

## RESULTADO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GRANULITOS DA REGIÃO DE CHOROZINHO (CE).

Costa<sup>1</sup>, A.P.L.; Nogueira Neto<sup>2</sup>, J.A. Cajaty<sup>2</sup>, A.A.; Galembeck<sup>3</sup>, T.M.B.; Barros<sup>4</sup>, F.M.; Lima<sup>4</sup>, M.N.

<sup>1</sup>Mestre pelo Curso de Pós-Graduação em Geologia do Pré-Cambriano DEGEO/UFC.  
Av. Mist Hull – Campus do Pici – Bloco 912 – 60.455-760 - Fortaleza – CE  
Fone (85) 288-9873, e-mail: annacostac@bol.com.br.

<sup>2</sup>Depto de Geologia - DEGEO - Universidade Federal do Ceará – UFC.  
Av. Mist Hull – Campus do Pici – Bloco 912 – 60.455-760 Fortaleza – CE  
Fone (85) 288-9873, e-mail: nogueira@ufc.br.

<sup>3</sup>Depto de Petrologia e Metalogenia - DPM/IGCE/UNESP.  
Av. 24A, 1515, Bela Vista, 13.506-900 – Rio Claro – SP, Fone (19) 3526 2824.

<sup>4</sup>Bolsista de Iniciação Científica - Universidade Federal do Ceará – UFC.  
Av. Mist Hull – Campus do Pici – Bloco 912 – 60.455-760 Fortaleza – CE

### RESUMO

A região de Chorozinho, situada na porção nordeste do Estado do Ceará, é constituída por uma seqüência de rochas metamórficas de alto grau, com ampla diversidade de rochas granulíticas, as quais demonstram potencial para exploração como rochas ornamentais. Entre os tipos ortoderivados predominam gnaisses enderbíticos, enderbitos e charno-enderbitos, enquanto os paraderivados estão restritos a silimanita – granada gnaisses (khondalitos, kinzigitos). Os enderbitos exibem textura granoblástica inequigranular e registram associação com clinopiroxênio – ortopiroxênio – plagioclásio – hornblenda – biotita - granada – quartzo. A associação mineral metamórfica do cinturão granulítico, nas paraderivadas é formada por plagioclásio – feldspato potássico – quartzo – biotita - granada ± silimanita – ilmenita/rutilo. Dentre os vários litotipos analisados foram selecionadas duas amostras, uma de granada gnaisses e outra de enderbitos, para estudos direcionados ao aproveitamento como rochas ornamentais. Foram identificados dois tipos de alterações no granada-gnaiss, uma resultante de reações metamórficas, e outra pela presença de óxido de ferro como mineral primário. No tocante à caracterização tecnológica, os ensaios apresentaram os seguintes resultados: Índices Físicos (massa específica aparente, 2727 e 2614 Kg/m<sup>3</sup>; porosidade aparente, 0,14 e 0,62%; absorção de água, 0,05 e 0,24%), Velocidade de Ondas Ultra-sônica, 6348,9 e 4909,7m/s, Desgaste por Atrito, 0,91 e 0,97mm (desgaste Amsler); Resistência à Compressão Uniaxial Simples, 127,3 e 151,8 MPa; Resistência à Flexão, 20,3 e 15,6 MPa e Resistência ao Impacto, 0,57 e 0,69m, respectivamente para enderbitos e granada-gnaisses. Tais parâmetros são compatíveis com os limites aceitáveis em nível internacional por normas diversas. Assim, os litotipos estudados exibem aspectos qualitativos, quantitativos e estéticos favoráveis, com considerável potencial para utilização como rochas ornamentais.

### INTRODUÇÃO

Diversas ocorrências de rochas granulíticas da região de Chorozinho, nordeste do Ceará, têm

demonstrado grande potencial exploratório como rochas ornamentais e de revestimento.

Abordamos no texto os resultados obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica destas rochas e suas aplicações no setor de rochas ornamentais, nos quais apresentaram aspectos qualitativos e estéticos favoráveis para a utilização como material de revestimento, pisos, tampos e bases, bancadas de mesa, etc.

### LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA

A área alvo da pesquisa esta enquadrada nas folhas Baturité (SB.24-X-A-I) e Beberibe (SB.24-X-A-II), totalizando uma superfície de aproximadamente 58 Km<sup>2</sup> (fig. 1), sendo delimitada pelos vértices exibidos no quadro 1.

