)	26
2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	30
2.3.1 Localização e Vias de Acesso	30
2.3.2 Aspectos Fisiográficos	32
2.4 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 AMOSTRAGEM	45
3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	48
3.2.1 Análise Petrográfica	49
3.2.2 Índices Físicos	50
3.2.3 Resistência a Compressão Uniaxial	55
3.2.4 Resistência à Flexão (módulo de ruptura)	58
3.2.5 Resistência ao Impacto de Corpo Duro	61
3.2.6 Desgaste Abrasivo Amsler	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA	66
4.1.1 Análise Macroscópica	66
4.1.2 Análise Microscópica	66
4.2 ÍNDICES FÍSICOS	69
4.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL	73
4.4 RESISTÊNCIA À FLEXÃO – MÓDULO DE RUPTURA	74
4.5 RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO	76
4.6 DESGASTE ABRASIVO AMSLER	77
5 CONCLUSÕES	79

REFERÊNCIAS.....	81
APÊNDICE A – ÍNDICES FÍSICOS	84
APÊNDICE B – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL	84
APÊNDICE C – RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÓDULO DE RUPTURA)	84
APÊNDICE D – RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO.....	85
APÊNDICE E – RESISTÊNCIA AO DESGASTE AMSLER	85

1 INTRODUÇÃO

A caracterização tecnológica como peça fundamental para a inserção de uma rocha ornamental de forma correta e segura no mercado encontra-se cada vez mais atrelada a etapa de pesquisa mineral indicando assim o tipo de aplicação que o material novo poderá estar inserido, e também permitindo fazer uma observação das características físico-mecânicas que o material possui.

De acordo com VIDAL et. al. (2014), a determinação das propriedades das rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises normalizados, em laboratórios especializados, que objetivam a obtenção dos parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos característicos, cuja análise permitirá a recomendação do uso mais adequado no revestimento de edificações, bem como subsidiarão a elaboração de projetos arquitetônicos.

O presente trabalho configura-se na caracterização tecnológica de uma rocha granítica localizada mais especificamente na região de Equador – RN, onde objetiva-se fazer a avaliação das propriedades físicas, mecânicas e petrográficas da rocha ornamental desta rocha, confrontando assim os parâmetros tecnológicos encontrados com os parâmetros tecnológicos definidos nas normas nacional (ABNT NBR 15844/2010) e americana (ASTM C-615), e visando indicar este material para os mais variados tipos de aplicações na construção civil.

VIDAL et. al. (2014), enfatiza que a normalização sendo uma função básica desta padronização tem por finalidade possibilitar a obtenção de parâmetros numéricos homogêneos para as diferentes propriedades, não dependendo do laboratório ao qual foi realizado o ensaio, vindo a permitir a comparação entre os diferentes materiais rochosos e a escolha do uso mais adequado para este material estudado.

Com o intuito de se chegar a essas características físico mecânicas da rocha em estudo serão realizados ensaios de índices físicos, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão (módulo de ruptura), resistência ao impacto de corpo duro, resistência ao desgaste Amsler e por fim análise petrográfica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo fazer o estudo das características tecnológicas de uma rocha granítica encontrada na região de Equador – RN, buscando avaliar os seus parâmetros tecnológicos e confronta-los com os parâmetros definidos na norma nacional (ABNT NBR 15844/2010) e na norma americana (ASTM C-615), visando indicar este material para os mais variados tipos de aplicação no mercado.

1.1.2 Objetivos Específicos

O trabalho realizado engloba a amostragem da rocha em estudo, e a determinação dos parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos como se segue abaixo:

- Realização de amostragem na rocha em estudo;
- Realização de análise petrográfica macroscópica e microscópica no material, seguindo os métodos descritos na norma ABNT NBR 15845/2010, (Anexo A).
- Realização do ensaio de índices físicos, buscando-se a determinação da densidade aparente, a porosidade aparente e a absorção d'água, seguindo os métodos descritos na norma ABNT NBR 15845/2010, (Anexo B).
- Realização do ensaio de resistência à compressão uniaxial, que determina a resistência ao cisalhamento, seguindo os métodos descritos na norma ABNT NBR 15845/2010, (Anexo E).

- Realização do ensaio de resistência à flexão (módulo de ruptura), que determina a resistência do material a ruptura por flexão, seguindo os métodos descritos na norma ABNT NBR 15845/2010, (Anexo F).
- Realização do ensaio de resistência ao impacto, que determina o grau de resistência da rocha a ações mecânicas instantâneas, seguindo os métodos descritos na norma ABNT NBR 15845/2010, (Anexo H).
- Realização do ensaio de resistência ao desgaste abrasivo Amsler, que mede a resistência do material à solicitação abrasiva, seguindo os métodos descritos na norma ABNT NBR 12042/1992.
- Realização de um estudo comparativo dos dados obtidos nos ensaios e os parâmetros apresentados nas normas nacional (ABNT NBR 15844/2010) e americana (ASTM C-615), visando nortear as aplicações da rocha em estudo no mercado.

Todas as informações que constam no respectivo trabalho de dissertação aqui apresentado estão dispostas da seguinte maneira:

- Introdução - Abordagem dos aspectos relativos ao tema em estudo;
- Tópico I - Fundamentação teórica contextualizando a pesquisa através de estudo bibliográfico em vários trabalhos citados;
- Tópico II – Materiais e Métodos contendo a metodologia que foi empregada na pesquisa;
- Tópico III - Apresentação dos resultados e discursões acerca dos dados obtidos nos experimentos.
- Tópico IV – Apresentação da Conclusão final do trabalho;
- Tópico V – Referências Bibliográficas que reúnem toda a bibliografia consultada durante a realização do trabalho dissertativo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico apresentam-se várias pesquisas que abordam os assuntos dos mais variados temas tais como rochas ornamentais, mercado das rochas ornamentais, caracterização da área em estudo e por fim caracterização tecnológica de rochas ornamentais, visando uma melhor compreensão do trabalho apresentado através desta base teórica enfatizada.

2.1 ROCHAS ORNAMENTAIS

De acordo com VIDAL et. al. (2014), rochas ornamentais são materiais rochosos extraídos e beneficiados, em maior ou menor grau, para serem utilizados como funções de revestimento, decorativas ou estruturais.

Já a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua norma NBR 15012, define rocha ornamental como sendo um material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, que por sua vez é utilizado para exercer uma função estética.

Comercialmente as rochas ornamentais se diferenciam pelo seu padrão estético tendo como elementos relevantes para essa diferenciação a sua cor, textura e granulometria. Dentre as suas mais variadas aplicações englobam-se a utilização em revestimentos internos e externos, elementos estruturais, elementos de composição arquitetônica, elementos artísticos decorativos e arte funerária.

2.1.1 Classificação e Origem das Rochas Ornamentais

Quanto a sua origem as rochas ornamentais podem ser enquadradas nos três grandes grupos existentes, tais como rochas ígneas (ou magmáticas), rochas metamórficas e rochas sedimentares.

Tabela 1 – Rochas ornamentais – Classificação por origem (FONTES, 1984).

Nomenclatura	Origem	Exemplos (Rochas Ornamentais)
Ígneas Magmáticas ou	Provêm da solidificação do magma. Podem ser originadas no interior da crosta terrestre (plutônicas ou intrusivas) ou na superfície (vulcânicas ou extrusivas).	Granitos
		Dioritos
		Riolitos
		Basaltos
Metamórficas	São oriundas de outras rochas que sofreram alterações de temperatura e pressão, e tiveram sua textura modificada ocorrendo em alguns casos modificações na composição mineralógica.	Mármore
		Gnaisses
		Ardósias
		Quartzitos
Sedimentares	Formadas de materiais originados da decomposição mecânica ou química, desagregação e transporte de outros tipos de rocha.	Arenitos
		Folhelhos
		Calcários
		Travertinos

Abaixo, apresentam-se algumas rochas ornamentais e suas principais características.

I. Rochas Ígneas ou Magmáticas

De acordo com CHIODI FILHO (2009), a composição mineralógica de granitos é definida por associações muito variáveis de quartzo, feldspato, micas (biotita e muscovita), anfibólios (sobretudo hornblenda), piroxênios (aegirina, augita e hiperstênio) e olivina. Podendo estar ausentes alguns desses constituintes em determinadas associações mineralógicas, anotando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas, tendo como quartzo, feldspatos, micas e anfibólios os minerais dominantes nas rochas graníticas e granitoides.

Figura 1 – Granito preto são marcos.

Fonte: <http://www.artepedras.com.br>. Acesso em 12/02/2017.

Também se apresentam neste grupo rochas pegmatíticas, ou seja, rochas formadas a partir do magma residual e que geralmente apresentam granulação grosseira com cristais de tamanhos milimétricos a centimétricos, e em casos excepcionais chegando até medidas métricas. Estas rochas quando utilizadas como rochas ornamentais geralmente chamam atenção pelo seu padrão textural heterogêneo, ou seja, textura porfírica e também por vezes um padrão cromático muito diversificado.

II. Rochas Metamórficas

De acordo com VIDAL et. al. (2014), mármore são rochas derivadas de calcários e/ou dolomitos e contêm mais de 50% de calcita e/ou dolomita. Já segundo CHIODI FILHO (2009), os mármore são caracterizados pela presença de minerais carbonáticos com graus variados de recristalização metamórfica.

Figura 2 – Mármore Carrara.



Fonte: <http://www.artepedras.com.br>. Acesso em 12/02/2017.

Os Gnaisses segundo VIDAL et. al. (2014), constituem rochas usualmente quartzo-feldspáticas, de granulação média a grossa e com moderada a forte direção planar fornecida pela isorientação de minerais placóides (micas) ou de hábito prismático (feldspatos, anfibólios, piroxênios), denominada estrutura ou foliação gnáissica.

Figura 3 – Gnaisse.



Fonte: <http://www.rc.unesp.br>. Acesso em 12/02/2017.

Segundo CHIODI FILHO (2009), ardósias são rochas metassedimentares, de baixo grau metamórfico, formadas a partir de sequências argilosas e síltico-argilosas. A definição científica de ardósia baseia-se, entretanto, na presença de planos preferenciais de partição paralelos, que proporcionam a “clivagem ardosiana”.

Figura 4 – Ardósia Green Slate.



Fonte: <http://www.granipex.com.br>. Acesso em 12/02/2017.

De acordo com VIDAL et. al. (2014), quartzitos são rochas compostas essencialmente de quartzo, produtos da recristalização de sedimentos silicosos (quartzo arenitos ou cherts). Apresentando, cor branca, com variações para vermelho (pela presença de hidróxidos de ferro) e até azul (dumortierita quartzitos - Azul Macaúbas). A riqueza em quartzo lhes confere uma dureza alta, o que provoca grande desgaste nos equipamentos de corte e polimento, e também apresentando grande resistência à alteração, tanto intempérica como hidrotermal.

Figura 5 – Quartzito são Tomé Bege.



Fonte: <http://www.pedreirassaotome.com.br>. Acesso em 12/02/2017.

III. Rochas Sedimentares

De acordo com VIDAL et. al. (2014), os calcários e os dolomitos, constituem rochas carbonáticas compostas por mais de 50% (geralmente de 80% a 100%), de calcita ou dolomita, respectivamente, sendo os primeiros formados predominantemente em ambientes marinhos, de águas rasas e, menos comumente, por fragmentos ou grãos carbonáticos mecanicamente transportados e depositados, geralmente na própria bacia de sedimentação, e os segundos geralmente de cor cinza-claro e granulação fina, gerados a partir de calcários.

Figura 6 – Pedra Cariri Amarela.



Fonte: <http://www.grandetelha.com.br>. Acesso em 12/02/2017.

Segundo VIDAL et. al. (2014), os travertinos constituem uma variedade de rocha calcária, de cor bege, formada pela precipitação química a partir de águas superficiais ou subsuperficiais ao redor de fontes, especialmente termais. Estas diferem dos calcários pela sua estrutura laminada e pela presença de cavidades irregulares, com até vários centímetros.

De acordo com CHIODI FILHO (2009), os travertinos e margas (rocha não fossilífera e bastante heterogênea), são formados por processos deposicionais, conduzidos por precipitação química e bioquímica direta de carbonatos em ambientes de água doce.

Figura 7 – Travertino Bege Bahia.



Fonte: <http://www.stonesmarmore.com.br>. Acesso em 12/02/2017.

2.2 O MERCADO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

Em termos de mercado as rochas ornamentais possuem padrões específicos de comercialização voltados estes para os padrões estéticos, texturas e padrões cromáticos, o que dita o valor final do produto neste tipo de mercado.

Diferentemente das outras substâncias minerais que são comercializadas por meio de commodities, pois tem seus preços fixados em bolsas nacionais e internacionais respectivamente, as rochas ornamentais constituem especialidades comerciais, pois seus preços não são fixados em bolsas de mercadorias não existindo assim garantias de comercialização, sendo o consumo dependente tanto da lei de oferta x procura, quanto da percepção de valor pelo mercado.

2.2.1 Cenário Mundial (Produção, Importação e Exportação)

De acordo com MONTANI (2014), no ano de 2013 a produção mundial estimada de rochas ornamentais, totalizou 130 milhões de toneladas, o que corresponde a cerca de 48 milhões de metros cúbicos ou 1,42 bilhões de metros quadrados equivalentes de chapas com dois centímetros de espessura. Desta produção, 76,75 Mt (59,0%) são de rochas carbonáticas, 47,50 Mt (36,5%) são de rochas silicáticas e 5,75 Mt (4,5%) são de ardósias e outras rochas xistosas.

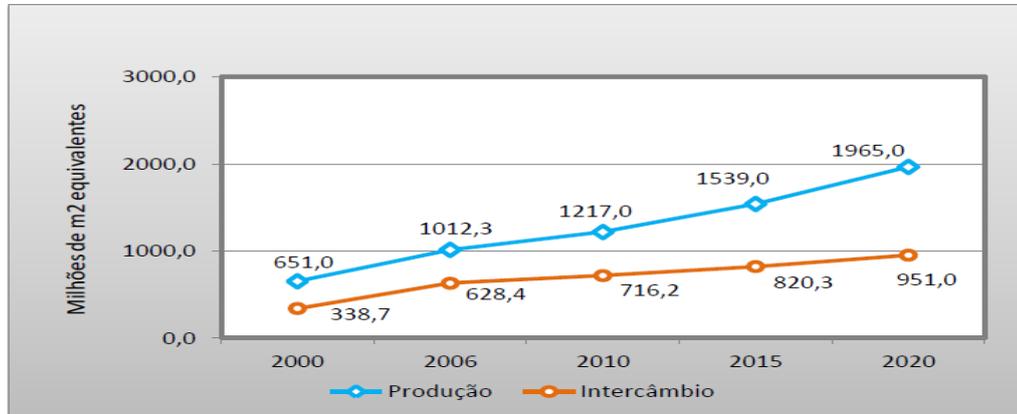
Tabela 2 – Produção mundial de rochas ornamentais.

Ano	Mármore		Granitos		Outros*		Total
	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t
1926	1.175	65,6	175	9,8	440	24,6	1.790
1976	13.600	76,4	3.400	19,1	800	4,5	17.800
1986	13.130	60,5	7.385	34,0	1.195	5,5	21.710
1996	26.450	56,9	17.625	37,9	2.425	5,2	46.500
1998	29.400	57,6	19.000	37,3	2.600	5,1	51.000
2000	34.500	57,8	21.700	36,3	3.450	5,9	59.650
2002	39.000	57,8	25.000	37,0	3.500	5,2	67.500
2004	43.750	53,9	33.000	40,6	4.500	5,5	81.250
2006	53.350	57,5	34.800	37,5	4.600	5,0	92.750
2008	61.000	58,0	38.300	36,5	5.700	5,5	105.000
2010	65.230	58,5	40.500	36,3	5.750	5,2	111.500
2012	72.250	58,5	45.750	37,0	5.500	4,5	123.500
2013	76.750	59,0	47.500	36,5	5.750	4,5	130.000

Fonte: Compilado a partir de dados de MONTANI (2014).

