

AVALIAÇÃO DE GRANITOS ORNAMENTAIS DO NORDESTE ATRAVÉS DE SUAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Eng^o de Minas, DSc. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT
ABIROCHAS – Rua Barão de Studart, 2360 – sala 406 – Bairro Aldeota – 60.120-002 – Fortaleza-CE
Fone: (85) 246-2600 Fax: (85) 246-0262 E_mail: abirochas@secrel.com.br

RESUMO

A importância da caracterização tecnológica das rochas ornamentais começa desde a pesquisa mineral, passando pela lavra e beneficiamento até suas aplicações, onde não só estão interessados os pesquisadores e produtores de rochas ornamentais, mas também os engenheiros projetistas, arquitetos, decoradores, demais especificadores de materiais e construtores que na maioria das vezes não conhecem as características tecnológicas das rochas ornamentais com as quais estão trabalhando e conseqüentemente seu desempenho e durabilidade ao longo do tempo.

Muitos insucessos tem ocorrido com as rochas ornamentais devido a falta de conhecimento das características naturais que o material possui e também aquelas induzidas pelos métodos de lavras e processos de beneficiamento e que podem provocar alterações. Inúmeros investimentos em edificações, têm sido prejudicados quanto a utilização de rochas ornamentais.

Devido à importância das propriedades tecnológicas na escolha e uso correto das rochas ornamentais é apresentado neste trabalho um estudo de caracterização tecnológica de maior interesse para sua aplicação: densidade, porosidade, absorção d'água, resistência à compressão e flexão, desgaste e impacto.

INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapideas, rochas dimensionadas e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral; quanto as edificações, nesse caso, destacam-se os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas soleiras, etc.

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente classificados em granitos (rochas silicáticas) e mármores (rochas carbonatadas), que perfazem cerca de 80% da produção mundial. Embora esta classificação nem sempre, em termos geológicos, seja correta, haja visto outras rochas vêm sendo utilizadas ardósias, quartzitos, pedra sabão, serpentinitos, basaltos, conglomerados, também se destacam setorialmente.

O conhecimento das propriedades físicas, físico-mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas usadas como rochas ornamentais e de revestimento são fatores econômicos que influenciam na formação de preço de mercado, além da estética e beleza do material.

Conhecendo-se as condições ambientais as quais os revestimentos estarão sujeitos e efetuando-se uma análise das características dos materiais disponíveis, pode-se reunir valiosos subsídios para a seleção daqueles que melhor se adequem aos requisitos do projeto pretendido.

As características tecnológicas das rochas, bem como a previsão do seu desempenho em serviço, são obtidos através de análises e ensaios executados, segundo procedimentos rigorosos, normalizados por entidades nacionais e internacionais.

A caracterização tecnológica deve ser realizada logo na etapa da pesquisa mineral e nessa fase já se deve ter conhecimento das características do material e da aplicação para o qual os produtos obtidos servirão como rocha ornamental e de revestimento em edificações, arte funerária, trabalhos especiais e/ou estruturais, dentre outros casos.

Os principais ensaios realizados pelos diversos países participantes da produção e comercialização de rochas ornamentais e de revestimento, através de procedimentos padronizados por órgãos normalizadores, constando como itens obrigatórios para balizar os campos de aplicação desses materiais são: Petrografia, Índices Físicos (massa específica, porosidade e absorção d'água), Desgaste Amsler, Resistência à Compressão Uniaxial, Resistência à Flexão (módulo de ruptura), Coeficiente de Dilatação Térmica Linear, Resistência ao Impacto, Congelamento/Degelo e Alterabilidade.

O presente trabalho restringe-se às rochas ornamentais silicáticas do Nordeste, Brasil, onde foram estudados cerca de 101 (cento e um) diferentes tipos de granitos do Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE e RN) e os resultados obtidos comparados com aqueles estabelecidos pela norma ASTM C-615 e os propostos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995).