O acesso à área é feito pela BR 116, partindo-se de Fortaleza, passando por Itaitinga, Horizonte e Pacajus até o município de Chorozinho, distando aproximadamente 65 Km.

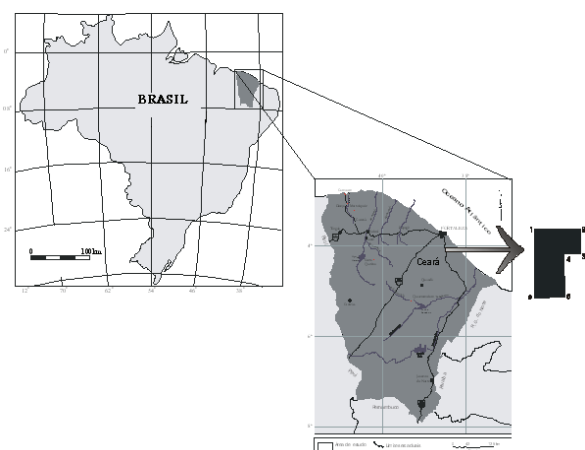


Figura 1 – Mapa de localização e acesso da área de estudos.

**Quadro 1 - Coordenadas UTM da área estudada.**

Nº Vértice	Coordenadas	
01	9529000	0552000
02	9529000	0560000
03	9522000	0560000
04	9522000	0556000
05	9518000	0556000
06	9518000	0552000

**ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA**

Para o setor de rochas ornamentais as características estéticas principais para a classificação comercial de uma rocha são a cor e a textura. Quando em uso, essas rochas são submetidas a varias situações tais como: atrito/desgaste, impacto, ação das intempéries, ataque por produtos de limpeza, líquidos agressivos, etc. Assim, por esses motivos, as rochas devem ser submetidas aos processos de caracterização tecnológica, que nada mais é do que o conhecimento das características físico-mecânicas e petrográficas, que fornecem parâmetros indicativos do melhor emprego e aproveitamento ornamental.

Os resultados dos ensaios nos litotipos foram comparados aos parâmetros sugeridos por Frazão & Farjallat, 1995 e as normas americanas ASTM – C 615 (American Society for Testing and Materials), que tem como objetivo melhorar e controlar a qualidade dos materiais utilizados como rochas ornamentais, orientando desta forma tanto quem produz quanto o mercado consumidor.

Foram realizados em amostras de enderbite e silimanita granada-gnaisses os seguintes estudos: Petrografia; Índices Físicos (massa específica aparente, porosidade aparente, absorção de água); Velocidade de Ondas Ultra-sônica; Desgaste por Atrito (desgaste Amsler); Resistência à Compressão Uniaxial Simples; Resistência à Flexão; Resistência ao Impacto e Alterabilidade.

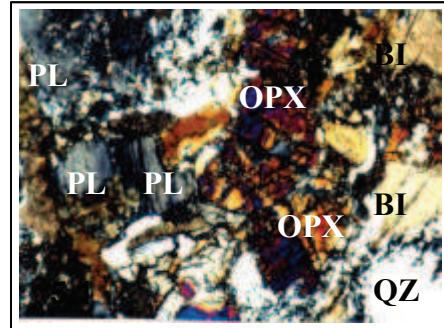
**PETROGRAFIA**

**Granulitos Ortoderivados – Enderbitos**

Os enderbites correspondem a granulitos de composição intermediária comumente guardando relações de intrusões pretéritas com os silimanita granada-gnaisses. Macroscopicamente os enderbites apresentam estrutura isotrópica à levemente bandada, têm granulação média a grossa, de cor verde escura a caramelo. Ocorrem sob a forma de maciços, com tamanhos que variam de 50 a 100 metros de extensão e alturas entre 5 e 15 metros, em alguns locais ocorrem arrasados, sendo sua forma predominantemente elipsoidal ou em charuto.

Ao microscópio exibem textura granoblástica inequigranular (fig. 2), são encontrados freqüentemente simplectitos de plagioclásio -

piroxênios e coroas de reação em torno de granadas envolvidas por plagioclásios e piroxênios. Apresentam a seguinte associação mineral: plagioclásio (40-50%) – quartzo (10-15%) – biotita (10-15%) – piroxênio (8-15%) – hornblenda (2-4%). Os minerais acessórios presentes são: zircão, titanita, apatita e opacos.