Neste cenário de crescimento ainda segundo MONTANI (2014), as projeções de consumo, produção e intercâmbio mundial das matérias-primas da construção civil, não apontam mudanças de paradigmas, sugerindo a manutenção da tendência de crescimento da demanda dos materiais rochosos naturais e artificiais para revestimento. Logo a produção mundial estimada de rochas ornamentais no ano de 2020 irá ultrapassar a casa dos 170 milhões de toneladas, o que corresponde a quase dois bilhões de metros quadrados equivalentes por ano, devendo-se ainda ter incremento de 30% no volume físico das atuais transações internacionais.

Gráfico 1 – Evolução e projeção da produção e do intercâmbio mundial de rochas ornamentais e de revestimento (2000 – 2020).



Fonte: MONTANI (2012).

Em termos de produção mundial em 2013 a china lidera com 39,5 Mt, seguindo-se Índia com 19,5 Mt, Turquia com uma produção que gira em torno 10,0-12,0 Mt e Brasil com cerca de 10,5 Mt. Segundo ABIROCHAS (2014), a produção ao longo da década de 2000 teve um significativo avanço com destaque para os países extraeuropeus, caso da China, Índia, Irã, Turquia e Brasil, enquanto que por outro lado permaneceu-se inalterada, ou até com leve declínio, a produção dos players europeus tradicionais, como a Itália, Espanha, Portugal e Grécia. Destacando-se o crescimento mais expressivo o da Turquia, cuja produção evoluiu de 0,9 Mt, em 1996, para os referidos 12,0 Mt em 2013.

Tabela 3 – Maiores produtores mundiais de rochas ornamentais.

Países	1996		2013		Variação 2013/2012
	1.000 t	Participação	1.000 t	Participação	
China	7.500	16,1%	39.500	30,4%	526,7%
Índia	3.500	7,5%	19.500	15,0%	557,1%
Turquia	900	1,9%	12.000	9,2%	1333,0%
Brasil	1.900	4,1%	9.000	6,9%	473,7%
Itália	8.250	17,7%	7.000	5,4%	84,8%
Iran	2.500	5,4%	6.500	5,0%	260,0%
Espanha	4.250	9,1%	5.000	3,8%	117,6%
Egito	1.000	2,2%	3.000	2,3%	300,0%
EUA	1.350	2,9%	2.750	2,1%	203,7%
Portugal	1.950	4,2%	2.650	2,0%	135,9%
Grécia	1.800	3,9%	1.250	1,0%	89,4%
Arábia Saudita	250	0,5%	1.200	0,9%	480,0%
França	1.150	2,5%	1.050	0,8%	91,3%
Paquistão	200	0,4%	1.000	0,8%	500,0%
Subtotal	36.500	78,5%	111.400	85,7%	305,2%
Outros	10.000	21,5%	18.600	14,3%	186,0%
Total Mundial	46.500	100,0%	130.000	100,0%	279,6%

Fonte: Compilado a partir de dados de MONTANI (2014).

De acordo com ABIROCHAS (2014), dentre os maiores importadores mundiais de rochas ornamentais existem três perfis de mercado bem visíveis.

- A) Países que importam principalmente rochas brutas, beneficiando estas para atendimento do mercado doméstico e para exportações, como por exemplo, a China e Itália.
- B) Países que importam rochas brutas e processadas, para atendimento do seu mercado doméstico como, por exemplo, o Reino Unido, Taiwan e Alemanha.
- C) Países que importam principalmente de rochas processada, para atendimento do mercado doméstico, como por exemplo, Japão, EUA e Coreia do Sul.

No caso “I” dentre os perfis citados acima, os países figuram por serem grandes produtores de rochas ornamentais. Já no caso “II” estes países são ou tornaram-se recentemente produtores pouco expressivos. Por fim no caso “III” estes países se caracterizam por serem tradicionalmente ou tornaram-se produtores e exportadores pouco expressivos.

Tabela 4 – Principais importadores mundiais de rochas ornamentais em volume físico.

Países	2009		2010		2011		2012		2013	
	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%
China	8.166	19,9	12.312	25,4	13.582	27,4	16.303	31,4	17.744	33,3
EUA	3.147	7,7	3.389	7,0	2.929	5,9	3.196	6,2	3.532	6,6
Coreia do Sul	2.470	6,0	2.518	5,2	2.653	5,4	2.263	4,4	2.494	4,7
Alemanha	1.967	4,8	1.762	3,6	2.339	4,7	1.914	3,7	1.925	3,6
Itália	1.594	3,9	1.698	3,5	1.629	3,3	1.375	2,7	1.278	2,4
Taiwan	1.312	3,2	1.597	3,3	2.169	4,4	2.293	4,4	1.674	3,1
França	1.095	2,7	1.256	2,6	1.337	2,7	1.456	2,8	1.527	2,9
Reino Unido	991	2,4	1.238	2,6	1.186	2,4	666	1,3	786	1,5
Bélgica	1.091	2,7	1.218	2,5	1.325	2,7	1.196	2,3	1.007	1,9
Japão	1.223	3,0	1.037	2,1	1.015	2,0	1.033	2,0	992	1,9
Espanha	858	2,1	829	1,7	717	1,4	458	0,9	490	0,9
Holanda	903	2,2	758	1,6	742	1,5	605	1,2	432	0,8
Polônia	-		-		779	1,6	733	1,4	472	0,9
Rússia	-		-		493	1,0	649	1,3	496	0,9
Canadá	-		-		932	1,9	1.071	2,1	984	1,8

Fonte: Compilado a partir de dados de MONTANI (2014).

Com relação às exportações ABIROCHAS (2014), destaca a China como responsável por 22,7% do total do volume físico das exportações mundiais de rochas ornamentais em 2013, tendo-se, na sequência, Índia (17,2%), Turquia (15,6%), Itália (6,0%), Espanha (5,2%), Brasil (5,1%) e Egito (4,5%).

No caso da China a mesma se destaca como grande exportadora de rochas processadas simples e especiais com 45 % do total do volume físico comercializado anualmente, além de também apresentar um bom volume de exportação de produtos de ardósias. Pouco expressivas são as exportações chinesas de rochas carbonáticas brutas e significativas são as de rochas silicáticas brutas destinadas principalmente para o atendimento do mercado interno de Taiwan e Hong Kong.

Tabela 5 – Principais países exportadores de rochas ornamentais. Evolução do volume físico e participação percentual no total mundial.

Países	2009		2010		2011		2012		2013	
	1.000 t	%								
China	11.733	28,6	12.496	25,8	13.507	27,3	12.597	24,3	12.082	22,7
Índia	5.311	12,9	5.005	10,3	5.200	10,5	7.580	14,6	9.186	17,2
Turquia	4.868	11,9	6.603	13,6	7.165	14,5	8.000	15,4	8.303	15,6
Itália	2.835	6,9	3.144	6,5	3.062	6,2	3.180	6,1	3.223	6,0
Espanha	1.968	4,8	2.468	5,1	2.597	5,2	2.733	5,3	2.748	5,2
Egito	1.973	4,8	1.882	3,9	2.240	4,5	2.525	4,9	2.412	4,5
Brasil	1.673	4,1	2.226	4,6	2.187	4,4	2.237	4,3	2.696	5,1

Fonte: Compilado a partir de dados de MONTANI (2014).

2.2.2 Cenário Brasileiro (Exportações e Importações)

Segundo ABIROCHAS (2017), as exportações brasileiras de produtos de rochas ornamentais e de revestimento fecharam o ano de 2016 com US\$ 1.138,3 milhões e 2,46 milhões t. Reproduzindo a mesma tendência de 2014 e 2015, estas exportações tiveram variação negativa no faturamento (-5,85%) e positiva no volume físico (+5,82%).

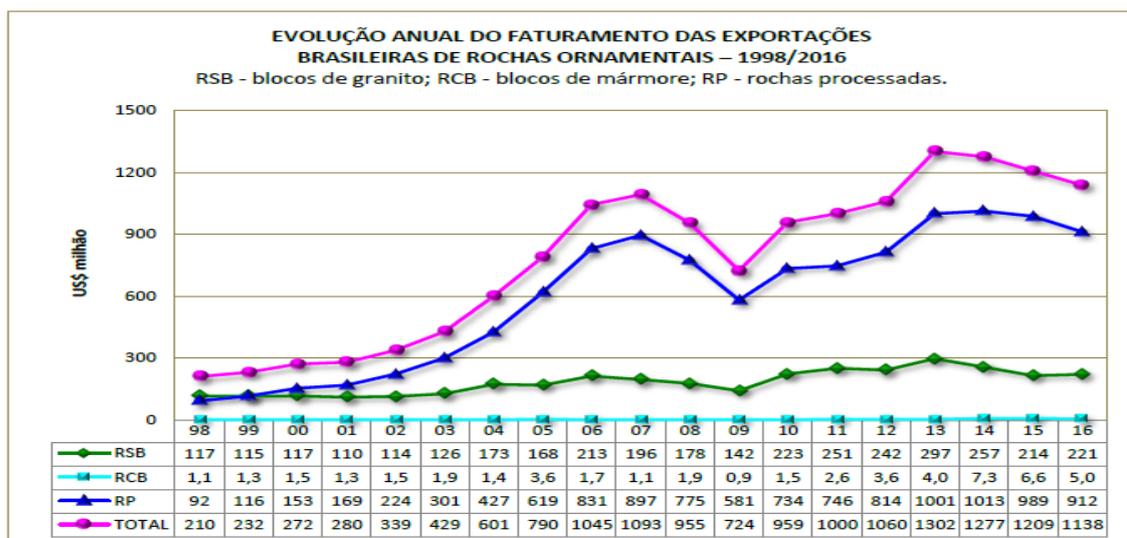
O preço médio das exportações recuou 11%, passando de US\$ 520,4/t em 2015 para US\$ 463,0/t em 2016. Esta variação deve-se a queda do preço médio dos principais produtos exportados, como blocos e chapas de rochas graníticas e afins, e pelo aumento da participação de rochas brutas no total das exportações.

Tabela 6 – Perfis das exportações brasileiras de rochas em 2016.

Tipos de Rochas	Produtos	Códigos Fiscais (NCM)	Participação Percentual no Faturamento	Volume Físico Exportado (1.000 t)
Granitos e rochas similares, incluindo quartzito e pedrasabão	Blocos (exceto quartzito)	2516.11.00 2516.12.00	16,5%	1.022,2
	Chapas	6802.93.90 6802.23.00 6802.29.00	66,5%	1.167,4
	Acabados	6802.99.90 6802.10.00	4,6%	26,1
Mármore e rochas similares	Blocos	2515.12.10 2515.11.00 2515.20.00	0,44%	13,3
	Chapas	6802.91.00 6802.21.00 6802.92.00	4,7%	45,8
Ardósias	Lajotas, telhas e chapas	6803.00.00 2514.00.00	3,5%	99,7
Quartzitos foliados	Lajotas de corte manual e serradas, cacos / cavacos, filetes e pavês	6801.00.00	0,85%	35,7
Quartzitos maciços	Blocos	2506.20.00	2,8%	46,7
Total do faturamento: US\$ 1.138,35 milhões; total do volume físico: 2,46 milhões t.				

Fonte: ABIROCHAS (2017).

Gráfico 2 – Evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais de 1998 a 2016.

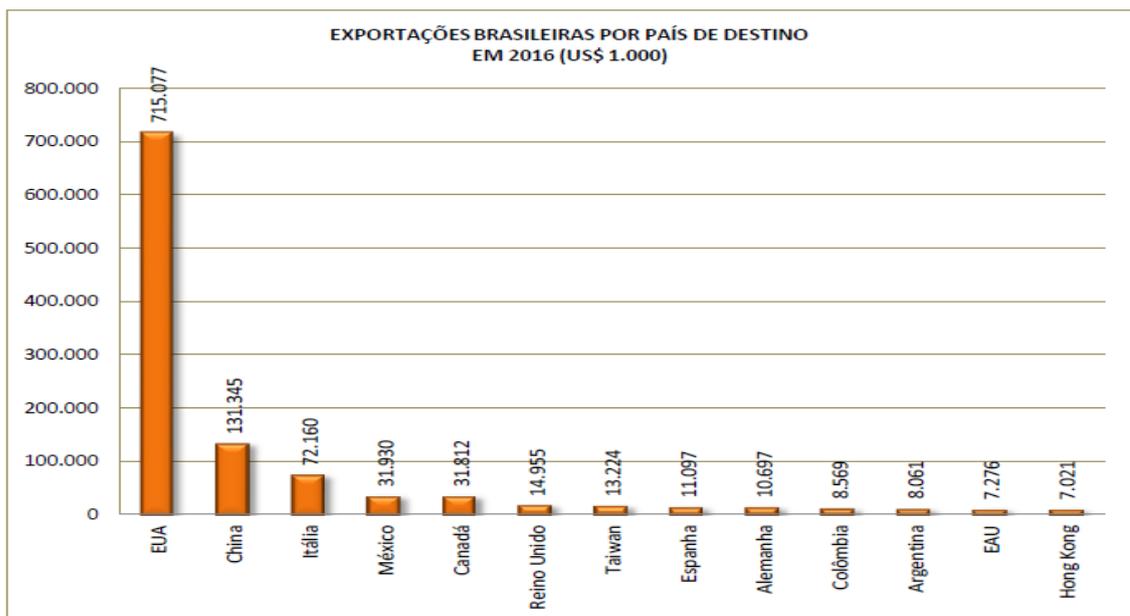


Fonte: ABIROCHAS (2017).

Em termos de exportações Brasileiras, dentre os 120 países que recebem os produtos brasileiros destacam-se os EUA, China e a Itália somando-se nestes três países um total de 80,6 % das exportações brasileiras.

Para os EUA as exportações somaram US\$ 715,1 milhões e 1,04 milhões t, com preço médio de US\$ 690/t, mantendo-se o volume físico dessas exportações no mesmo patamar de 2015. Para a China, as exportações dominadas por rochas brutas (blocos) e com preço médio de apenas US\$ 180/t, somaram US\$ 131,3 milhões e 746,3 mil t, com crescimento de respectivamente 25,8% e 31,3% frente a 2015. Por fim para a Itália as exportações somaram US\$ 72,2 milhões e 165,5 mil t, com variação negativa de respectivamente 8,1% e 15,8% frente a 2015.

Gráfico 3 – Exportações brasileiras por países de destino em 2016 (US\$ 1.000).



Fonte: ABIROCHAS (2017).