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica das rochas para fins ornamentais pode ser determinada através da execução de ensaios, onde são conhecidas suas peculiaridades. Para que se possa classificar um determinado tipo de rocha como ornamental, deve-se considerar os índices físicos, a resistência físico-

mecânica e o grau de polimento, além da forma e dimensão dos blocos que podem ser extraídos, e, principalmente, a viabilidade de aproveitamento na lavra. Dessa forma, todo material empregado no setor da construção, como rocha ornamental e de revestimento, deve possuir certas características técnicas que permitam sua aplicação. Tais características são índices determinados em laboratórios através de ensaios específicos que, quando executados, orientam o uso principal da rocha. As propriedades mecânicas são imprescindíveis para o emprego da rocha em geral, incluindo as que influenciam na lavra e beneficiamento e na utilização do produto acabado. Assim, a necessidade de se dispor de uma caracterização tecnológica rigorosa das rochas ornamentais é condição indispensável, pois embora tenha surgido no passado, na Itália, desponta hoje como fator preponderante para atender as exigências técnicas ligadas às grandes obras realizadas nos principais mercados de produtos acabados (Estados Unidos, Alemanha, Japão, etc.).

A fim de minimizar os problemas resultantes do pouco conhecimento do comportamento das rochas utilizadas para fins ornamentais, ensaios de caracterização tecnológica vêm sendo executados pelos diversos países envolvidos na produção e comercialização desses materiais lapídeos, através de procedimentos padronizados por órgãos normatizadores, entre os quais se destacam: American Society for Testing and Material – ASTM, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Deutsches Institut für Normung – DIN, Association Française du Normalisation – AFNOR e Enti Nazionali in Unificazione Normazione di Italia – UNI, e Asociación Española de Normalización y Certificación – AENOR. No caso das normas para as rochas ornamentais e de revestimento, no Brasil adotam-se as da ABNT e ASTM conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – Normas Técnicas para Caracterização de Rochas Ornamentais

Ensaio	NORMA ABNT	NORMA ASTM
Análise Petrográfica	ABNT NBR 12768	ASTM C-295
Índices Físicos	ABNT NBR 12766	ASTM C-97
Resistência à Flexão	ABNT NBR 12763	ASTM C-99 / C-880
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	ABNT NBR 12764	ASTM C-170
Resistência à Compressão	ABNT NBR 12767	ASTM D-2938 / C-170
Coefficiente de Dilatação Térmica Linear	ABNT NBR 12765	ASTM E-228
Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão	ABNT NBR 12769	nd
Desgaste Amsler	ABNT NBR 6481	ASTM C-241
Módulo de Deformabilidade Estática	nd	ASTM C-3148
Micro Dureza Knoop	nd	nd

A Comunidade Econômica Européia sentiu a necessidade da unificação de normas para as rochas ornamentais com o objetivo de facilitar a

comercialização de tais produtos. Neste sentido foi criado o Comitê Europeu de Normalização – CEN, que preparou e submeteu à apreciação do Conselho Técnico um programa normativo no domínio da construção e obras públicas, que irá brevemente ser divulgado. Tão logo esse documento seja aprovado, os resultados serão apreciados pelo Comitê Internacional, que, através de uma avaliação comparativa com novas normas adotadas em outros países, deverá chegar a um consenso geral, e, posteriormente, elaborar um documento final de aceitação internacional. Os resultados de ensaios regidos por essas normas visam fornecer elementos que permitam atender a especificações menos empíricas, e, conseqüentemente, mais eficazes, seguras e econômicas, evitando insatisfações e/ou reclamações dos consumidores, gerando uma imagem negativa das empresas de projetos arquitetônicos e fornecedora desses materiais.

Os principais ensaios adotados no Brasil para a qualificação das rochas ornamentais direcionados ao mercado interno ou externo são: petrografia, índices físicos (massa específica, porosidade, e absorção d'água), dilatação térmica linear, desgaste abrasivo, impacto de corpo duro, resistência à flexão (módulo de ruptura), resistência à compressão uniaxial, congelamento e degelo conjugado à compressão. A Tabela 2 apresenta os valores limites estabelecidos pela Norma ASTM C-615 e aqueles propostos por FRAZÃO & FARJALLAT.