**Figura 2: Fotomicrografia do enderbite exibindo textura granoblástica inequigranular. Ao centro ortopiroxênio circundado por plagioclásio e biotita. (NC; A=5X).**

O plagioclásio é o mineral mais abundante na rocha, em alguns cristais observam-se inclusões vermiculares de quartzo junto às bordas, em outros grãos o quartzo é encontrado sob a forma de gotas mais ao centro. Os plagioclásios estão dispostos de forma anedral a sub-anedral, exibindo geminação segundo lei Albita-Carlsbad e apresentam-se também em subgrãos.

O quartzo está disperso por toda a seção sob forma intersticial, em discretas bandas, e na forma de mosaicos granoblásticos. São pouco fraturados e registram extinção ondulante marcante.

Os piroxênios, geralmente possuem bordas de alteração, originando anfibólios (hornblendas). Os ortopiroxênios (opx) (hiperstênio) apresentam-se distribuídos em grãos bem desenvolvidos e bastante fraturados, que por vezes parecem derivar de reações a partir de biotitas, dado que essas últimas podem ser visualizadas ao centro dos ortopiroxênios, e em relações de contato nas bordas das biotitas como que desequilibrando as mesmas. O clinopiroxênio (cpx) apresenta cores de interferência e birrefringência algo mais acentuada que os opx e ocorrem como cristais tabulares de diopsídio.

As biotitas são anedrais, de hábito lamelar, com inclusões de apatita e zircão. Em sua maioria mostram cor e pleocroísmo característicos de cristais ricos em titânio (vermelho – marrom) e possuem pouca orientação. Como mencionado anteriormente, a disposição de suas relações de contato com os opx, sugere uma fase de metamorfismo progressivo com surgimento do opx em reações envolvendo biotitas.

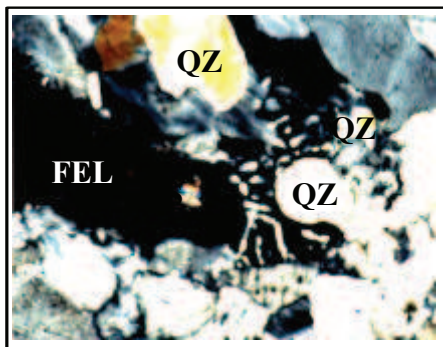
Os anfibólios (hornblenda), ocorrem em contato com as biotitas e plagioclásio, apresentando cor variando de verde a amarronzada e pleocroísmo em tons de marrom. Por algumas vezes dispostos entre as fraturas e/ou clivagens dos orto e clinopiroxênios, o que sugere uma geração a partir destes.

### Granulitos Paraderivados – Silimanita Granada-Gnaisse

Os silimanita granada gnaisses possuem textura que variam de granoblásticas a granolepidoblásticas, nas quais são desenvolvidas bandas quartzo-feldspáticas envolvendo granadas pré-cinemáticas, as quais também são contornadas pela foliação formada por biotitas ( $\pm$  silimanita). As sessões estudadas da porção centro-norte da área (Fazenda Chaves), apresentam foliação pouco marcada, com variações entre bandas de cristalização quartzo-feldspáticas e mosaicos granoblásticos dos mesmos minerais. Apresenta granulação variando de média a grossa, de cor creme a cinza. São reconhecidos quartzo, feldspato, biotita e granada. Em afloramento apresentam-se geralmente com indícios de fusão parcial com formação de mobilizados quartzo-feldspáticos.

Ao microscópio petrográfico, são identificados os seguintes minerais: plagioclásio (20%-25%), K-feldspato (35%-40%), quartzo (15%-20%), biotita (5%-10%) e granada (3-5%) e minerais acessórios como silimanita, zircão, ilmenita, rutilo, e apatita.

Os plagioclásios em geral são anedrais, mostram-se com geminação do tipo albita-periclina, contendo por vezes inclusões aciculares de silimanita. Estão intensamente sericitizados (fig. 3) contem inclusões de biotita e exsolução de feldspato potássico. Ocasionalmente, com os cristais de quartzo, formam mirmequitas e, ainda, predominam em quantidade sobre os feldspatos alcalinos.