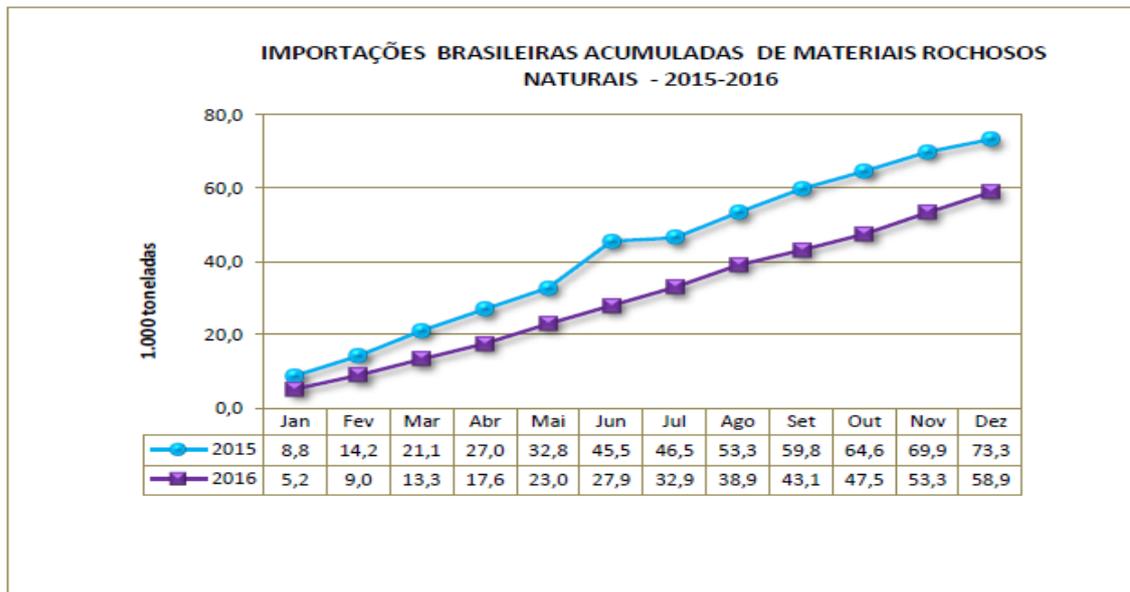
De acordo com ABIROCHAS (2017), as importações brasileiras de materiais rochosos naturais somaram US\$ 31,9 milhões e 58,9 mil t em 2016, com variação negativa de respectivamente 24,6% e 19,7% frente a 2015. O preço médio dos materiais naturais recuou 6,1%, passando de US\$ 577,4/t em 2015 para US\$ 542,0/t em 2016.

O preço médio dos materiais artificiais recuou 16%, passando de US\$ 810,5/t em 2015 para US\$ 681,2/t em 2016, o que evidencia a grande elasticidade dos preços praticados pelos fornecedores.

Quanto aos principais fornecedores de materiais naturais para o Brasil, destacam-se a Itália, Espanha, China, Grécia, Turquia, Indonésia e Portugal. As importações brasileiras envolvem principalmente rochas carbonáticas (mármore, travertino e calcário), em produtos acabados e semiacabados.

Dentre os 23 países mais importantes ao qual o Brasil importa materiais artificiais destacam-se como principais a China com 82,6% do volume físico total importado e a Espanha com 10,3 % deste total.

Gráfico 4 – Importações brasileiras acumuladas de materiais rochosos naturais em 2015 e 2016.



Fonte: ABIROCHAS (2017).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

2.3.1 Localização e Vias de Acesso

Segundo a CPRM (2005), o município de Equador - RN está situado na Mesorregião Central Potiguar e na microrregião Seridó Oriental limitando-se com o município de Parelhas e com o Estado da Paraíba, abrangendo uma área de 312 km², inseridos na folha Jardim do Seridó (SB.24-Z-B-V) na escala 1:100.000.

Com altitude média de 572 m e coordenadas geográficas (06°56'42,0" de latitude sul e 36°43'04,8" de longitude oeste), o município se distância cerca de 283 km da capital, sendo seu acesso efetuado a partir de Natal através das rodovias pavimentadas BR-226, BR-427 e RN-086.

A rocha ornamental em estudo está localizada na porção norte do município de Equador – RN, na zona rural numa localidade conhecida como Quintos, com acesso podendo ser feito pela rodovia estadual RN-086 que liga as cidades de Equador – RN a Parelhas – RN.

O Acesso à área onde se encontra a rocha ornamental em estudo pode ser feito partindo-se da cidade de Equador – RN em direção a Parelhas – RN por aproximadamente 12,0 Km passando-se pelas localidades de Sossego, Tanquinho, Pau Ferro, Quintos de Cima, chegando-se a uma estrada carroçável a direita da rodovia, onde percorre-se aproximadamente 1,5 km até chegar à área da rocha ornamental em estudo. O memorial descritivo descreve a poligonal obtida através da coleta de pontos por GPS, totalizando assim uma área de 24,04 ha.

Tabela 7 – Memorial descritivo da área onde se localiza a rocha ornamental em estudo.

Latitude (S)	Longitude (W)
-06°51'23"750	-36°42'38"845
-06°51'25"265	-36°42'38"845
-06°51'25"265	-36°42'38"848
-06°51'23"834	-36°42'38"848
-06°51'23"834	-36°42'45"362
-06°51'46"621	-36°42'45"362
-06°51'46"621	-36°42'51"762
-06°51'18"905	-36°42'51"762
-06°51'18"905	-36°42'29"467
-06°51'23"749	-36°42'29"467
-06°51'23"749	-36°42'29"510
-06°51'23"750	-36°42'38"845

Figura 8 – Poligonal da área onde se localiza a rocha ornamental em estudo.

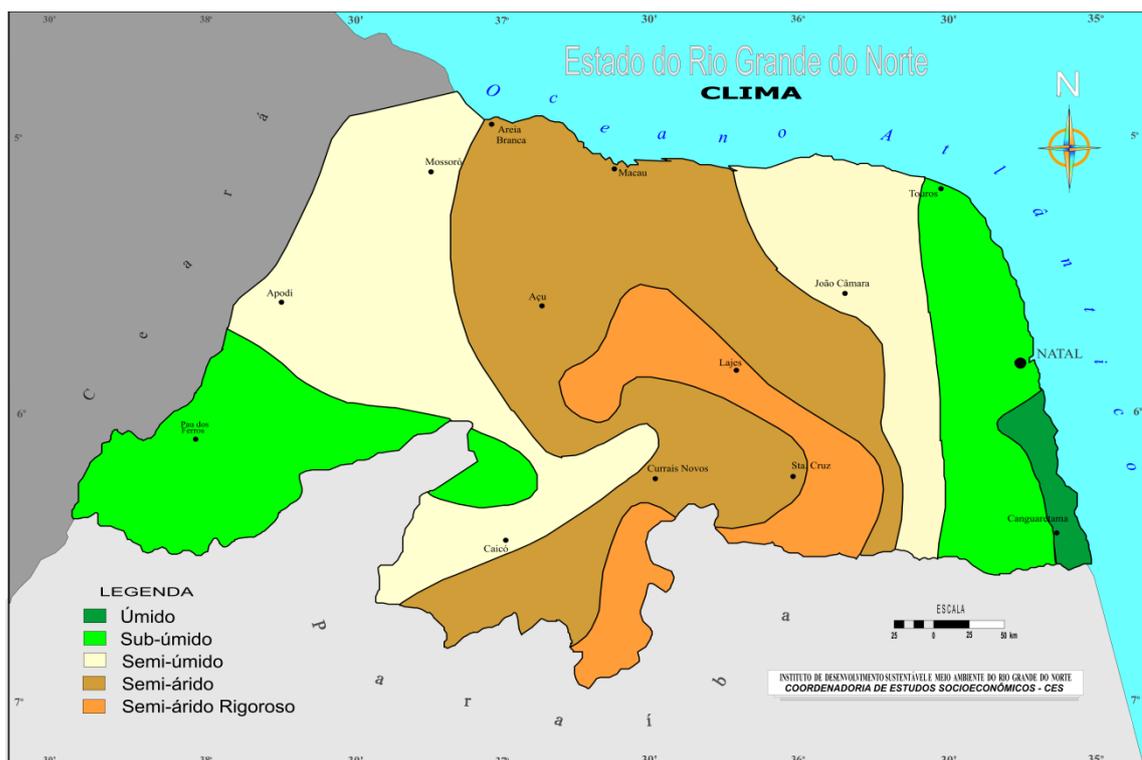
Fonte: Google Earth (2016).

2.3.2 Aspectos Fisiográficos

I. Clima

De acordo com MASCARENHAS et. al. (2005), a região que abrange o município de Equador – RN, apresenta o clima quente e semiárido, tendendo a árido, com estação chuvosa atrasando-se para o outono, enquadrando-se na classificação climática de Köeppen do tipo BSw'h, com precipitações pluviométricas irregulares. O período chuvoso ocorre de fevereiro a junho e as temperaturas médias anuais variam entre 33 °C e 21 °C dentre máximas e mínimas. A umidade relativa anual média apresenta-se em torno de 66 % e o número de horas de insolação em torno de 2.700 horas/ano.

Figura 9 – Clima do estado do Rio Grande do Norte.



Fonte: IDEMA (2015).

II. Fauna e Flora

De acordo com SILVA (2003) a caatinga compreende as formações xerófilas, normalmente espinhosas, entremeadas de plantas suculentas. Apresentando predominantemente características, de folhas pequenas, providas de espinhos, plantas com órgãos de reserva subterrânea (xilopódios), ou sem folhas (áfilas), que vem reduzir a perda de água por transpiração.

Uma característica bem reservada à caatinga, diz respeito a suas arvores não chegarem a serem muito altas, isto devido a sua existência sempre estar ligada a fatores ecológicos desfavoráveis típicos das regiões nordestinas, e muitas vezes ligada a devastação causada pelo próprio homem à natureza.

MEDEIROS (2003) destaca que a vegetação da região Seridó do Rio Grande do Norte é caracterizada pelo domínio da caatinga, que se apresenta com altos índices de xerofilismo, em razão de um clima extremamente rigoroso, de baixos índices pluviométricos e distribuição irregular, constituindo os tipos Hiperxerófila e Subdesértica.

A predominância neste tipo de vegetação ocorre por três tipos diferenciados:

- A) Um estrato arbóreo predominando aroeira, braúna, imburana, pereiro, algaroba e craibeira;
- B) Um segundo tipo com galhos retorcidos e espinhosos, atingindo até 3 m de altura, descritas como catingueira, faveleira, pinhão-bravo, jurema, oiticica e marmeleiro;
- C) Um estrato rasteiro, a cerca de 50 cm do solo, formado por xiquexique, macambira e palma de espinhos.

MASCARENHAS et. al. (2005), coloca que se constituem dois tipos de vegetações na região de Equador – RN:

- A) Caatinga Hiperxerófila - Vegetação de caráter mais seco, com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo espalhadas.

- B) Caatinga Subdesértica do Seridó - Vegetação mais seca do estado, com arbustos e árvores baixas, ralas e de xerofitismo mais acentuado.

São encontradas neste tipo de vegetação espécies tais como pereiro, faveleiro, facheiro, macambira, xique-xique e jurema-preta. A representação da fauna local e dada por uma grande variedade de aves (Rolinha, tetéu, cibite, anum preto, carcará, beija-flor, jacu, ribaçãs dentre outros), reptéis (Calango, camaleão, tejo, cobras coral, cascavel, jararaca dentre outros) e mamíferos (Preá, peba, saguis, gato do mato, mocó, gambá, furão, tatu, raposa, dentre outros).

III. Solos

De acordo com EMBRAPA (1971), os solos dominantes na região Seridó são os seguintes:

- A) Solos Litólicos Eutróficos;
- B) Bruno Não Cálcicos;
- C) Solonetz Solonizado;
- D) Solos Aluvionais Eutróficos;
- E) Latossolo Vermelho Amarelo Distróficos;
- F) Regossolos Eutróficos;
- G) Planossolos Solódicos.

Os solos litólicos, bruno não cálcicos e solonetz de uma maneira geral são utilizados como suporte de vegetação nativa para a pecuária de pequeno e médio porte. Já os solos Regossolos também têm a mesma utilização dos mesmos, porém, nos meses de chuva são indicados para o cultivo de produtos de subsistência.

Na região de Equador – RN MASCARENHAS et. al. (2005), destaca que existe uma predominância dos solos tipos litólicos eutróficos. Estes se caracterizam por apresentar uma fertilidade natural alta, uma textura média e arenosa e uma fase pedregosa e rochosa. Quanto a sua origem os solos tipos litólicos eutróficos podem ser originados a partir de rochas gnáissicas, graníticas, xistos ou mais alguma rocha que por eventualidade possa estar presente na área. O seu relevo caracteriza por ser fortemente ondulado e montanhoso, por ser raso, e fortemente drenado.

De acordo com MASCARENHAS et. al. (2005), o uso dos solos litólicos eutróficos da região de Equador – RN apresenta limitações muito fortes pela falta d' água, erosão e pelos impedimentos de uso de máquinas agrícolas, em decorrência do relevo, existência de muitos fragmentos de rochas no solo e sua pequena profundidade.

Por apresentar um baixo rendimento este tipo de solo também não é recomendado para ser utilizado em atividades agrícolas sendo indicado apenas para preservação da flora e fauna local, e ao norte em uma pequena área isolada com aptidão regular e restrita para pastagem natural.

IV. Geomorfologia

O relevo do estado do Rio Grande do Norte pode se apresentar de várias formas, desde rochas sedimentares cretáceas esculpidas por fatores ligados ao intemperismo, até terrenos mais antigos do embasamento cristalino.

De acordo com AB'SABER (1969), baseando-se na classificação dos domínios morfoclimáticos do Brasil, o relevo potiguar está inserido em dois domínios e uma faixa de transição:

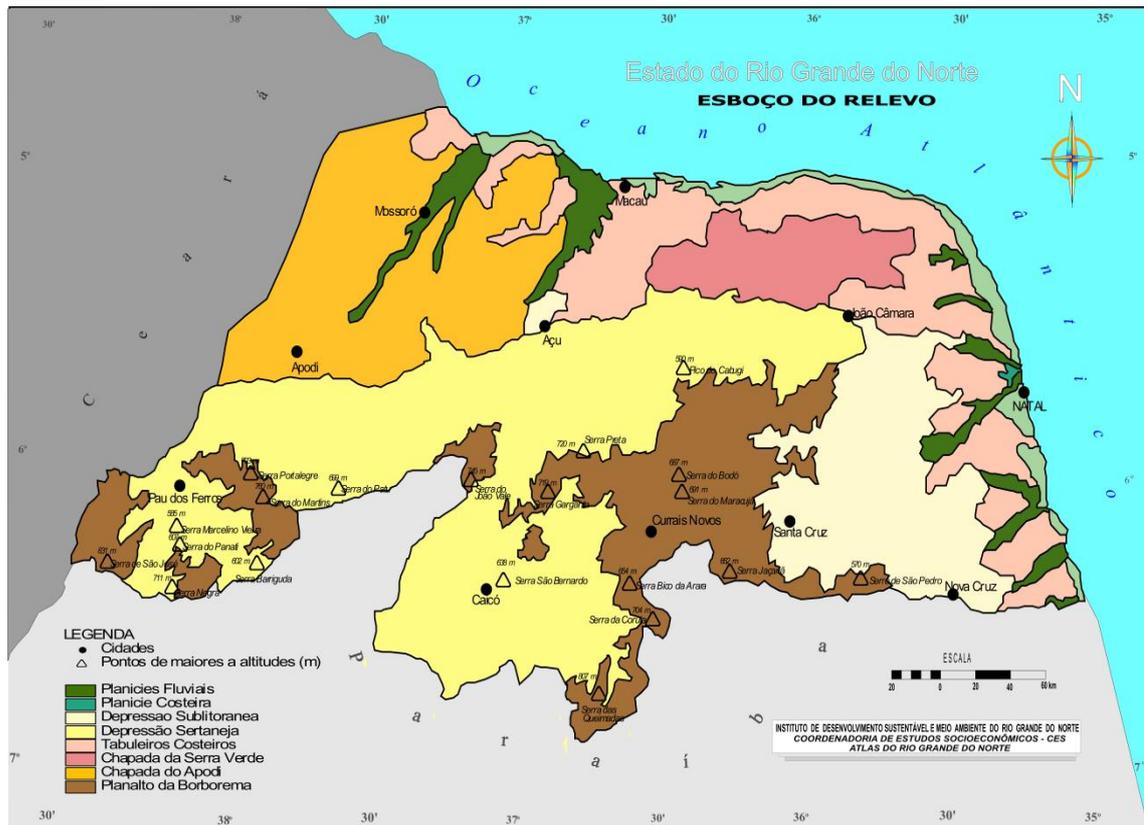
- A) Domínio de Mares de Morros correspondente aos tabuleiros costeiros do nordeste oriental;

- B) Domínio das Depressões Intermontanas e Interplanálticas das Caatingas, constituído, por quatro padrões morfológicos principais, tais como as superfícies de aplainamento da depressão sertaneja, as chapadas sustentadas por rochas sedimentares, as serras isoladas e por último o planalto da Borborema;
- C) Faixa de transição denominada de Agreste Potiguar, que faz a intercalação entre estes domínios, partindo do litoral úmido até o sertão semiárido.