TABELA 2 – VALORES ESPECIFICADOS PELA NORMA ASTM E SUGERIDOS NO BRASIL

PROPRIEDADES	VALORES FIXADOS PELA ASTM C-615	VALORES SUGERIDOS POR FRAZÃO & FARJALLAT
Massa específica Aparente (Kg/m ³)	≥ 2.560,00	≥2.550
Porosidade Aparente (%)	n.e.	≤1,0
Absorção D'água (%)	≤0,4	≤0,4
Velocidade de Propagação de Ondas (m/s)	n.e.	≥4.000
Dilatação Térmica Linear (10 ⁻² /mm.°C)	n.e.	≤12,0
Desgaste Amsler (mm)	n.e.	≤1,0
Compressão Uniaxial (MPa)	≥131,0	≥100,0
Flexão (módulo de ruptura) (MPa)	≥10,34	≥10,0
Módulo de Deformabilidade Estático (GPa)	n.e.	≥30,0
Impacto de Corpo Duro (m)	n.e.	≥0,4

Fonte: American Society for Testing and Materials - ASTM. Frazão & Farjallat (1995)

Nota: n.e. = não especificado

A Tabela 3 mostra os resultados de caracterização tecnológica das rochas silicáticas da região Nordeste estudadas.

Dentre as amostras analisadas encontram-se granitos SS, leucogranitos, gnaisses,

leucognaisses, migmatitos, monzogranitos, sienitos, charnockitos, dioritos, entre outros, no total de 101 tipos de rochas silicáticas que vêm sendo produzidas e comercializadas.

TABELA 3 – Resultado da Caracterização Tecnológica das Rochas Silicáticas da Região Nordeste