**Figura 3: Fotomicrografia do Silimanita Granada gnaisse apresentando bandas quartzo-feldspáticas. Ao centro mirmequítica e alterações por sericitização (S) nos feldspatos (NC; A=5x).**

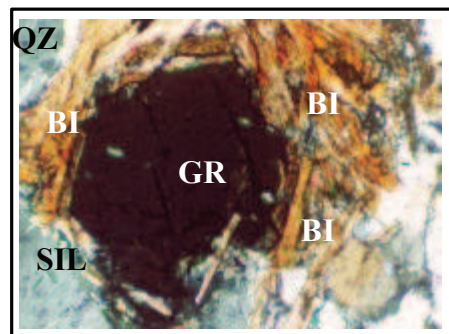
Os feldspatos potássicos estão presentes como grãos anedrais, geralmente fraturados, exibindo indícios de recristalização com recuperação em sub-cristais. Aparecem predominantemente como mesoperfíticos.

O quartzo exibe extinção ondulante, geralmente em associação aos feldspatos, formando bandas de recristalização, nestas últimas apresentam contatos retos entre grãos. Por outro lado, contatos côncavo-convexos também são reconhecidos com frequência nestas bandas, e em mosaicos

granoblásticos com grãos poligonais de pequenas dimensões. Possuem inclusões de apatita e zircão.

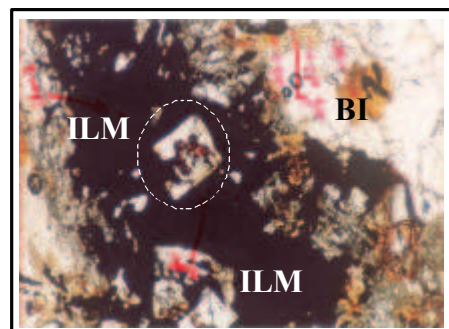
As biotitas exibem tamanhos variados, ocorrem como lamelas, e em alguns casos apresentam planos de clivagem preenchidas por opacos. Marcam a foliação da rocha quando presente, ocasionalmente posiciona-se em contato com pequenas fibras de silimanita.

As granadas ocorrem sob a forma de grãos pré-cinemáticos, bastante fraturados e envoltos pela foliação (fig. 4). Estão também presentes como pequenos grãos participando de reações metamórficas, com surgimento de fases minerais às suas expensas. Frequentemente suas fraturas são preenchidas por biotita, quartzo e inclusões de fibrolitas e plagioclásio.



**Figura 4: Fotomicrografia de Granada pré-cinemática envolvida por biotitas com quartzo+silimanita (NC; A=10X).**

As silimanitas apresentam-se em pequenas agulhas (fibrolitas), ao longo das bandas quartzo-feldspáticas, ou como inclusões nos feldspatos, em algumas granadas e dispostas também na foliação. Algumas lâminas exibem silimanitas em seções basais contidas como inclusões em ilmenitas (fig. 5).



**Figura 5: Fotomicrografia com destaque para o rutilo dentro da seção basal da silimanita, na parte externa ilmenita (LN; A=5X).**

O par rutilo/ilmenita freqüentemente ocorrem envolvidos por finas faixas de plagioclásio, que por sua vez estão circundadas por grãos de granada.

Na tabela 1 estão representados, de forma resumida, os dados referentes à quantificação petrográfica.

**Tabela1: Resultado da análise petrográfica das amostras PA-04 e PA-05 (enderbito e silimanita granada-gnaisse).**

PARÂMETROS	AMOSTRA	LITOTIPO Enderbito	LITOTIPO Sil Granada-gnaisse
Cor no estado seco		Grafite	Creme claro
Cor no estado úmido		Verde escuro	Amarelo claro
Estruturas		bandamento pouco marcado	Não apresenta estruturas
Textura		granoblástica inequigranular	granoblástica inequigranular
Natureza da rocha		metamórfica	metamórfica
Classificação da rocha		enderbito	granada-gnaisse
Minerais acessórios		zircão, apatita e opacos	rutilo, ilmenita, zircão e apatita
% Feldspato Potássico (FK)		Ausente	40
Granulação média FK (mm)		-	1,4
Contato côncavo-convexo em FK (%)		-	31,3
Contato serrilhado em FK (%)		-	68,7
Grau de alteração em FK (%)		-	20-50
Numero de microfissuras em FK		-	4
% Plagioclásio (PL)		48	22,4
Granulação média PL (mm)		1,8	1,4
Contato côncavo-convexo em PL (%)		20,8	55,5
Contato serrilhado em PL (%)		79,2	44,5
Grau de alteração em PL (%)		22-50	<20
Numero de microfissuras em PL		6	3
% Quartzo (Qz)		19,4	23,1
Granulação média Qz (mm)		1,1	1,4
Contato côncavo-convexo em Qz (%)		87,5	52,6
Contato serrilhado em Qz (%)		12,5	47,4
Numero de microfissuras em Qz		2	2
% Biotita (Bi)		18	5,9
Granulação média Bi (mm)		1,1	0,6
Contato plano em Bi (%)		82	90
Contato serrilhado em Bi (%)		18	10
Grau de alteração em Bi (%)		20-50	<20
Numero de microfissuras em Bi		3	2
% Granada (Gr)		Ausente	8,6
Granulação média Gr (mm)		-	1
% Piroxênios (Px)		14,6	Ausente
Granulação média Px (mm)		1	-
Contato plano em Px (%)		91,6	-
Contato serrilhado em Px (%)		8,4	-
Grau de alteração em Px (%)		20-50	-
Numero de microfissuras em Px		8	-