A região de Equador – RN está inserida na porção mais baixa do planalto da Borborema, que segundo MORAES NETO e ALKMIN (2001), se trata de um relevo de degradação em um maciço cristalino pré-cambriano, de direção geral NNE-SSW, com vastas superfícies planálticas (R2b3) alçadas em cotas que variam entre 300 e 1.000 m de altitude, destacando-se nitidamente em relação às áreas circundantes e abrangendo os estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte respectivamente.

DANTAS, M.E. & FERREIRA, R.V. (2010), destaca que no estado do rio grande do norte, o planalto da Borborema consiste de parte do seu rebordo norte, com amplitude de relevo variando de 300 a 700 m. Devido a processos erosivos, essa morfologia planáltica compreende num diversificado conjunto de padrões de relevos compostos de morros e serras de cotas mais baixas, pequenas cristas e esparsas superfícies planálticas com platôs recobertos por coberturas cenozoicas, delimitados por curtos rebordos erosivos e escarpas serranas, com alguns segmentos de relevo montanhoso destacados, representando relevos residuais remanescentes do grande planalto.

Figura 10 – Geomorfologia do Estado do Rio Grande do Norte.



Fonte: IDEMA (2015).

V. Recursos Hídricos

De acordo com RIO GRANDE DO NORTE (2009), a região Seridó é banhada por uma importante bacia hidrográfica denominada de Bacia Piranhas-Açu que pereniza em todo o trecho desta região.

Na tabela 8 abaixo são destacados os principais açudes da região Seridó e suas respectivas capacidades hídricas.

Tabela 8 – Açúdes com capacidade de acumulação superior a 5 milhões de m³ por bacia hidrográfica.

Bacia/Açude	Município	Volume M ³ x 10	Descarga Regularizável (L/s) Nível de Garantia			
			100%	95%	90%	85%
Piranhas/Açu						
Caldeirão de Parelhas	Parelhas	10.195,6	2,1	2,6	2,9	3,0
Caldeirão de Parelhas	Parelhas	10.195,6	2,1	2,6	2,9	3,0
Boqueirão de Parelhas	Parelhas	85.012,7	38	53	59	63
Passagem das Traíras	São José Seridó	48.858,1	327	398	449	494
Itans	Caicó	81.750,0	138	196	222	229
Sabugi	São João Sabugi	65.334,8	190	249	280	306
Marechal Dutra	Acarí	40.000,0	95	122	127	142
Cruzeta	Cruzeta	35.000,0	81	94	104	114
Dourado	Currais Novos	10.321,6			0	0 0 0
Rio da Pedra	Santana do Matos	12.431,6	4,9	6,0	6,4	7,1
Zangarelhas	Jardim Seridó	7.916,0				

Fonte: RIO GRANDE DO NORTE (2009).

Segundo MASCARENHAS et. al. (2005), o município de Equador – RN se encontra totalmente inserido nos domínios da bacia hidrográfica Piranhas-Açu, sendo banhado pelas sub-bacias dos rios Malhada Grande e dos Quintos. O padrão de drenagem apresentado é do tipo dendrítico e todos os cursos d' água tem regime intermitente.

Os principais corpos de acumulação são os seguintes:

- A) Açude Mamão – Volume de 1.183.000 m³, açude público.
- B) Açude Equador – Volume de 150.000m³, açude público.
- C) Açude Riacho Verde – Volume de 100.000m³ açude comunitário.

VI. Geologia Regional

PFALTZGRAFF et. al. (2010), destaca que a geologia do Rio Grande do Norte é composta por três grandes grupos seguindo - se a ordem cronológica:

- A) Unidades pré-cambrianas (3,45 bilhões de anos até 542 milhões de anos);
- B) Unidades do Cretáceo (145 a 65 milhões de anos), representadas pelas rochas sedimentares da Bacia Potiguar e vulcânicas associadas;
- C) Coberturas sedimentares cenozoicas (65 milhões de anos até o recente).

Segundo SOUZA, A.P.F et al. (2001) os terrenos pré-cambrianos da província da Borborema sob o ponto de vista geológico podem se apresentar em duas unidades:

- A) O embasamento cristalino associado à unidade litológica denominada grupo Caicó é integrado por rochas gnáissico-migmatíticas-graníticas.
- B) O das coberturas metassedimentares associadas a unidades litológicas do proterozóico superior, constituída por quartzitos, micaxistos, metaconglomerados, calcários e gnaisses.

Do ponto de vista geológico regional a chamada província da Borborema está inserida no domínio transnordestino, que ocorre como uma faixa metamórfica que atravessa diagonalmente a Província de Dobramentos Nordeste.

De acordo com ALMEIDA (1967), a superfície territorial do estado do Rio Grande do Norte está inserida na região estrutural denominada Província da Borborema, que coincide com a Região de Dobramentos Nordeste.

Na região nordeste da Província da Borborema segundo JARDIM DE SÁ (1984), a faixa Seridó é formada por rochas supracrustais (metavulcânicas e metassedimentos), metamorfisadas em fácies xistos verde e anfibolito, denominado grupo Seridó, de idade paleoproterozóica, localizado sobre o embasamento de idade paleoproterozóica a arqueana (Complexo Caicó).

JARDIM DE SÁ (1984) reconhece dois tipos de litoestratigrafia no Complexo Caicó:

- A) Sequência de origem vulcanossedimentar, que incluem paragneisses, gnaisses bandados, migmatitos, anfibolitos, quartzitos ferríferos, calciossilicatos, formações ferríferas e etc.
- B) Associação de gnaisses ortoderivados, ou seja, ortogneisses tonalíticos-granodioríticos-graníticos, leucoortogneisses graníticos com lentes de rochas anfibolíticas e migmatitos intrudidos concordantemente com as supracrustais da primeira associação ou truncando uma estrutura mais antiga.

De acordo com JARDIM DE SÁ (1984), a subdivisão para as supracrustais do Grupo Seridó ocorre da seguinte maneira:

- A) Formação Jucurutu – Constituída por biotita ± epidoto ± anfibólio paragneisses, com intercalações de mármore, rochas calciossilicáticas e skarns, micaxistos, quartzitos, formações ferríferas, metavulcânicas predominantemente básicas e intermediárias, anfibolitos e alguns metaconglomerados basais e possíveis níveis de metachertes.
- B) Formação Equador – Constituída em sua maioria por quartzitos e metaconglomerados, sendo pertencentes ao topo desta formação ou a base da formação Seridó rochas como gnaisses, micaxistos, mármore e calciossilicatos.

C) Formação Seridó – Constituída por micaxistos feldspáticos ou aluminosos de médio a alto grau metamórfico, com locais restritos de baixo grau metamórfico. A fácies de médio a alto grau metamórfico é representada por biotita xistos granadíferos, podendo conter minerais como estauroлита ± cianita ± andalusita ± cordierita ± sillimanita. Na porção inferior da formação ocorrem intercalações de mármore, rochas calciossilicáticas, paragnaisses, rochas metavulcânicas, quartzitos e metaconglomerados. A fácies de baixo grau metamórfico é formada por sericita-clorita-biotita xistos, podendo conter sericita-clorita xistos, filitos e metassiltitos.

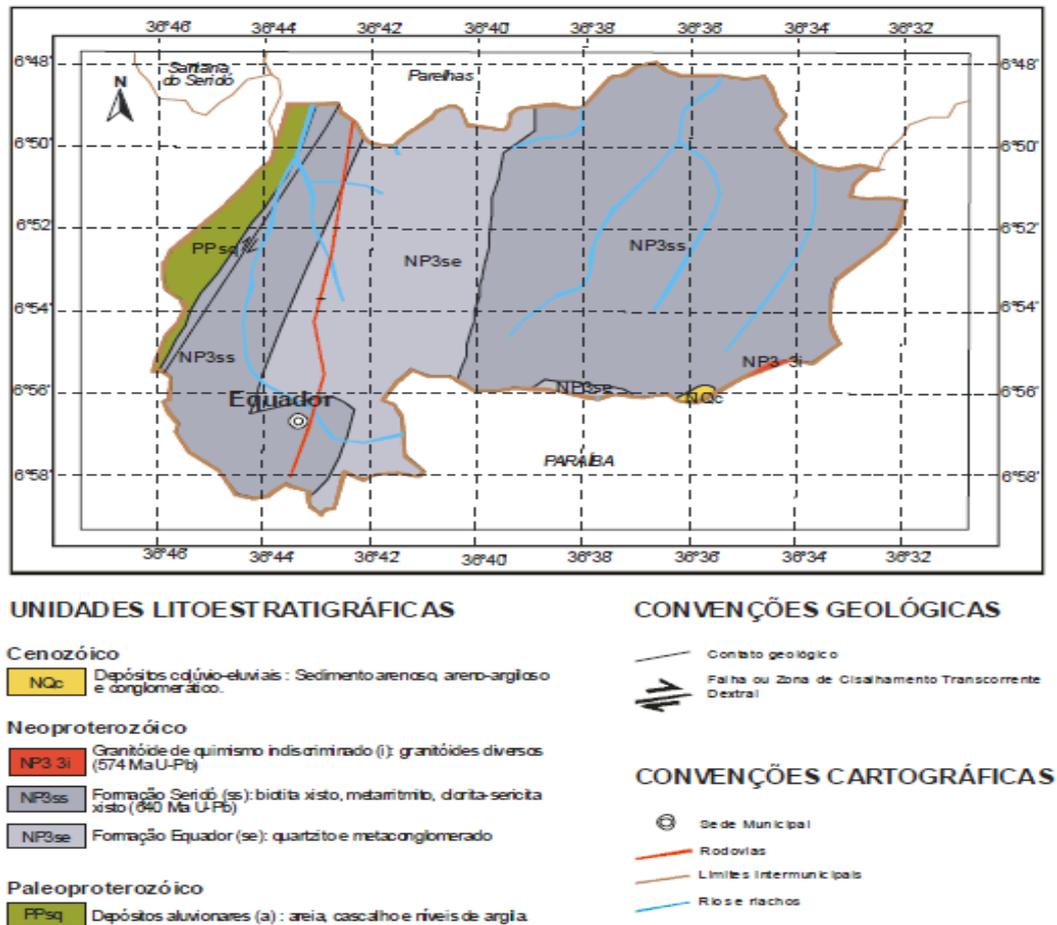
VII. Geologia Local

No contexto geológico local MASCARENHAS et. al. (2005), destaca que o município de Equador – RN está inserido na Província da Borborema sendo este constituído pelos litotipos do Complexo Serra dos Quintos (PPsq), das formações Equador (NP3s/se) e Seridó (NP3s/ss), e dos depósitos colúvio-eluviais (NQc).

Na área em estudo os granitos porfíricos, de idade Brasileira, encaixados nos gnaisses e migmatitos da Formação Jucurutu, variam desde rochas equigranulares médias a porfíricos (pegmatitos).

A coloração varia entre branca, rósea clara a rósea mais escura. Em determinadas porções do pegmatito mostram-se xenólitos de rochas foliadas tipo biotita gnaisse. Estruturalmente mostrando-se pouco fraturado. O aspecto alcalino deste material apresenta uma coloração branca com pontos pretos, destacando - se o aspecto estético da rocha, o que leva a rocha a ser estudada para fins ornamental/revestimento. Estas rochas apresentam feições geomorfológicas de relevo rebaixado formando lajedos a serrotes elevados.

Figura 11 – Mapa Geológico do município de Equador - RN.



Fonte: MASCARENHAS et. al. (2005).

2.4 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

A caracterização tecnológica de uma rocha ornamental constitui um fator fundamental para a inserção e aplicação de forma correta de uma determinada rocha ornamental numa certa atividade. Esta por sua vez ocorre atrelada a etapa de pesquisa mineral, o que vem a nortear o tipo de aplicação que aquele material novo poderá estar inserido, observando-se não só as características estéticas do material, mas também as suas características físico-mecânicas existentes.

De acordo com VIDAL et. al. (2014), a determinação das propriedades das rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises normalizados em laboratórios especializados, que objetivam a obtenção dos parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos característicos, cuja análise permitirá a recomendação do uso mais adequado no revestimento de edificações subsidiando assim a elaboração de projetos arquitetônicos.

FRASCÁ (2000) destaca que a caracterização tecnológica de rochas é realizada por meio de ensaios e análises, cujo principal objetivo é a obtenção de parâmetros petrográficos, químicos, físicos e mecânicos do material, que permitam a qualificação da rocha para uso no revestimento de edificações.

Estes ensaios procuram representar as diversas solicitações às quais a rocha estará submetida durante todo o seu processamento até seu uso final, quais sejam, extração, esquadrejamento, serragem dos blocos em chapas, polimento das placas, recorte em ladrilhos etc.

Quanto à padronização dos procedimentos VIDAL et. al. (2014), enfatiza que a normalização sendo uma função básica desta padronização tem por finalidade possibilitar a obtenção de parâmetros numéricos homogêneos para as diferentes propriedades, não dependendo do laboratório ao qual foi realizado o ensaio, vindo a permitir a comparação entre os diferentes materiais rochosos e a escolha do uso mais adequado para este material estudado.

Os procedimentos realizados para caracterizar os materiais pétreos a que se pretende estudar são normalizados por várias entidades internacionais. Dentre estas se destacam:

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
- American Society for Testing and Materials (ASTM);
- Comissão Europeia de Normalização (CEN);
- British Standard Institution (BSI);
- Deutches Institut für Normung (DIN);

Tabela 9 – Especificações para granitos segundo a ABNT e a ASTM.

Propriedade	NORMA	
	ABNT NBR 15844	ASTM C 615
Densidade aparente (Kg/m ³)	≥2.550	≥2.560
Porosidade aparente (%)	≤1,0	n.e.
Absorção d'água (%)	≤0,4	≤0,4
Compressão uniaxial (MPa)	≥100	≥131
Módulo de ruptura (carregamento em 3 pontos) (MPa)	≥10,0	≥10,34
Módulo de ruptura (carregamento em 4 pontos) (MPa)	≥8,0	≥8,27
Coefficiente de dilatação térmica linear [(10 ⁻³ mm/m x °C)]	≤8,0	n.e.
Impacto de corpo duro (m)	≥0,3	n.e.
Desgaste Amsler (mm/1000 m)	≤1,0	n.e.

Fonte: Adaptado de VIDAL et. al. (2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para se atingir os objetivos propostos neste trabalho o procedimento metodológico foi dividido nas três etapas descritas abaixo:

1ª Etapa – Amostragem;

2ª Etapa – Análise petrográfica das amostras coletadas;

3ª Etapa – Execução dos ensaios de caracterização tecnológica nas amostras coletadas.

3.1 AMOSTRAGEM

A amostragem figura numa etapa de fundamental importância para a realização de ensaios tecnológicos, visto que esta precisa ser a mais representativa possível do material ao qual será explorado, incluindo as variações mais comuns que este material possa vir a apresentar.