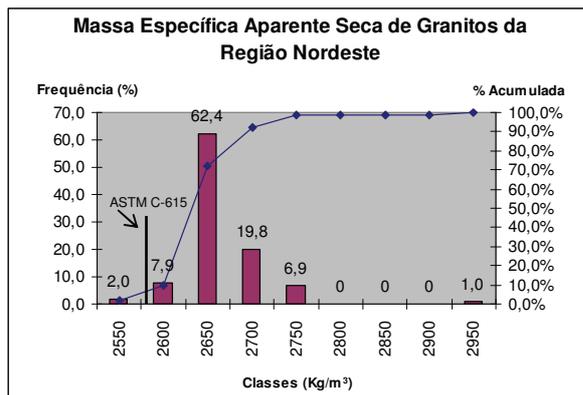
Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Massa Específ. (k/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Compressão (MPa)	Flexão (MPa)	Desgaste Amsler (mm)	Impacto (m)
Red Symphony	Biotita – Granito Tectonizado	2670	0,37	0,24	207,0	14,2	0,69	0,60
Yellow Symphony	Biotita – Granito	2620	0,58	0,22	120,0	15,8	0,69	0,59
Branco Cotton	Albita – Granito	2619	0,68	0,26	127,0	17,2	0,83	0,63
Super Branco	Albita – Granito	2611	0,76	0,29	105,9	8,3	1,16	0,96
Branco Ceará	Albita – Granito	2623	0,65	0,25	112,5	16,8	0,65	0,60
Branco Amazonas (V)	"	2640	0,48	0,18	146,2	8,1	0,69	0,58
Branco Tapajós (V)	"	2622	0,58	0,15	110,4	14,8	0,74	-
Branco Cecy (V)	"	2622	0,38	0,15	-	-	0,74	-
Branco Cristal Quartzo	Monzogranito ou Biotita – Granito	2614	0,42	0,16	157,2	17,7	0,40	0,56
Cinza Prata	Granodiorito	2678	0,43	0,16	146,5	12,85	0,91	0,80
Coliseum Green	Biotita – Granito ou Granito "sense strict"	2599	0,60	0,23	122,3	15,7	0,73	-
Coliseum Gold (V)	"	2599	0,60	0,23	122,3	15,7	0,73	-
Dourado Sobral	Biotita – Granito	2620	0,34	0,13	155,3	16,5	0,92	-
Green Galaxy	Molonito de coaposição sienogranítica	2691	0,25	0,10	90,3	19,9	0,74	0,72
Juparaná Montiel	Granito Pegmatóide	2635	0,63	0,24	80,5	8,8	0,81	0,57
Mont Blanc	Granada Leucognaisse	2620	0,73	0,28	119,7	13,8	0,78	0,53
Gran Caramelo (V)	"	2610	0,48	0,18	94,8	9,5	0,72	0,53
Rosa Iracema	Monzogranito ou Biotita – Granito	2611	0,82	0,31	145,0	13,3	0,61	0,66
Branco Savana (V)	"	2580	0,80	0,30	135,5	12,32	0,72	-
Verde Ceará	Biotita – Granito ou Granito "Sense strict"	2615	0,59	0,23	134,0	15,0	0,82	-
Vermelho Filomena	Biotita – Granito	2575	0,27	0,64	101,0	8,6	0,60	0,55
Branco Santa Quitéria	Biotita – Granito	2591	0,57	0,22	106,1	13,9	0,91	-
Amarelo Massapé	Biotita – Granito	2600	0,76	0,79	84,6	20,0	0,71	0,70
Branco Fuji	Biotita – Monzo – Granito Pegmatóide	2643	1,36	0,52	52,27	8,52	0,98	0,35
Reliquia	Quartzo – Monzonito	2633	0,50	0,19	121,9	19,02	-	-
Grampóla	Sienogranito	2610	1,13	0,43	110,54	20,08	0,77	-
Preto São Marcos	Piroxênio – Biotita – Diorito	2902	0,28	0,10	131,67	19,28	1,41	-
Amarelo Cabaças	Sienogranito	2616	0,70	0,27	136,6	10,57	0,59	-
Havana	Biotita – Granito	2620	0,88	0,34	-	16,18	0,83	-
Ouro Branco	Monzogranito	2610	0,61	0,23	-	-	0,76	-
Casablanca	Granada Leucognaisse	2659	0,36	0,14	96,3	6,6	0,95	0,60
Falésia	Granada Leucognaisse	2626	0,53	0,20	92,1	9,4	0,97	0,55
Juparaná Delicato	Granada – Biotita – Gnaisse	2648	0,30	0,11	133,9	12,4	0,83	0,50
Rain Forest	Biotita – Hornblenda – Granada ou Granito "sense strict"	2621	0,46	0,18	87,4	11,50	0,81	0,50
Yellow Tropical (V)	"	2624	0,49	0,19	84,6	8,90	0,78	0,56
Verde Meruoca	Biotita – Granito	2620	0,33	0,13	135,14	14,49	0,68	0,70
Meruoca Clássico	Biotita – Hornblenda – Granito	2601	0,21	0,08	116,7	12,47	0,72	0,67
Rosa Silvestre	Monzogranito	2584	1,30	0,502	100,25	12,65	0,19	-
Branco Pernambuco	Monzogranito	2636	1,08	0,41	120,89	17,12	0,39	-
White Bee	Albita - Granito	2631	0,79	0,30	103,22	15,88	0,67	0,70
Branco São Paulo	Albita – Granito	2611	0,68	0,26	104,66	14,89	0,74	0,90
Rosa Algodão	Sienito	2610	0,49	0,19	90,32	19,77	-	-
Taperoá	Biotita – Granito	2650	0,46	0,16	151,0	19,7	-	-
Branco Imaculada	Biotita - Granito	2554	1,82	0,78	106,0	17,8	-	-
Marrom Imperial	Sienito – Monzonito	2700	0,77	0,29	78,47	11,83	0,40	0,35
Carnaval	Ortognaisse migmatizado	2680	0,75	0,29	87,1	-	-	-
Florença	Sienogranito	2630	1,26	0,48	80,64	9,37	1,08	-
Rosa Goitis	Migmatito	2640	0,53	0,20	145,75	18,52	-	-
Vermelho Ipanema	Granito Alcali-feldspato	2610	0,75	0,29	113,74	17,01	0,82	-
Vermelho Venturosa	Monzosienito Pórfiro	2660	0,80	0,30	100,35	11,45	0,47	-
Biancastro	Monzogranito ou Biotita-Granito	2619	0,42	0,16	112,1	11,10	0,90	0,71
Vermelho Ventura	Biotita – Granito Pórfiro	2631	0,40	0,15	108,51	12,85	0,69	-
Verde Fuji	Quartzito	2657	0,75	0,28	151,37	24,08	0,50	-
Rosa Imperial	Ortognaisse migmatizado	2616	0,68	0,26	148,15	15,93	0,65	-
Juparaíba	Biotita – Sienogranito	2600	1,18	0,45	111,14	10,05	0,77	-

TABELA 3 – Resultado da Caracterização Tecnológica das Rochas Silicáticas da Região Nordeste – Cont.

Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Massa Específ. (kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Compressão (MPa)	Flexão (MPa)	Desgaste Amsler (mm)	Impacto (m)
Preto Ceará	Quartzo - Diorito	2666	1,05	0,28	142,0	24,30	1,40	-
Guará	Monzogranito	2625	0,75	0,28	115,50	12,06	0,51	-
Azul Bahia	Sodalita – Sienito	2545	0,10	0,04	169,20	16,64	0,75	0,46
Azul Paramirim	Riolito pórfiro	2679	0,64	0,24	190,40	20,54	0,53	0,44
Azul Quati	Hornblenda granito	2665	0,46	0,17	167,20	16,93	0,72	0,50
Beija-Flor	Leucogranito	2640	0,44	0,17	73,33	-	-	-
Bordeaux Bahia	Biotita – Granito	2637	0,36	0,14	208,30	16,07	0,57	0,55
Branco Bahia	Leucogranito	2675	1,31	0,50	104,60	9,31	-	-
Branco Cacatua	Granada leucogranito	2642	0,37	0,14	181,90	17,79	0,38	0,53
Brown Colonial	Leucogranito	2625	0,60	0,23	135,80	8,12	0,55	0,53
Café Bahia	Sienito	2732	0,44	0,16	173,20	18,09	0,68	0,50
Café Brasil	Aegirina – augita – hornblenda álcali sienito	2730	0,11	0,04	178,10	18,00	-	-
Cinza Pratinha	Biotita granodiorito	2632	-	0,18	115,00	18,04	-	-
Cobalt Blue	Biotita, sodalita, nefelina sienito	2545	0,10	0,04	169,20	16,64	0,75	0,46
Colibri	Biotita gnaiss migmatizado	2640	0,36	0,14	136,70	17,70	-	-
Creme Azul Bahia	Hornblenda álcali granito	2665	0,46	0,17	167,20	16,93	0,72	0,50
Desenhado	Granito leucogranito	2650	0,67	0,25	133,20	13,00	0,39	-
Flamingo	Biotita – Granito	2620	0,88	0,34	131,40	-	0,18	0,55
Guariba	Biotita gnaiss migmatizado	2710	0,54	0,20	77,30	27,20	0,33	-
Himalaia White	Granada leucogranito	2632	0,45	0,17	-	15,65	0,84	-
Itaera	Aegirina – augita – hornblenda álcali sienito	2700	0,79	0,29	138,50	19,50	-	-
Juparaná Naska	Granito Kinzigítico	2635	0,58	0,22	103,50	15,32	-	-
Kashimir Bahia	Granada leucogranito	2640	0,46	0,18	204,20	16,30	0,62	0,57
Kinawa Bahia	Biotita gnaiss migmatizado	2644	0,23	0,09	191,10	19,27	0,58	0,45
Macajuba	Biotita – Hornblenda gnaiss	2670	0,48	0,18	81,23	20,60	0,16	-
Macajuba R4	Hornblenda granito – Gnaiss	2720	0,60	0,22	105,20	11,30	0,10	0,54
Macarena	Biotita gnaiss migmatizado	2630	0,80	0,31	-	-	-	-
Macroponto	Leucogranito Kinzigítico	2630	0,49	0,19	142,50	18,94	0,43	-
Macroponto II	Granito Kinzigítico	2630	0,49	0,19	142,50	18,94	0,43	-
Maracanã	Quartzo – Diorito	2676	0,38	0,14	155,10	20,43	0,43	0,68
Microponto	Leucogranito	2590	1,03	0,39	116,00	10,43	0,46	-
Mogno Bahia	Biotita gnaiss migmatizado	2637	0,36	0,14	208,30	16,07	0,57	0,55
Monte Santo	Granito	2649	0,50	0,19	176,30	22,46	0,47	0,65
Multicolor	Charnockito – Gnaiss migmatizado	2640	0,69	0,26	151,10	19,50	0,37	0,53
Multicolor Rosa	Biotita gnaiss migmatizado	2641	0,46	0,18	198,20	21,47	0,63	0,43
Pantaleão	Biotita gnaiss migmatizado	2630	0,57	0,24	76,87	20,10	0,16	-
Red Vitória	Biotita – Granito Gnaiss	2635	0,41	0,13	172,80	-	0,53	-
Rosa Tupim	Biotita gnaiss migmatizado	2638	0,43	0,16	176,40	20,96	0,59	0,49
Roseline	Biotita gnaiss migmatizado	2641	-	-	163,00	15,60	-	-
Roseline	Biotita gnaiss migmatizado	2641	-	-	163,00	15,60	-	0,46
Tigrato	Biotita gnaiss migmatizado	2650	0,29	0,11	82,93	24,60	-	-
Tropical Bahia	Biotita gnaiss migmatizado	2665	0,41	0,15	175,20	28,24	0,50	0,47
Verde Bahia	Charnockito	2689	0,10	0,04	184,10	20,73	0,35	0,38
Verde Dourato	Charnockito	2707	0,17	0,06	177,60	20,50	0,49	0,38
Verde Fontein	Charnockito	2676	0,39	0,15	95,10	11,10	0,33	0,50
Vino Bahia	Biotita – Granito Gnaiss	2624	0,48	0,18	185,20	17,41	0,80	0,59