**ÍNDICES FÍSICOS (NBR 12766/92)**

Os índices físicos são ferramentas importantes por proporcionarem uma noção das microdescontinuidades presentes na rocha, os quais podem ser interpretados de acordo com o que segue:

- i. Alta densidade = alta resistência mecânica;
- ii. Alta porosidade = baixa resistência da rocha;
- iii. Alta absorção = baixa durabilidade e redução da resistência mecânica com o tempo;
- iv. Aumento da saturação = menor resistência mecânica.

As amostras apresentaram resultados positivos em todos os parâmetros, indicando que o material apresenta boa resistência mecânica e durabilidade (Quadro 2).

**Quadro 2 – Resultados dos ensaios de índices físicos das amostras enderbito e granada-gnaisse.**

Parâmetros	Massa Esp. Aparente Seca (Kg/m <sup>3</sup> )	Massa Esp. Aparente Saturada (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade Aparente (%)	Absorção D'água (%)
Amostra				
Enderbito	2,727	2,730	0,14	0,05
Sil Granada-Gnaisse	2,614	2,622	0,62	0,24

Os valores de massa específica aparente no enderbito superam os valores obtidos para o granada-gnaisse em 113 Kg/m<sup>3</sup>, representando o reflexo da mineralogia máfica que o enderbito possui. Ambos superam os valores estabelecidos para esta análise, isso significa que podem ser usados tanto como revestimento externo como materiais estruturais.

Como anteriormente observado na petrografia, os silimanita granada-gnaisses possuem minerais alterados e microestruturas que facilitam a percolação de líquidos, com isso propiciam um "acréscimo" da porosidade. Os enderbito por sua vez, apresentam minerais com susceptibilidade às alterações, e possuem uma densidade maior, que é resultante do arranjo e composição mineral, assim é possível um valor de porosidade bem menor que a do silimanita granada-gnaisse. Assim, podem ser usados como bancadas de pias, tampa de mesas, revestimento etc.

Quanto ao índice de absorção d'água, é claramente visível a correlação entre os parâmetros anteriores, densidade e porosidade, em que os índices encontrados para o enderbito são quase três vezes menores que os do silimanita granada-gnaisse, principalmente no tocante a porosidade. Quanto a sua utilização não há restrições, pois o material apresenta boa durabilidade e resistência mecânica ao longo do tempo.

**VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA-SÔNICAS (ASTM D2845/90)**

Para a realização deste ensaio foram utilizados 7 (sete) corpos de prova, com dimensões

aproximadamente semelhantes, destes, 3 (três) eram de enderbito e 4 (quatro) de silimanita granada-gnaisse (Quadro 3).

**Quadro 3: Valores obtidos nos dimensionamentos dos corpos de prova e leituras de velocidades de ondas.**

Amostras	Corpo de prova	Dimensões de X (cm)	Tempo (µs) na direção X	Dimensões de Y (cm)	Tempo (µs) na direção Y
Enderbito	01	21,03	34,50	21,03	31,80
	02	21,00	33,80	21,03	31,50
	03	21,02	33,90	20,09	31,90
Silimanita Granada-gnaisse	01	21,00	43,10	21,02	43,00
	02	20,09	40,90	20,08	41,20
	03	20,00	41,40	20,08	41,40
	04	21,01	43,00	22,00	42,60

Baudran (*in*: Aveline *et al.*, 1964) utiliza os valores da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas para avaliar o grau de anisotropia da rocha conforme a fórmula abaixo:

$$IA_{(V_{seca})} = [ 1 - (V_{seco_{(min)}}/V_{seco_{(max)}}) ] \times 100$$

IA = índice de anisotropia (%);

V<sub>seco<sub>(min)</sub></sub> = velocidade mínima das ondas segundo uma direção (m/s);

V<sub>seco<sub>(max)</sub></sub> = velocidade máxima das ondas segundo uma direção perpendicular (m/s).