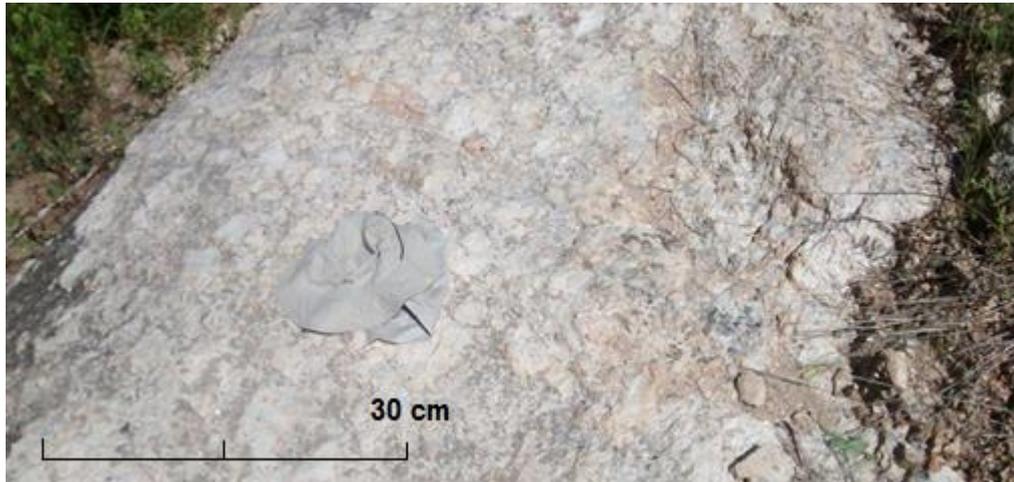
No trabalho de amostragem realizado na área onde está localizada a rocha ornamental em estudo foram realizadas diversas excursões de reconhecimento da geologia local, figurando assim na seleção de vários possíveis alvos que seriam representativos da geologia do corpo, ou seja, do maciço rochoso em estudo, e que forneceriam amostras para serem utilizadas nos ensaios tecnológicos posteriormente.

Também foram considerados vários aspectos para a retirada das amostras, tais como:

- Alteração superficial da rocha;
- Continuidade do maciço rochoso;
- Frequência e espaçamento das descontinuidades;
- Grau de coloração;
- Presença de afloramentos.

De acordo com a análise dos aspectos descritos acima e buscando boa representatividade do maciço rochoso em estudo, foi selecionado o afloramento abaixo (figura 12) para dar prosseguimento ao processo de amostragem.

Figura 12 – Afloramento.



Fonte: Autor.

Neste tipo de amostragem de rochas ornamentais recomenda-se o uso mínimo de energia necessária para retirada da amostra, não sendo recomendada a utilização de explosivos, pois este pode causar fragmentação na amostra aumentando assim o grau de fissuramento da amostra, o que pode modificar os resultados de alguns ensaios. Sendo assim para esta amostragem em especial foram utilizados os seguintes recursos:

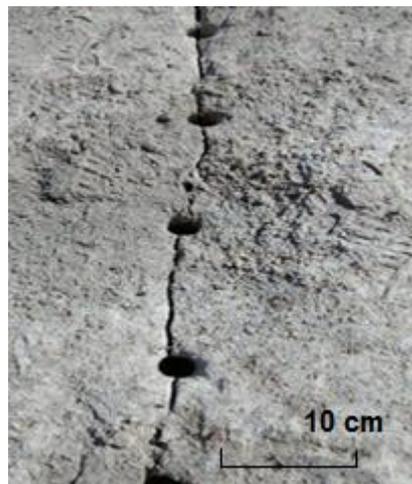
- Um martelo a combustão manual na perfuração dos furos;
- Emprego de argamassa expansiva para deslocar as amostras (blocos);
- Cunhas para auxiliar no esquadrejamento das amostras (blocos).

Figura 13 – Emprego de argamassa expansiva nos furos.



Fonte: Autor.

Figura 14 – Desenvolvimento das fraturas no afloramento.



Fonte: Autor.

Figura 15 – Esquadrejamento final do bloco.



Fonte: Autor

Figura 16 – Amostra coletada.

Fonte: Autor.

Ao final do trabalho de amostragem foram coletadas cerca de cinco amostras com dimensões aproximadas de 50 cm x 40 cm x 30 cm, que seguiram para a etapa posterior de preparação, para posteriormente passar pelos ensaios de caracterização tecnológica.

3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Os ensaios de caracterização tecnológica de rochas ornamentais buscam quantificar e qualificar algumas propriedades petrográficas, químicas, e físico-mecânicas das rochas. Esta etapa busca conhecer as propriedades tecnológicas da rocha ornamental em estudo visando nortear a sua aplicação correta nas mais diversas atividades. A Tabela 10 abaixo descreve os ensaios que foram realizados neste trabalho.

Tabela 10 – Ensaios de caracterização tecnológica.

Ensaio	Norma
Análise Petrográfica	ABNT- NBR 15845/2010. Anexo A.
Índices Físicos	ABNT- NBR 15845/2010. Anexo B.
Resistência a Compressão Uniaxial	ABNT- NBR 15845/2010. Anexo E.
Resistência à Flexão (módulo de ruptura)	ABNT- NBR 15845/2010. Anexo F.
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	ABNT- NBR 15845/2010. Anexo H.
Desgaste Abrasivo Amsler	ABNT - NBR 12042/1992.

3.2.1 Análise Petrográfica

De acordo com a norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo A), a análise petrográfica consiste em estudos macroscópicos e microscópicos executados em laboratório especializado, visando à caracterização completa e classificação de uma rocha.

Segundo QUEIROZ e CARANASSIOS (2007), o estudo petrográfico de uma rocha implica uma série de observações rigorosas que pretendem, em geral, descrever a composição mineralógica, a forma, as dimensões e relações mútuas dos constituintes (textura), a alteração e deformações sofridas, etc.

Neste tipo de análise procura-se estabelecer parâmetros que através dos resultados observados nas descrições macroscópica (estrutura e coloração) e microscópica (textura, granulação e mineralogia presente), possa definir características tais como, grau de alteração, padrão de microfissuramento, deformação dentre outros, que possam direcionar as melhores condições de aplicabilidade das rochas ornamentais nas edificações.

A análise propriamente dita foi realizada a partir da metodologia descrita na norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo A), e foram desenvolvidas no laboratório de microscopia ótica do Departamento de Geologia da UFPE.

A rocha ornamental em estudo trata-se de uma rocha granítica com textura pegmatítica de coloração esbranquiçada, sendo de origem Ígnea intrusiva, matriz fanerítica holocristalina, e textura gráfica leucocrática com coloração branco acinzentada, constituída por minerais de dureza média a baixa entre 7 e 2,5 na escala de Mohs, tendo como minerais predominantes Feldspato potássio, plagioclásio e Quartzo, e como minerais acessórios biotita e muscovita.

Figura 17 – Rocha ornamental (Amostra de mão).



Fonte: Autor.

3.2.2 Índices Físicos

Segundo a norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo B), o ensaio de índices físicos consiste num método para determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações.

FRASCÁ (2000) refere-se aos índices físicos como sendo às propriedades de massas específica aparente seca e saturada (kg/m^3), porosidade aparente (%) e absorção d'água (%), que permitem avaliar, indiretamente, estado de alteração e de coesão das rochas.

Neste contexto os índices físicos podem estar relacionados entre si a exemplo de matrizes rochosas que apresentam uma pequena porosidade aparente e conseqüentemente uma pequena absorção de água e também estes valores podem ser associados à resistência mecânica do material como no caso de rochas com alta densidade que apresentam uma alta resistência mecânica. Todos esses parâmetros são de extrema importância quando se deseja utilizar os índices físicos para caracterizar um determinado material rochoso.

O ensaio foi realizado baseado na norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo B), onde foram adotados os seguintes procedimentos descritos abaixo:

I. Preparação das Amostras

Os blocos obtidos na amostragem inicial foram cortados no sentido longitudinal numa espessura de 10 cm utilizando-se uma máquina de fio diamantado. Logo após estes foram levados a marmoraria para serem transformados em dez pequenos blocos com dimensões de 5 cm x 5 cm x 2,5 cm, com o auxílio de uma máquina com lâmina de corte diamantada.

Figura 18 – Máquina de corte com lâmina diamantada.



Fonte: Autor.

II. Procedimento de Ensaio

Primeiramente os corpos-de-prova foram lavados e escovados com escova de cerdas macias em água corrente. Este procedimento busca remover algum material que esteja depositado na superfície do corpo de prova e que esteja por ventura causando acúmulo de peso e obstrução nos poros do corpo de prova.

Logo após os corpos de prova foram enxugados enumerados e colocados na bandeja para seguir para a estufa, onde permaneceu por 24 h à temperatura de $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$, atingindo assim a sua massa constante.

Figura 19 – Corpos de prova na bandeja.



Fonte: Autor.

Figura 20 – Corpos de prova seguindo para secagem na estufa.



Fonte: Autor.

Após ser completado o tempo de secagem na estufa o material foi retirado e deixado ao ar livre até resfriar por completo, sendo levado até a balança de precisão para que sejam efetuados os pesos secos (M_{sec}) das referidas amostras.

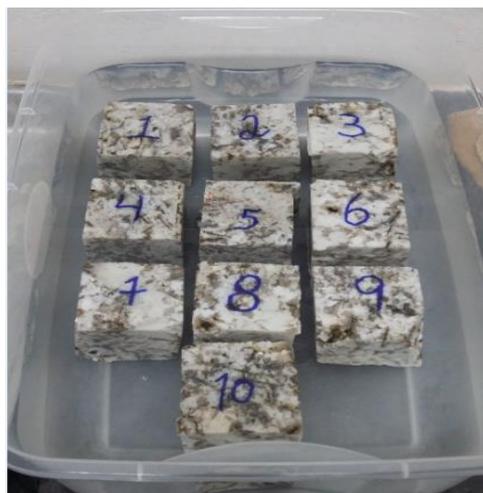
Figura 21 – Procedimento de pesagem da amostra seca.



Fonte: Autor.

Feito o procedimento de pesagem das amostras secas deu-se início ao processo de saturação das amostras para posteriormente executar-se procedimento de pesagem dos corpos de prova submersos e saturados. Primeiramente colocaram-se os corpos de prova numa bandeja e adicionou-se água destilada até alcançar $1/3$ da altura destes corpos de prova. Após 4 h adicionou água destilada até a altura de $2/3$ dos corpos de prova, completando assim a submersão após mais 4 horas de duração. A partir deste período os corpos de prova foram deixados submersos por 40 horas completando assim o estado de saturação dos mesmos.

Figura 22 – Procedimento de saturação das amostras.



Fonte: Autor.

Feito esse procedimento foram feitas as medições dos pesos saturados (M_{sat}) e pesos submersos (M_{sub}) para os dez corpos de prova utilizados.

Figura 23 – Procedimento de pesagem das amostras submersas.



Fonte: Autor.

Com a obtenção dos pesos seco, peso saturado e peso submerso foram calculados os seguintes parâmetros abaixo:

A) Densidade Aparente (ρ_a)

Este parâmetro expressa a relação entre a massa e o volume aparente da rocha, sendo medido em Kg/m^3 .

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

ρ_a = Densidade aparente (Kg/m^3).

M_{sec} = Massa seca (g).

M_{sat} = Massa saturada (g).

M_{sub} = Massa submersa (g).

B) Porosidade Aparente (η_a)

Este parâmetro expressa a relação entre o volume de vazios e o volume total da amostra, determinada pela razão entre a massa seca e a massa saturada em água, sendo medido em porcentagem.

$$\eta_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

C) Absorção de Água (α_a)

Este parâmetro é considerado como o valor numérico que reflete a capacidade de incorporação de água na amostra, que com o passar do tempo pode causar a deterioração do material.

$$\alpha_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

De acordo com VIDAL et. al. (2014), a absorção depende do sistema poroso da rocha, que é responsável pela permeabilidade à água, que por sua vez depende da estrutura capilar. A determinação do coeficiente de capilaridade indica a máxima absorção de uma rocha ao ser imersa em água por tempo previamente estabelecido.

O ensaio de índices físicos foi realizado no laboratório de Rochas Ornamentais do PPGEMinas da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

3.2.3 Resistência a Compressão Uniaxial

De acordo com FRASCÁ (2000), a resistência a compressão uniaxial pode ser definida como sendo a determinação da tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando esta é submetida a esforços compressivos. Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando esta é utilizada como elemento estrutural e obtendo - se assim um parâmetro indicativo de sua integridade física.

Assim o ensaio de resistência à compressão uniaxial indica o quanto uma rocha tende a resistir a esforços compressivos aplicado numa determinada direção, visando assim determinar a qual tensão a rocha sofre uma ruptura.

Este parâmetro é mais observado quando as rochas são utilizadas como função de um pilar ou qualquer outra função estrutural que tenham cargas atuantes numa direção vertical ao elemento rochoso.

De acordo com VIDAL et. al. (2014), a resistência mecânica dos diferentes tipos rochosos é diretamente influenciada por algumas características que permitem antecipar o comportamento do material perante as diversas solicitações de carga ou esforços.

Dentre estas características podem ser destacadas a estrutura do material e a granulação. Com relação à estrutura esta pode influenciar na resistência mecânica a partir do ponto em que o material apresenta uma isorientação decorrente de deformações tectônicas, sendo muito natural em grande parte das rochas metamórficas, ou a presença de estratificação em rochas sedimentares, o que vem a conferir uma anisotropia ou variação das propriedades mecânicas de acordo com o plano considerado.

Com relação à granulação, as rochas com granulação mais fina são relativamente mais resistentes do que as rochas que apresentam uma granulação mais grosseira.

Quando as rochas apresentam uma heterogeneidade granulométrica como é o caso das rochas porfíricas (ígneas) ou porfiroblásticas (metamórficas), a resistência mecânica destas rochas também é afetada, pois cristais com grandes dimensões tornam-se pontos de fraqueza (sujeitos à ruptura com menores cargas) na rocha.

O ensaio foi realizado baseado na norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo E), onde foram adotados os seguintes procedimentos descritos abaixo:

I. Preparação das amostras

Com o auxílio de uma máquina com lâmina de corte diamantada foram preparados seis corpos-de-prova no formato cúbico e dimensões de 7 cm x 7 cm x 7 cm e com erro admitido de 0,2 cm.

Para o caso de amostras em formato cúbico, deve-se garantir no ato da preparação que os ângulos formados entre duas faces consecutivas sejam de $90^\circ \pm 0,5^\circ$, para manter-se a perpendicularidade destas faces. Também deve - se, quando for preciso retificar as faces de carregamento dos corpos, para eliminar uma eventual rugosidade remanescente.

Figura 24 – Corpos de prova utilizados no ensaio de resistência a compressão uniaxial.



Fonte: Autor.

II. Procedimento de Ensaio

Antes do ensaio as amostras foram deixadas na estufa por 48 h, a uma temperatura de $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$, eliminando assim a sua umidade natural. Logo após essa secagem as amostras foram submetidas a uma força de compressão numa prensa hidráulica (marca WPM), a uma taxa de 200 KN/min.

Feito esse procedimento foram anotados os seis valores de ruptura dos seis corpos de prova utilizados e foram efetuados os cálculos de determinação da compressão uniaxial através da equação abaixo:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

σ_c = Tensão de ruptura na compressão ou resistência à compressão uniaxial máxima ou última, medido em (Mpa).

P = Força máxima de ruptura ou carga de ruptura, medido em (KN).

A = Área da face do corpo-de-prova submetida ao carregamento, medido em (m²).

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

3.2.4 Resistência à Flexão (módulo de ruptura)

De acordo com FRASCÁ (2000), o ensaio de tração na flexão determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores. Permite avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, e também fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração.

A importância desse tipo de ensaio está no fato de que através deste pode-se determinar a tensão máxima aos quais as placas podem ser solicitadas devido à ação do vento como em painéis de edifícios, numa quina de bancada, também na descarga do tear e nas operações de polimento e transporte das chapas.