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra a distribuição dos resultados de massa específica aparente seca obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

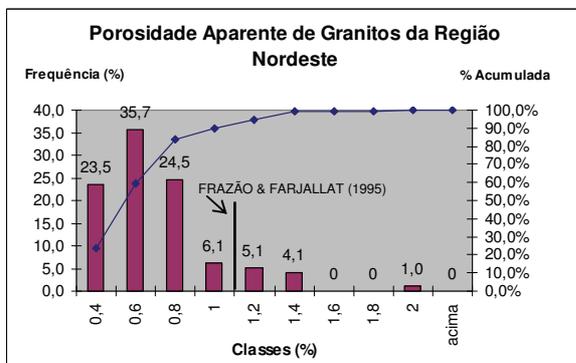


Classes Massa Específica	Percentual	Acumulada
2550	2,0	0,020
2600	7,9	0,099
2650	62,4	0,723
2700	19,8	0,921
2750	6,9	0,990
2800	0	0,990
2850	0	0,990
2900	0	0,990
2950	1,0	1,000

FIGURA 1 – Distribuição dos Resultados de Massa Específica Aparente Seca Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 1, as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentou resultados de massa específica aparente variando no intervalo de 2550 a 2950 Kg/m³, com uma frequência de concentração maior em 2660 Kg/m³. Observa-se que cerca de 62% das amostras estudadas estão situada na classe de 2650 Kg/m³. A Norma ASTM C-615 estabelece que os granitos para serem utilizados como revestimentos exteriores de granitos estruturais, devem apresentar densidade de massa específica aparente seca de 2560 Kg/m³. Verifica-se então que a grande maioria das rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste em estudo atendem perfeitamente à especificação estabelecida na Norma ASTM C-615. Apenas 2% das rochas estudadas situa-se abaixo desse limite não sendo significativo do ponto de vista estatístico.

A Figura 2 apresenta a distribuição dos resultados de porosidade aparente obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.