Os valores usados para o cálculo do índice de anisotropia foram: para o enderbito 6.092,75 (valor mínimo na direção X) e 6.613,20 m/s (valor máximo na direção Y) e para o silimanita granada-gnaisse 4.830,91 m/s (valor mínimo na direção X) e 5.164,32 m/s (valor máximo na direção Y).

Quando um material é isotrópico o valor de anisotropia é zero ou próximo deste. As amostras analisadas apresentaram índices de anisotropia relativamente baixos, já que os litotipos não possuem relativas mudanças em suas características minerais e estruturais.

**Quadro 4: Resultados do ensaio de velocidade de ondas ultra-sônicas e índices de anisotropia das amostras (enderbito e silimanita granada-gnaisse).**

Amostras	Valores	V <sub>(seca)</sub> (m/s) Direção X	V <sub>(seca)</sub> (m/s) Direção Y	V <sub>(Média seca)</sub> (m/s) X/Y	IA (%)
Enderbito	mínimo	6.092,75	6.297,80	6.348,92	7,87
	médio	<b>6.168,78</b>	<b>6.529,06</b>		
	máximo	6.213,01	6.613,20		
Silimanita Granada-gnaisse	mínimo	4.830,91	4.850,24	4.909,75	6,45
	médio	<b>4.875,33</b>	<b>4.944,17</b>		
	máximo	4.911,98	5.164,32		

Os resultados na determinação de velocidade de ondas ultra-sônicas, demonstraram ser compatíveis com a caracterização petrográfica. Assim, o enderbito possui velocidade superior ao silimanita granada-gnaisse, visto que a determinação de velocidade é influenciada de forma direta pela densidade, estado de alteração, microdescontinuidades, arranjo granulométrico e porosidade do material. Desta forma, ocorre um favorecimento aos enderbitos, embora todos os tipos

rochosos analisados estejam dentro de parâmetros aceitáveis.

#### DESGASTE AMSLER - DESGASTE POR ABRASÃO (NBR 12042/92)

Os resultados do desgaste por atrito (Quadro 5) permitem comparar os valores de desgaste para diversos materiais, e contribui significativamente para a especificação de materiais que serão utilizados no revestimento de áreas de alto tráfego.

**Quadro 5 – Resultados obtidos nos ensaios de Desgaste por atrito após 1000m das amostras enderbito e silimanita granada-gnaisse.**

Amostra	Parâmetros	Desgaste por Atrito após 1000m (mm)
Enderbito		0,91
Sil Granada-Gnaisse		0,97

Pertinente ao resultado de resistência ao desgaste Amsler, os valores são bastante próximos aos limites dos estabelecidos como padrão, o que sugere uma restrição quanto ao uso em pisos em áreas de tráfego intenso.

#### RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL SIMPLES (NBR 12767/92)

O resultado do ensaio de compressão uniaxial permite reconhecer uma propriedade da rocha bastante importante para especificação de materiais que desenvolverão função estrutural em uma obra (colunas de sustentação, pedestais de obras, etc).

O quadro 6 traz os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

**Quadro 6 – Resultados do teste de resistência à compressão uniaxial das amostras enderbito e silimanita granada-gnaisse.**

Amostra	Parâmetros	Resistência a Compressão Uniaxial (Mpa)
Enderbito		127,3
Sil Granada-Gnaisse		151,8

Os valores obtidos favorecem principalmente o silimanita granada-gnaisse que superam os dois parâmetros (ASTM C615 e Frazão & Farjallat, 1995). Já o enderbito só pode ser enquadrado nos valores sugeridos por Frazão & Farjallat (1995). Possivelmente o valor relativamente baixo do enderbito pode ter sido resultante tanto da confecção dos corpos de prova como do seu posicionamento na aplicação da força, visto que os enderbitos apresentam uma foliação pouco marcada. Havendo, portanto restrições para os enderbitos, quanto a sua utilização como materiais estruturais.

#### RESISTÊNCIA À FLEXÃO (NBR 12763/92)

Para a amostra de enderbito a resistência à flexão é aproximadamente 23% maior que a da amostra de silimanita granada-gnaisse (Quadro 7).