O ensaio foi realizado baseado na norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo F), onde foram adotados os seguintes procedimentos descritos abaixo:

I. Preparação das Amostras

Com o auxílio de uma máquina com lâmina de corte diamantada foram preparados cinco corpos-de-prova com as seguintes dimensões de 20 cm x 10 cm x 5 cm, mantendo as superfícies planas e as faces opostas paralelas.

Figura 25 – Corpos de prova utilizados no ensaio de resistência a flexão (módulo de ruptura).



Fonte: Autor.

II. Procedimento de Ensaio

Antes do ensaio as amostras foram deixadas na estufa por 48 h, a uma temperatura de $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$, eliminando assim a sua umidade natural. Logo após essa secagem as amostras foram submetidas ao ensaio de três pontos numa prensa hidráulica (SOLOTEST) cuja capacidade é de 20 toneladas.

Figura 26 – Ensaio de resistência à flexão (módulo de ruptura).



Fonte: Autor.

Feito esse procedimento foram anotados os cinco valores de ruptura dos cinco corpos de prova utilizados e foram efetuados os cálculos de determinação da resistência à flexão através da equação abaixo:

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

σ_f = Módulo de ruptura, medido em (MPa);

P = Força de ruptura, medido em (KN);

L = Distância entre os roletes inferiores, medido em (m);

b = Largura do corpo de prova, medido em (m);

d = Espessura do corpo de prova, medido em (m).

O ensaio de resistência à flexão foi realizado no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

3.2.5 Resistência ao Impacto de Corpo Duro

De acordo com IAMAGUTI (2001), a maior ou menor capacidade de uma rocha suportar uma ação mecânica instantânea seja um golpe ou um impacto é denominado de tenacidade. Esta por sua vez depende dos minerais formadores de rochas, e da trama (textura e estrutura) da rocha.

Para VIDAL et. al. (1999), o ensaio de resistência ao impacto de corpo duro possibilita a obtenção de informações relativas ao grau de tenacidade de um material rochoso, e conseqüentemente, a sua capacidade de suportar ações mecânicas instantâneas, estando esta propriedade relacionada com o arranjo interno dos minerais e com a estrutura da rocha.

O ensaio de resistência ao impacto permite avaliar a tenacidade do material rochoso, visando à simulação de queda de objetos pesados nos materiais pétreos em diversas situações.

Este tipo de ensaio tem importância na caracterização de materiais para revestimento de interiores como pisos, partes baixas de paredes como soleiras, degraus, mesas, balcões, pias, etc.

O ensaio foi realizado baseado na norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo H), onde foram adotados os seguintes procedimentos descritos abaixo:

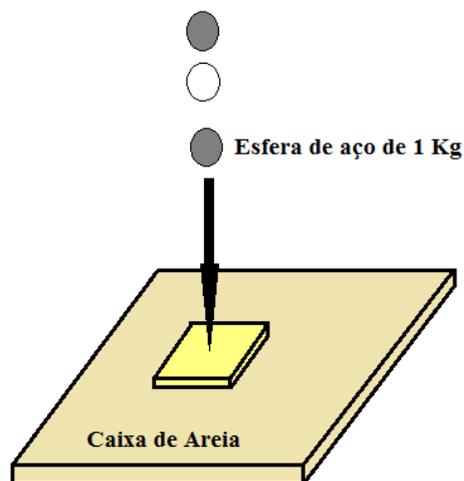
I. Preparação das Amostras

Com o auxílio de uma máquina com lâmina de corte diamantada foram preparados três corpos-de-prova com as seguintes dimensões de 20 cm x 20 cm x 2,5 cm, mantendo as superfícies planas e as faces opostas paralelas e também a representatividade das feições estéticas previstas na aplicação das placas.

II. Procedimento de Ensaio

No ensaio foi deixado cair sobre o corpo-de-prova em movimento de queda livre uma esfera de aço, com uma massa de 1 Kg a uma altura inicial de 20 cm, sendo repetido o procedimento em intervalos crescentes de 5 cm a partir da altura inicial até que ocorrer-se a fissuração e a ruptura da placa, sendo assim anotadas as alturas com que estes eventos aconteceram.

Figura 27 – Simulação do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.



Fonte: Adaptado de IAMAGUTI (2001).

Figura 28 – Ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.



Fonte: Autor.

Os resultados devem ser expressos pela média aritmética da altura de ruptura e a expressão utilizada para calcular a energia potencial gravitacional acumulada no corpo é a seguinte:

$$w = m \times g \times h \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

w = Energia de ruptura, medido em (J);

m = Massa da esfera, medido em (Kg);

g = Aceleração da gravidade, medido em (m/s^2);

h = Altura de ruptura, medido em (m).

De acordo com IAMAGUTI (2001), o valor da energia liberada pelo impacto de um corpo, que cause a ruptura de uma placa é importante para os materiais nas suas mais diversas aplicações. Assim quanto menor for o resultado do ensaio menor será a resistência ao choque do material, tornando-se imprescindíveis cuidados quanto ao transporte, estocagem e colocação.

O ensaio de impacto de corpo duro foi realizado no Laboratório de preparação de amostras de rochas ornamentais da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

3.2.6 Desgaste Abrasivo Amsler

De acordo com VIDAL et. al. (1999), no ensaio por desgaste abrasivo Amsler a resistência que uma rocha oferece ao desgaste está diretamente associada à dureza de seus constituintes minerais e a sua capacidade.

CARVALHO (2010) enfatiza que a resistência que a rocha oferece ao desgaste tem relação direta com a composição mineralógica, grau de dureza dos constituintes minerais e seus imbricamentos mineralógicos, granulação e arranjo mineral (textura).

O ensaio simula a abrasão que ocorre em ambientes revestidos com rochas ornamentais onde se verifica um tráfego intenso de pessoas ou veículos, tais como pisos de Hall, degraus de escadarias e etc.

Quanto à aplicação correta do material rochoso, não é recomendado que rochas de baixa dureza, ou seja, rochas que possuem alto índice de desgaste sejam utilizadas como revestimento em ambientes de trânsito intenso de pedestre. Já rochas as rochas quartzosas ou rochas com um baixo índice de desgaste podem ser facilmente utilizadas nestes ambientes de tráfego intenso, pois o desgaste nestas rochas será mínimo.

O ensaio foi realizado baseado na norma ABNT- NBR 12042/1992, onde foram adotados os seguintes procedimentos descritos abaixo:

I. Preparação das Amostras

Com o auxílio de uma máquina com lâmina de corte diamantada foram preparados dois corpos-de-prova com as seguintes dimensões de 7 cm x 7 cm x 2,8 cm, respectivamente.

Figura 29 – Amostras utilizadas no ensaio de desgaste Amsler.



Fonte: Autor

II. Procedimento de Ensaio

O ensaio foi efetuado numa máquina Amsler, onde os corpos-de-prova tiveram as suas medidas de espessura retiradas antes e depois do desgaste abrasivo.

O ensaio consistiu-se em passar os corpos-de-prova por um percurso inicial de 500 m e logo após um percurso de 1.000 m, utilizando como elemento abrasivo areia quartzosa n° 50 (granulação 0,3 mm) com 92 % de sílica (SiO₂).

Figura 30 – Máquina para execução do ensaio de desgaste abrasivo Amsler.



Fonte: Autor.

Para a redução de espessura (em mm) de cada amostra foram efetuados os seguintes cálculos:

$$d = a - b \quad \text{(Equação 7)}$$

$$e = a - c \quad \text{(Equação 8)}$$

Onde:

a = Altura inicial média das quatro faces, medido em (mm);

b = Altura média das quatro faces após 500 metros, medido em (mm);

c = Altura média das quatro faces após 1000 metros, medido em (mm);

d = Desgaste médio após 500 metros, medido em (mm);

e = Desgaste médio após 1000 metros, medido em (mm).

O ensaio de resistência à flexão foi realizado no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados e discutidos todos os resultados encontrados a partir da realização dos ensaios de caracterização tecnológica da rocha ornamental em estudo.

4.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA

4.1.1 Análise Macroscópica

A rocha em estudo se trata de uma rocha Ígnea intrusiva compacta, com textura pegmatítica, e textura gráfica leucocrática com coloração branco acinzentada, constituída por minerais de dureza média a baixa entre 7 e 2,5 na escala de dureza, tendo como minerais predominantes feldspato potássio, plagioclásio e quartzo, e como minerais acessórios biotita e muscovita.

Na amostra são observados planos de fraqueza (fraturas) que se orientam ao longo dos cristais de quartzo. A matriz porfirítica está composta de cristais milimétricos a centimétricos o que indica duas fases de cristalização sendo que na primeira fase de cristalização foram formados os cristais em escala centimétrica e a segunda fase bem mais rápida foram formados os cristais de dimensões milimétricas. As fraturas datam um evento de esforço tardio, à formação dos fenocristais de quartzo e feldspato, em uma trama anisotrópica.

4.1.2 Análise Microscópica

A rocha apresenta textura porfirítica com fenocristais de plagioclásio em uma matriz quartzo-feldspática, com predominância de minerais félsicos (>90 %). Ocorre intercrescimento de quartzo e feldspato, evidenciado pela presença de textura gráfica.

A rocha é composta predominantemente pelos seguintes minerais:

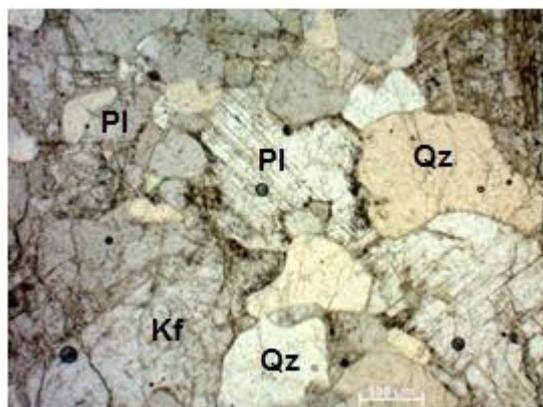
Tabela 11 – Minerais constituintes da rocha ornamental em estudo.

Minerais	Percentual Mineralógico
Plagioclásio	30 %
Feldspato Potássico	25 %
Muscovita	20 %
Quartzo	15 %
Biotita	10 %

Tabela 12 – Descrição mineralógica da lâmina da rocha ornamental em estudo e nome da rocha.

Minerais	Características Observadas
Plagioclásio	Apresentam grãos anedrais, contato retilíneo e macla albíta bem visível o que evidencia duas fases de formação de minerais.
Feldspato Potássico (Microclínio)	Apresenta – se em contato com o quartzo, muito fraturado com geminação simples de repetição albíta periclina o que gera um aspecto xadrezado, clivagem perfeita em duas direções.
Muscovita	Apresenta cristais de habito micáceo com coloração incolor.
Quartzo	Apresenta grãos subanedrais a anedrais, fraturado com extinção ondulante e contatos retos com feldspato e muscovita.
Biotita	Apresenta cristais de habito micáceo, coloração preta a marrom escuro.
Nome da Rocha - Granito Pegmatítico a Duas Micas.	

Figura 31 – Textura corolítica, em virtude da alteração do feldspato.



Fonte: Autor.

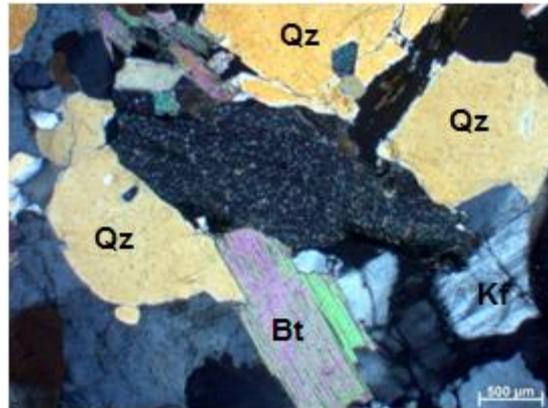
Na figura 31 acima os termos possuem os seguintes significados:

Pl = Plagioclásio;

Kf = K-feldspato;

Qz = Quartzo.

Figura 32 – Cristais de quartzo (amarelo) em contato com mica e feldspato com extinção ondulante.



Fonte: Autor.

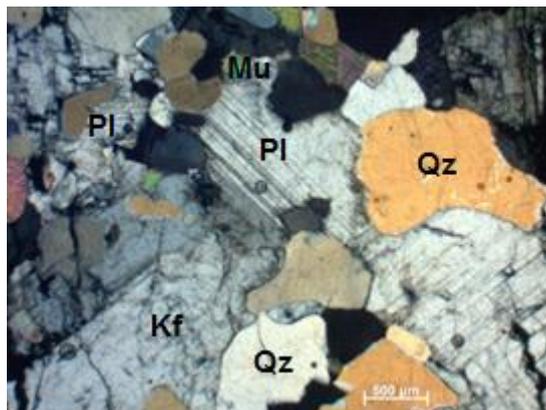
Na figura 32 acima os termos possuem os seguintes significados:

Bt = Biotita;

Kf = K-feldspato;

Qz = Quartzo.

Figura 33 – Cristais de microclina, aspecto xadrezado típico.



Fonte: Autor.

Na figura 33 acima os termos possuem os seguintes significados:

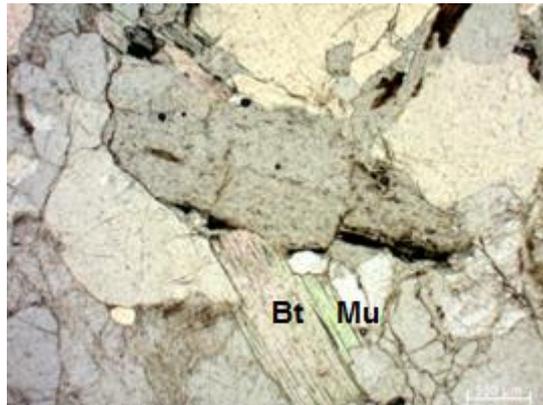
Mu = Muscovita;

Pl = Plagioclásio;

Kf = K-feldspato;

Qz = Quartzo.

Figura 34 – Cristais de muscovita e biotita hábito micáceo.



Fonte: Autor.

Na figura 34 acima os termos possuem os seguintes significados:

Mu = Muscovita;

Bt = Biotita.

Como gênese da rocha tem-se um granito porfirítico que sofreu alterações por processo magmático hidrotermal. A rocha foi formada em ambiente típico de mobilização de fluidos metassomáticos (hidrotermal rica em potássio) de composição quartzo, feldspato e mica.

4.2 ÍNDICES FÍSICOS

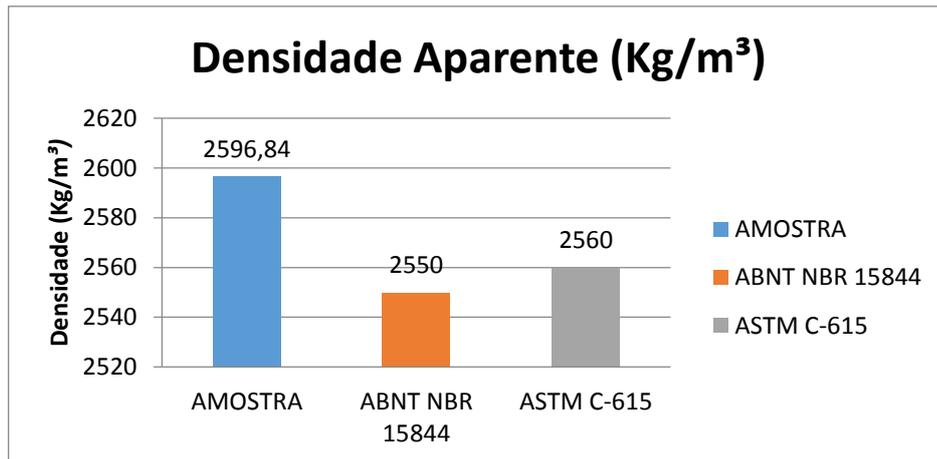
Os ensaios dos índices físicos efetuados na rocha ornamental em estudo compreendem a densidade aparente, porosidade e absorção de água, feitos estes segundo a norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo B). Os resultados encontrados estão expostos na tabela 13 abaixo. Os parâmetros normativos utilizados para avaliar os resultados obtidos nos ensaios foram os parâmetros encontrados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615 respectivamente.