**Quadro 7 – Resultados obtidos nos testes de resistência a Flexão uniaxial das amostras enderbito e silimanita granada-gnaisse.**

Amostra	Parâmetros	Resistência a Flexão (Mpa)
Enderbito		20,3
Sil Granada-Gnaisse		15,6

No ensaio de resistência à flexão provavelmente a foliação pouco marcada dos enderbitos favoreceu a um resultado maior em relação ao que foi obtido pelo silimanita granada-gnaisse. Mas ambos possuem características positivas sob o ponto de vista de seu dimensionamento como placas para revestimentos externos.

#### RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO (NBR 12764/92)

Os resultados (Quadro 8) subsidiam o dimensionamento de placas a serem utilizadas tanto no revestimento de pisos, quanto em paredes baixas de revestimento vertical.

**Quadro 8 – Resultados obtidos nos ensaios de determinação da resistência ao impacto de corpo duro das amostras enderbito e silimanita granada-gnaisse.**

Amostra	Parâmetros	Resistência ao Impacto (m)
Enderbito		0,57
Sil Granada-Gnaisse		0,69

Os valores obtidos no ensaio de resistência ao impacto de corpo duro são satisfatórios e indicam que essas rochas possuem boa resistência ao impacto direto e que podem ser dimensionadas nas espessuras normais de uso sem grandes riscos de rompimento.

#### TESTES DE ALTERABILIDADE - Ataque Químico (NBR 13818/97 (ANEXO H))

Na realização deste ensaio foram usados os seguintes reagentes: cloreto de amônia (100g/l); solução de hipoclorito de sódio (20mg/l); ácidos (ácido clorídrico (3%) e ácido cítrico (100g/l); álcalis (solução de hidróxido de potássio 30g/l)). O tempo que cada substância ficou em contato com a placa varia de acordo com a substância e seu poder de ataque, conforme o quadro 9.

**Quadro 9 - Tempo previsto de ataque químico.**

Agentes Agressivos	Tempo de Ataque (horas)
Cloreto de Amônia	24
Hipoclorito de Sódio	24
Ácido Cítrico	24
Ácido Clorídrico	96
Hidróxido de Potássio	96

As amostras de enderbito, além de mostrarem perda de brilho, exibiram outras modificações, observáveis tanto a olho nu quando ao microscópio, tais como:

1. Ácido Cítrico: Ocorreram modificações na cor da placa, perda de grãos e lixiviação das biotitas;
2. Ácido Clorídrico: Intensa modificação na coloração, lixiviação, com o carreamento de íons para parte inferior da placa. Apresenta ainda perda da cor escura da placa.

As amostras de silimanita granada-gnaiss demonstraram perda de brilho, e alteração nas cores e textura nas porções atacadas, conforme descrito a seguir:

1. Ácido Clorídrico: Provocou modificações na cor da placa e perda de grãos de feldspatos, sendo que ao microscópio observa-se a quebra e migração de óxidos e lixiviação das biotitas;
2. Hidróxido de Potássio: modificação na coloração, deslocamento de grãos e lixiviação das biotitas.

Para esse ensaio o que realmente pode ser medido é a perda ou não do brilho (PB) após o ataque químico. Observa-se que a maior perda de brilho ocorreu na amostra de enderbito quando atacada pelo ácido clorídrico (42,5%) e a menor perda foi ocasionada pela adição do hipoclorito de sódio (2,6%). Outra observação importante é que o enderbito é bem mais susceptível à perda do brilho que os silimanita granada-gnaisses, que por sua vez obtiveram perda de 21,2% do brilho para ácido clorídrico e 5,1% para hipoclorito de sódio.

Os resultados do ensaio de alterabilidade (Quadro 9) são reflexos do arranjo mineral, textura, grau de alteração, composição e tipo de rocha.

**Quadro 9: Resultados do ensaio de alterabilidade para perda de brilho (PB) em relação a placa natural das amostras de enderbito e silimanita granada-gnaisse.**

Agentes Agressivos	Amostras Enderbito PB=(%)	Sil Granada-gnaisse PB=(%)
Cloreto de Amônia	21,3	5,3
Hipoclorito de Sódio	2,6	5,1
Ácido Cítrico	10,3	15,0
Ácido Clorídrico	42,5	21,2
Hidróxido de Potássio	20,7	11,0

A importância deste ensaio se deve ao fato de que muitos materiais sofrem alterações após a sua aplicação, principalmente durante a sua manutenção quando são utilizados materiais de limpeza que contêm agentes agressivos aos minerais, como por

exemplo, desinfetantes que contêm ácidos clorídricos em sua composição. Assim, como este último existem muitos outros produtos que podem acelerar o processo de alteração nas rochas.

**CONCLUSÕES**

Quanto aos ensaios de caracterização tecnológica dos materiais com aplicação no setor de rochas ornamentais são relevantes as seguintes conclusões:

- As amostras estão de acordo com os parâmetros qualitativos determinados pela American Society for Testing and Materials – ASTM (C 615) e os sugeridos por Frazão & Farjallat (1995);
- Os parâmetros tecnológicos das rochas devem ser considerados, não só do ponto de vista estético, mas sob os aspectos de índice de qualidade, de forma a favorecer o controle para quem produz e para o mercado consumidor;
- A caracterização petrográfica é o primeiro dos ensaios a ser realizado, pois auxiliam na determinação dos aspectos físico-químicos dos minerais, podendo inferir o comportamento físico-mecânico dos materiais em outros ensaios;
- A presença de minerais alterados, friáveis ou solúveis pode comprometer muito as propriedades físico-mecânicas das rochas, diminuindo sua durabilidade e brilho, assim como o aumento dos índices de absorção d'água e porosidade, restringindo sua aplicação, o que não aconteceu aos litotipos da área de estudo;
- O uso em excesso de produtos de limpeza à base de ácidos provoca não só a perda do brilho e da cor, como também a alteração mineral pelo aumento no desgaste, na porosidade e no índice de absorção d'água do material.
- Para o ensaio de compressão uniaxial há restrições para amostra de enderbito quanto ao seu uso como material estrutural;
- Quanto ao ensaio de desgaste por atrito (Amsler), os valores estão muito próximos dos limites estabelecidos como padrão, o que restringe o uso dos litotipos em locais de tráfego intenso (shopping, terminal de ônibus, aeroportos, etc.);
- A natureza da amostra de enderbito, ao contrário do que se esperava, apresentou qualificação tecnológica superior à das amostras de silimanita granada-gnaisse, com exceção do ensaio de compressão uniaxial;
- Os litotipos aqui caracterizados apresentam de um modo geral, resultados positivos quanto aos aspectos estéticos e qualitativos que permite indicá-las para aplicação nos diversos ambientes e setores de rochas ornamentais.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo subsídio ao projeto “Granulitos de Chorozinho (Nordeste do Ceará): Aprimoramento e Desenvolvimento de Caracterização Tecnológica para Rochas Ornamentais”, Processo Nº 411/02 – Edital 003/02.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

American Society for Testing and Materials-ASTM – 1990: “Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock – D 2845”. Philadelphia, USA.

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992: (NBR 12768). Rochas para Revestimento – Análise Petrográfica.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992a: (NBR 12766). Rochas para Revestimento – Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d’água Aparente.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992b: (NBR 12767). Rochas para Revestimento – Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992: (NBR 12763). Rochas para Revestimento – Determinação da Resistência à Flexão.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992c: (NBR 12764). Rochas para Revestimento – Determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1992d: (NBR 12042). Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 1997: (NBR 13818 Anexo – H: normativo). Determinação da Resistência ao Ataque Químico.

Aveline, M.; Braudran, A.; Habib, P.; Isnard, P.; Leymarie, P. & Morlier, P. 1964: Résultats expérimentaux sur les relations entre la microfissuration et la vitesse de propagation des ultra-sons dans les granites du Sidobre (Tarn). Sciences de la Terre, Tome IX, nº 4. Nancy, França. p 439-488.

Costa, A.P.L. 2000. Granulitos de Chorozinho (NE do Ceará): Levantamento Geológico e Caracterização Tecnológica como Rochas

Ornamentais. Monografia de Graduação. Curso de Geologia – UFC. 64p.

Costa, A.P.L. 2002. Caracterização Geológica e Tecnológica dos Granulitos da Região de Chorozinho (Nordeste do Ceará). Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado em Geologia – UFC. 104p.

Frazão, E. B. & Farjallat, J. E. S. 1995: Caracterização das Principais Rochas Silicatadas Brasileiras Usadas como Pedras de Revestimento. I Congresso internacional de Pedra Natural. Lisboa-Portugal. 47-58 p.