Tabela 13 – Valores médios de índices físicos da rocha ornamental estudada.

Densidade Aparente (Kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção de Água (%)
2.596,84	1,926	0,741

O gráfico 5 abaixo mostra o valor da densidade aparente (2.596,84 Kg/m³) encontrado na amostra em estudo e os valores mínimos de densidade aparente para rochas graníticas citados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 (2.550 Kg/m³) e ASTM C-615 (2.560 Kg/m³).

Gráfico 5 – Comparação da densidade aparente da amostra obtida no ensaio e as respectivas densidades aparentes consideradas nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615.



Fonte: Autor.

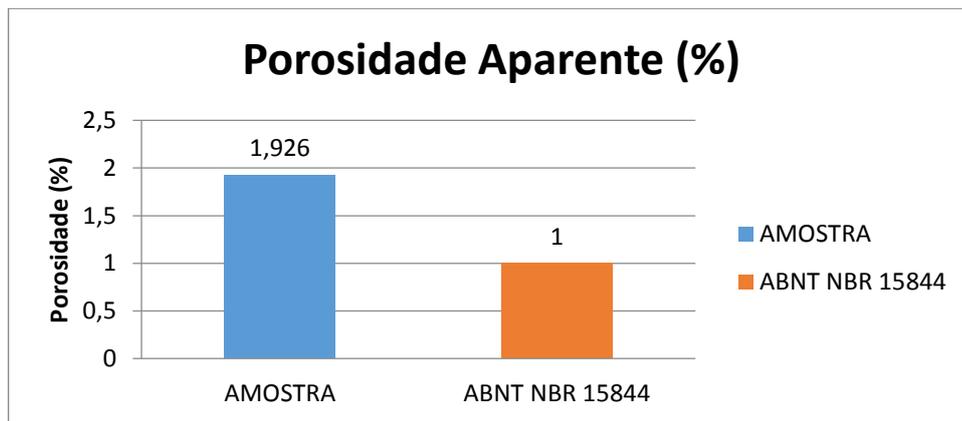
No que se refere à densidade aparente das rochas graníticas, trabalhos como os de MATTOS et al. (2003) e ARTUR et al. (2001) destacam que existe uma correlação entre a densidade aparente da rocha e o seu percentual de minerais félsicos e máficos presentes na matriz rochosa.

Logo rochas graníticas com maior percentual de minerais máficos apresentam maiores densidades. Já rochas graníticas que apresentam menores percentuais de minerais máficos, apresentam menores valores de densidade aparente, se aproximando assim dos valores limítrofes mínimos destacados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615, respectivamente.

No caso da rocha ornamental em estudo por se tratar de uma rocha com um percentual baixo de minerais máficos observa-se que o valor encontrado para a sua densidade aparente está bem próximo dos limites mínimos destacados nas normas citadas. Por apresentar valores condizentes com os limites mínimos das normas citadas a rocha fica credenciada para ser utilizada como revestimentos exteriores de granitos estruturais, tanto no mercado interno quanto no mercado externo de rochas ornamentais.

O gráfico 6 abaixo mostra o valor da porosidade (1,926 %) encontrado na rocha ornamental em estudo e o valor mínimo de porosidade para rochas graníticas citada na norma brasileira ABNT- NBR 15844/2010 ($\leq 1,0$ %), visto que a norma americana ASTM C-615 não especifica este tipo de parâmetro.

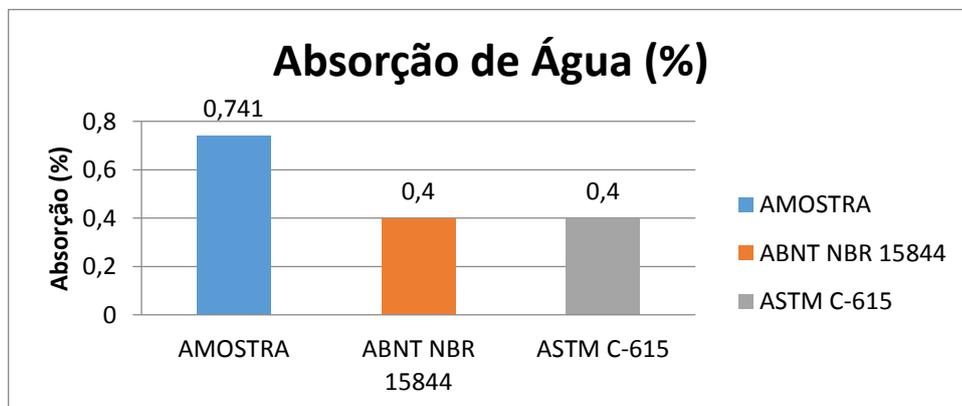
Gráfico 6 – Comparação da porosidade aparente da amostra obtida no ensaio e a porosidade aparente considerada na norma ABNT- NBR 15844/2010.



Fonte: Autor.

Já o gráfico 7 abaixo mostra o valor da absorção de água (0,741 %) encontrado na rocha ornamental em estudo e aos valores mínimos de absorção de água para rochas graníticas citados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 ($\leq 0,4$ %) e ASTM C-615 ($\leq 0,4$ %).

Gráfico 7 – Comparação da absorção de água da amostra obtida no ensaio e as respectivas absorções de água consideradas nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615.



Fonte: Autor.

De acordo com MATTOS I. C. (2005), granulação da rocha, grau de entrelaçamento, grau de microfissuramento e grau de alteração dos minerais constituintes da rocha constituem os principais fatores que condicionam os índices de porosidade e absorção de água numa rocha. Já ARTUR et. Al. (2001), conclui que algumas correlações entre dados petrográficos e valores físicomecânicos são diretos e evidentes, incluindo-se nesta categoria o grau de microfissuramento em relação às porcentagens de porosidade e absorção de água das rochas.

Para o caso da rocha ornamental em estudo tanto o valor de porosidade aparente quanto o valor de absorção de água apresentaram-se acima dos limites estabelecidos pelas normas da ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615, respectivamente.

Característica esta que reside no fato da rocha se tratar de um granito porfirítico de textura inequigranular com mais minerais de alteração e uma maior ocorrência de microfissuras na matriz rochosa e também de presença de minerais micáceos nesta matriz rochosa. O outro fator que pode ter condicionado um aumento no grau de porosidade da rocha em estudo é o estado de alteração da rocha pois esta se encontrava aflorante quando foi coletado as amostras, sendo assim sempre que possível recomenda-se fazer a coleta das amostras de partes mais profundas do maciço rochoso, pois estas partes estão menos susceptíveis a fatores intempericos, o que fornece valores mais confiáveis de porosidade aparente a absorção de água.

Diante do exposto pode-se concluir que a rocha ornamental em estudo não é indicada para uso em ambientes úmidos como balcões, pias e áreas externas, necessitando assim de um tratamento especial de impermeabilização caso este venha a ser utilizado neste tipo de ambiente.

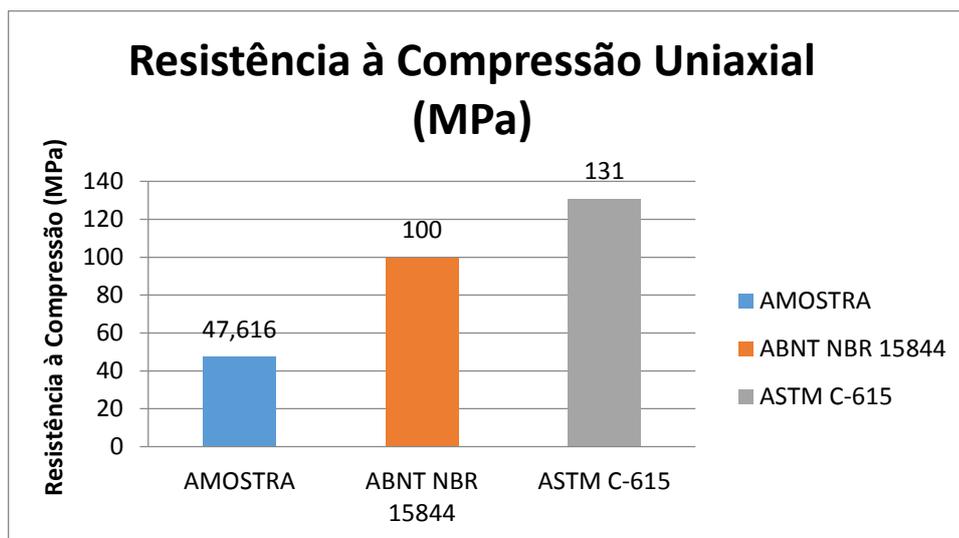
4.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL

O ensaio de resistência à compressão uniaxial foi realizado segundo a norma ABNT-NBR 15845/2010 (Anexo E). O resultado encontrado está exposto na tabela 14 abaixo. Os parâmetros normativos utilizados para avaliar os resultados obtidos nos ensaios foram os parâmetros encontrados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615 respectivamente.

Tabela 14 – Valor médio da Resistência à compressão uniaxial da rocha ornamental em estudo.

Resistência à Compressão Uniaxial (Mpa)
47,616

Gráfico 8 – Comparação da resistência à compressão uniaxial da amostra obtida no ensaio e os respectivos valores de resistência à compressão uniaxial considerados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615.



Fonte: Autor.

De acordo com VIDAL (2002), a resistência à compressão como característica físico-mecânica representa um valioso índice de qualidade dos materiais para uso como rochas ornamental e de revestimento, estando diretamente relacionada com as outras propriedades que dependem da estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração da rocha. Podendo estruturas orientadas apresentar resultados diferentes de suas resistências de acordo com a direção da solicitação esteja ela paralela ou perpendicular a estas estruturas.

Na rocha ornamental em estudo foram observados valores bem abaixo dos limites mínimos de resistências considerados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615, sendo compatível com a direção paralela ao plano de fraqueza da rocha, ou seja, direção de menor resistência do material.

Um aspecto importante a ser considerado é a granulação da rocha e a presença de minerais micáceos, pois como a rocha se trata de um granito porfirítico esta apresenta uma granulação heterogênea e mais grosseira o que aumenta os pontos de fraqueza nas vizinhanças dos cristais maiores e conseqüentemente o grau de fissuramento na rocha.

A presença de minerais micáceos na rocha principalmente se estes estiverem na forma de fenocristais constitui um aspecto relevante no que diz respeito à resistência a compressão apresentada pela rocha, isso devido à clivagem natural dos minerais micáceos que podem constituir mais um plano de fraqueza na rocha. Todos estes aspectos devem ser considerados quando a rocha em questão for direcionada para projetos estruturais e arquitetônicos.

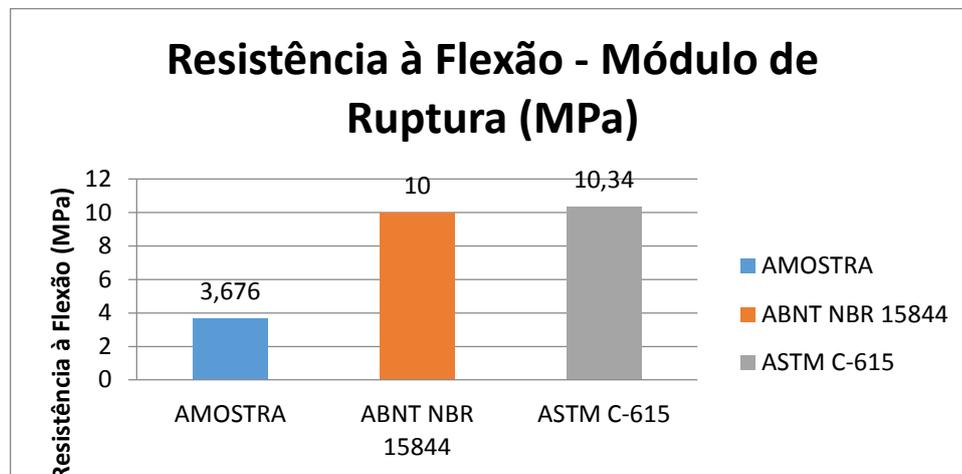
4.4 RESISTÊNCIA À FLEXÃO – MÓDULO DE RUPTURA

O ensaio de resistência à flexão em três pontos (módulo de ruptura) foi realizado segundo a norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo F). O resultado encontrado está exposto na tabela 15 abaixo. Os parâmetros normativos utilizados para avaliar os resultados obtidos nos ensaios foram os parâmetros encontrados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615 respectivamente.

Tabela 15 – Valor médio da Resistência à flexão da rocha ornamental em estudo.

Resistência à Flexão – Módulo de Ruptura (Mpa)
3,676

Gráfico 9 – Comparação da resistência à flexão (módulo de ruptura) da amostra obtida no ensaio e os respectivos valores de resistência à flexão (módulo de ruptura) consideradas nas normas ABNT-NBR 15844/2010 e ASTM C-615.



Fonte: Autor.

De acordo com VIDAL (2002), assim como ocorre na resistência à compressão uniaxial, a resistência à flexão também depende muito da estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração das rochas. Também podendo estas estruturas caso sejam orientadas apresentar resultados diferentes de suas resistências de acordo com a direção da solicitação esteja ela paralela ou perpendicular a estas.

Na rocha ornamental em estudo foram observados valores bem abaixo dos limites mínimos de resistências à flexão (módulo de ruptura), considerados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615, podendo ser explicado pelos mesmos aspectos já mencionados no ensaio de resistência à compressão, tais como presença de granulação heterogênea e mais grosseira (quanto maior for à granulação da rocha menor será a sua resistência), grau de fissuramento da rocha e presença de minerais micáceos na matriz rochosa.

Por fim para um valor médio da resistência a flexão abaixo dos limites mínimos estabelecidos pelas normas citadas como se observa na rocha ornamental em estudo, ARAÚJO (2015) indica o uso de telas nestes tipos de materiais, pois estes elementos conferem ao material uma maior rigidez e conseqüentemente um aumento na sua resistência mecânica, visto que as mais diversas aplicações (fechadas, bancadas e mesas, degraus e etc.) destes materiais envolvem esforços fletores (flexão e tração).

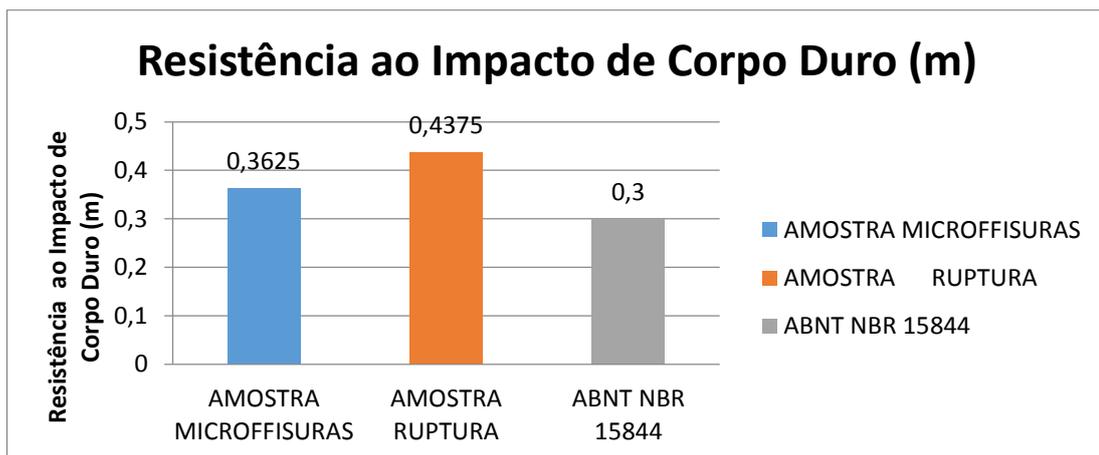
4.5 RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro foi realizado segundo a norma ABNT- NBR 15845/2010 (Anexo H). O resultado encontrado está exposto na tabela 16 abaixo. O parâmetro normativo utilizado para avaliar o resultado obtido no ensaio foi o parâmetro encontrado na norma ABNT- NBR 15844/2010.

Tabela 16 – Valor médio das alturas de queda que causam microfissuramento e ruptura na rocha ornamental em estudo.

Resistência ao Impacto - Microfissuras (m)	Resistência ao Impacto - Ruptura (m)
0,3625	0,4375

Gráfico 10 – Comparação da resistência ao impacto de corpo duro da amostra no ensaio e a resistência ao impacto considerada na norma ABNT- NBR 15844/2010.



Fonte: Autor.

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro determina a altura mínima ao qual uma placa de material pétreo apresenta uma ruptura ou um desenvolvimento de fissuras, servindo assim para simular a queda de objetos pesados sobre o material pétreo aplicado na construção civil.

Sendo assim quanto menor é o valor encontrado no ensaio para estes dois parâmetros citados (fissuras e ruptura), menor será a resistência do material quando passar por este tipo de solicitação, fazendo com que seja dada uma atenção maior para estes tipos de materiais quando estes por ventura passarem por situações de impacto e vibração (transporte de placas).

Com relação à rocha ornamental em estudo observou-se que a mesma apresentou um satisfatório valor de resistência ao impacto, ficando assim acima dos parâmetros estipulados na norma ABNT- NBR 15844/2010, o que credencia este material a ser utilizado nas mais diversas aplicações tais como pisos, soleiras, degraus, mesas, balcões e pias. Entretanto tem-se que ser dada uma atenção especial à presença de minerais micáceos (muscovitas e biotitas), pois a grande presença destes tipos de minerais constitui um fator negativo no que diz respeito à resistência do material, pois estes apresentam um plano de clivagem bem definidos o que acarreta uma baixa resistência destes minerais ao longo destes planos, fazendo com que a rocha venha apresentar fraturas ao passar por baixos níveis de energias de impacto.

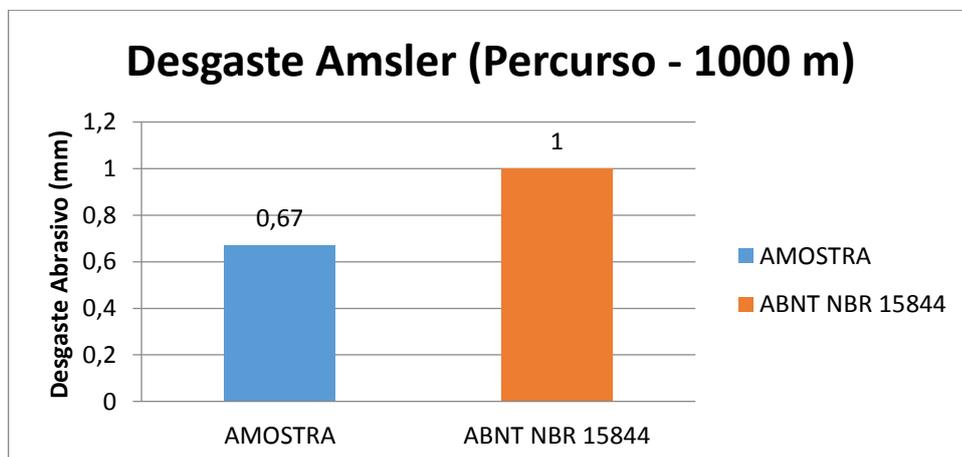
4.6 DESGASTE ABRASIVO AMSLER

O ensaio de desgaste abrasivo Amsler foi realizado segundo a norma ABNT-NBR 12042/1992. O resultado encontrado está exposto na tabela 17 abaixo. O parâmetro normativo utilizado para avaliar o resultado obtido no ensaio foi o parâmetro encontrado na norma ABNT- NBR 15844/2010.

Tabela 17 – Valor médio do Desgaste abrasivo Amsler na rocha ornamental em estudo.

Desgaste abrasivo após um percurso de (500 m)	Desgaste abrasivo após um percurso de (1000 m)
0,536 mm	0,670 mm

Gráfico 11 – Comparação do desgaste abrasivo Amsler da amostra no ensaio e o desgaste abrasivo Amsler considerado na norma ABNT- NBR 15844/2010.



Fonte: Autor.

De acordo com a norma ABNT- NBR 15844/2010, o limite máximo de desgaste para um percurso de 1000 m é $\leq 1,0$ mm, para que a rocha seja considerada uma rocha de boa qualidade, podendo assim a mesma ser utilizada em áreas de tráfego intenso como revestimento para pisos. Por fim como o valor médio de desgaste encontrado na rocha ornamental em estudo se encontra bem abaixo do valor mínimo recomendado na norma citada, pode-se concluir que a rocha ornamental em estudo atende todos os padrões necessários para ser aplicado em áreas de tráfego intenso, podendo este valor de desgaste encontrado (0,670 mm a cada 1000 m), estar perfeitamente relacionado à composição mineralógica da rocha que apresenta em sua maioria minerais com dureza média na escala de Mohs.

5 CONCLUSÕES

A análise petrográfica da rocha ornamental em estudo mostrou que a mesma se trata de uma rocha Ígnea intrusiva compacta, com textura fanerítica holocristalina, de coloração branca acinzentado, que apresenta planos de fraqueza orientados ao longo dos cristais de quartzo e uma constituição mineralógica com os minerais, plagioclásios (30 %), feldspatos potássicos (25 %), muscovitas (20 %), quartzos (15 %) e biotitas (10 %).

Os índices físicos estudados mostraram que alguns parâmetros se enquadraram dentro dos requisitos exigidos nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615, e outros apresentaram valores bem próximos destes limites exigidos nestas normas. Para o caso da densidade esta se apresentou dentro dos parâmetros exigidos nas normas citadas credenciando assim a rocha a ser utilizada como revestimentos exteriores de granitos estruturais.

Já a porosidade e a absorção apresentaram parâmetros maiores dos que os limites mínimos definidos nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615, porém bem próximos, necessitando que a rocha ornamental em estudo passe por um tratamento prévio de impermeabilização antes que venha a ser utilizada em ambientes úmidos ou em áreas externas.

Com relação à resistência a compressão apresentada pela rocha ornamental em estudo, foram observados valores bem abaixo dos limites mínimos de resistências considerados nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615. Isto implica que não é indicado utilizar a rocha em aplicações que exijam solicitações acima do valor de resistência encontrado no ensaio.

Com relação a resistências à flexão (módulo de ruptura) da rocha ornamental em estudo foram observados valores bem abaixo dos limites mínimos estabelecidos nas normas ABNT- NBR 15844/2010 e ASTM C-615.

Isto implica que para esta rocha ser utilizado nas mais diversas aplicações tais como fechadas, bancadas e mesas, degraus, necessita-se que seja dado um tratamento especial a base de aplicação de telas para que a resistência mecânica desta rocha seja aumentada.

Com relação à resistência ao impacto da rocha ornamental em estudo observou-se que a mesma apresentou um valor satisfatório, ficando assim acima dos parâmetros estipulados na norma ABNT- NBR 15844/2010, o que credencia esta rocha para ser utilizada nas mais diversas aplicações tais como pisos, soleiras, degraus, mesas, balcões, pias e etc.

Quanto ao desgaste abrasivo Amsler apresentado pela rocha ornamental em estudo este se encontrou bem abaixo do valor mínimo estipulado pela norma ABNT- NBR 15844/2010, credenciando assim a rocha para ser utilizada em áreas de tráfego intenso como revestimento para pisos.

Por fim pode-se concluir ao final deste trabalho que a rocha em estudo por apresentar uma excelente qualidade estética e parâmetros tecnológicos em sua maioria aceitáveis em termos normativos pode ser utilizada no mercado de rochas ornamentais, visando os mais variados fins.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15012. **Rochas Para Revestimento de Edificações**. 2003.
- ABNT NBR 15844. **Rochas para Revestimento – Requisitos para granitos**. 2010.
- ABNT NBR 12042. **Materiais inorgânicos - Determinação do Desgaste por Abrasão**. 1992.
- ABNT NBR 15845. **Rochas para Revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO A (normativo) Análise Petrográfica**. 2010.
- _____. **Rochas para Revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO B (normativo) Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água**. 2010.
- _____. **Rochas para Revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO E (normativo) Resistência a Compressão Uniaxial**. 2010.
- _____. **Rochas para Revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO F (normativo) Resistência à Flexão (módulo de ruptura)**. 2010.
- _____. **Rochas para Revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO H (normativo) Resistência ao impacto de corpo duro**. 2010.
- ABIROCHAS, Informe 13/2014. **Panorama Mundial do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2013**.
- ABIROCHAS, Informe 01/2017. **Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2016**.
- AB’SABER, A. N. **Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. Orientação**, São Paulo, n. 3, p. 45-48, 1969.
- ALMEIDA, F. F. M. **Províncias estruturais brasileiras**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 6, 1977. Campina Grande, PE. *Anais...* Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.
- ALMEIDA, F. F. M. de (1967). **Origem e Evolução da Plataforma Brasileira**. Bol. 241 do DGM/DNPM, Rio de Janeiro (1): 17 – 45 p.
- ARAÚJO, M. M. A. 2015. **Caracterização Tecnológica do Granito Dália para Fins Ornamentais**. Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, Dissertação de Mestrado, 127p.
- ARTUR, A. C., MEYER, A. P. & WERNICK, E. 2001. **Características Tecnológicas de Granitos Ornamentais: A influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização**. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador 13 - 19p.
- ASTM C-615. **Standard Specification For Granite Dimension Stone**.1992.

CARVALHO, Cássio Santos de. **Estudo do comportamento tecnológico e de alterabilidade das rochas ornamentais silicáticas verde Amazonas, preto Cajugram e bege Ipanema**. Rio Claro:[s.n.], 2010. 148 f.

CHIODI FILHO, Cid; Rodrigues, Eleno de Paula. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos**. Projeto Bula/Cid Chiodi Filho; Eleno de Paula Rodrigues. - São Paulo: ABIROCHAS, 2009 118 p.: il.

DANTAS, M.E. & Ferreira, R.V. 2010. **Relevo. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte**. CPRM (no prelo).

EMBRAPA SOLOS. **Levantamento Exploratório – Reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte::Escala:1:500.000::(MA/EMBRAPA/SUDENE, 1971)**.

FONTES, M. P. F. (1984). **Introdução ao estudo de minerais e rochas**. Viçosa, Imprensa Universitária da UFV. 1984, 23p.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais e de Revestimento: Estudo por meio de Ensaios e Análises e das Patologias associadas ao uso**. São Paulo: IPT. 2000.

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

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte; SENPLA – Secretaria de Planejamento e das Finanças; Assessoria de Comunicação do Governo do Rio Grande do Norte. **Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte**. 42º Edição, 2015.

JARDIM DE SÁ, E. F – 1984 – **Geologia da região Seridó: Reavaliação de dados**. Atlas XI Simp. Geol. NE. Natal. 278-296.

MATTOS, I. C.; ARTUR, A. C.; NOGUEIRA NETO, J. A. **Caracterização Físico-Mecânica do Granito Ornamental Serra do Barriga, Sobral/CE: Resultados Preliminares**. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2003, Fortaleza. **Anais**. Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003, p. 86-93.

MATTOS, Irani Clezar. **Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físicomecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do stock granítico Serra do Barriga**. Sobral (CE)/ Irani Clezar Mattos. – Rio Claro:[s.n.], 2005. 260 f.

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

MEDEIROS, W.D.A. 2003. **Sítios geológicos e geomorfológicos dos municípios de Acari, Carnaúba dos Dantas e Currais Novos, região Seridó do Rio Grande do Norte**. Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Dissertação de Mestrado, 141p.

MONTANI, Carlo. XXV Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo 2014; **Congiuntura internazionale, Produzione, Scambi, Consumi, Tecnologie, Beni strumentali, Schede dei Paesi leader**. Carrara: Aldus, 2014. 233 p.

MORAES NETO, J. M.; ALKMIN, F. F. **A deformação das coberturas terciárias do planalto da Borborema (PB-RN) e seu significado tectônico**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 95-106, 2001.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte**. Organização Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff [e] Fernanda Soares de Miranda Torres. - Recife: CPRM, 2010. 227 p.

QUEIROZ, C.P.J.; CARANASSIOS, A. **Petrografia Microscópica e Caracterização de Rochas Ornamentais**. I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM, 2007.

RIO GRANDE DO NORTE. Governo do Estado. **Atlas para a promoção do investimento sustentável no Rio Grande do Norte/Rio Grande do Norte**. Governo do Estado. Natal (RN): Opção Gráfica Editora, 2009. 186 p.

SILVA, J.M.C. et al (org). **A Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2003. 382 p.

SOUSA, A. P. F. et. al. **Uma abordagem técnica e ambiental sobre os depósitos de quartzitos no estado da Paraíba**. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. Salvador - BA. 2001.

VIDAL, Francisco Wilson Hollanda. **Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas**. Francisco Wilson Hollanda Vidal, Maria de Fátima Bessa, Maria Angélica Batista Lima. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1999. 30p. - (Série Tecnologia Mineral, 74).

VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N .F.; HÉLIO, C. A. A. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa Lavra e Beneficiamento**. Eds. Francisco W. H. Vidal, Hélio C. A. Azevedo, Núria F. Castro – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 700p.

VIDAL, F. W. H. **Avaliação dos Granitos Ornamentais do Nordeste Através de Suas Características Tecnológicas**. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife - PE, 2002.

APÊNDICE A - ÍNDICES FÍSICOS

Amostras	Peso Seco (g)	Peso Submerso (g)	Peso Saturado (g)
1	202,77	126,27	203,9
2	212,00	131,82	213,33
3	213,06	132,59	214,83
4	216,58	134,47	218,24
5	213,60	132,64	215,63
6	214,83	134,01	216,93
7	208,60	129,79	209,87
8	223,76	139,33	225,32
9	231,43	144,2	233,01
10	221,76	138,12	223,34

APÊNDICE B - RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL

Amostra	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Carga (ton)	Tensão (MPa)
1	72,2	72,36	23	43,187
2	73,79	73,41	31,5	57,046
3	73,06	72,96	17,5	32,206
4	72,27	72,68	25	46,691
5	72,63	71,17	36	68,321
6	72,53	72,5	20,5	38,244

APÊNDICE C - RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÓDULO DE RUPTURA)

Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Distância (mm)	Carga (Kg)	Tensão (MPa)
1	98,17	50	180	400	4,316
2	96,45	50	180	400	4,393
3	96,93	50	180	420	4,590
4	100,48	50	180	180	1,897
5	99,79	50	180	300	3,185

APÊNDICE D - RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO

Amostra	Fissura (cm)	Ruptura (cm)
1	30	35
2	30	45
3	40	45
4	45	50

APÊNDICE E - RESISTÊNCIA AO DESGASTE AMSLER

Amostra 1			
Pontos	Espessura (mm) à 0 m	Espessura (mm) à 500 m	Espessura (mm) à 1000 m
1	28,47	27,24	27,1
2	29,12	28,56	28,24
3	27,25	27,19	27,1
4	27,14	27,14	27,05

Amostra 2			
Pontos	Espessura (mm) à 0 m	Espessura (mm) à 500 m	Espessura (mm) à 1000 m
1	31,51	29,83	29,77
2	28,87	28,67	28,5
3	27,8	27,63	27,52
4	28,5	28,11	28,02