Classes Porosidade	Percentual	Acumulada
0,4	23,5	0,235
0,6	35,7	0,592
0,8	24,5	0,837
1	6,1	0,898
1,2	5,1	0,949
1,4	4,1	0,990
1,6	0	0,990
1,8	0	0,990
2	1,0	1,000
acima	0	1,000

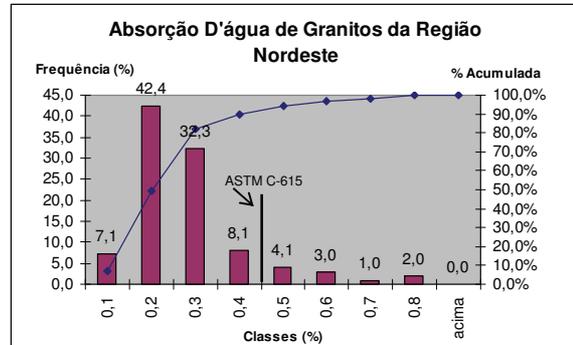
FIGURA 2 – Distribuição dos Resultados de Porosidade Aparente Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Com relação ao gráfico da Figura 2, pode ser observado que as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentam resultados de porosidade aparente variando no intervalo de 0,4 – 2,0%, com frequência de concentração maior em 0,6%, com cerca de 35%.

A Norma ASTM C-615 não especifica limites; no entanto, FRAZÃO & FARJALLAT (1995) através de um estudo estatístico relativo às características tecnológicas das rochas silicáticas (granito) do Brasil, sugerem o valor limite máximo de 1% para essa propriedade de rochas utilizadas como rochas ornamentais e de revestimento. Na Figura 2 verifica-se que cerca de 90% dos materiais analisados

encontram-se abaixo desse limite, ou seja, dentro da especificação proposta pelos autores FRAZÃO & FARJALLAT.

A Figura 3 mostra a distribuição dos resultados de absorção d'água obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

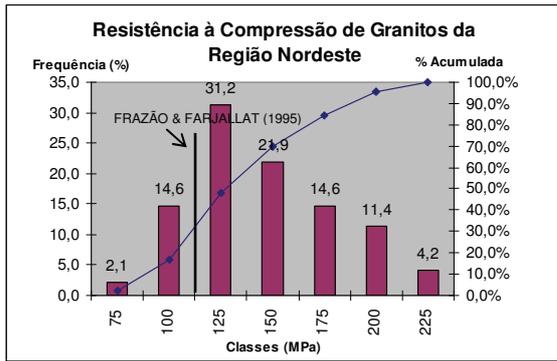


Classes Absorção	Percentual	Acumulada
0,1	7,1	0,071
0,2	42,4	0,495
0,3	32,3	0,818
0,4	8,1	0,899
0,5	4,1	0,940
0,6	3,0	0,970
0,7	1,0	0,980
0,8	2,0	1,000
acima	0,0	1,000

FIGURA 3 – Distribuição dos Resultados de Absorção D'água Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 3, as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentam resultados de absorção d'água variando no intervalo de 0,1 a 0,8%, com uma frequência de maior concentração em 0,2%. Observa-se que cerca de 75% das amostras estudadas estão situadas no intervalo de 0,2 a 0,3%. A Norma ASTM C-615 estabelece que os granitos para serem utilizados como rochas ornamentais e de revestimento, devem apresentar valor de absorção d'água abaixo de 0,4%. O mesmo valor também é sugerido por FRAZÃO & FARJALLAT. Tomando como base os valores fixados pela ASTM C-615 e FRAZÃO & FARJALLAT, constata-se que as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentam resultados de absorção d'água abaixo de 0,4%, o que nos permite dizer que esses materiais apresentam boa durabilidade e considerável resistência mecânica ao longo do tempo.

A Figura 4 apresenta a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

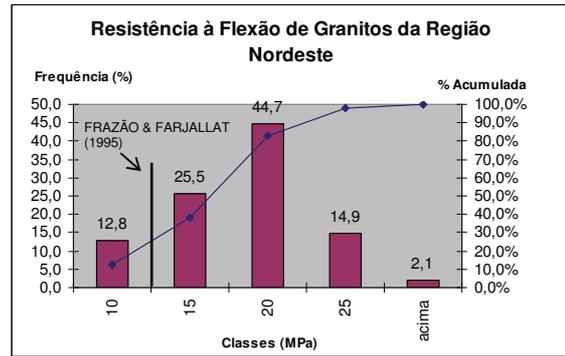


Classes Compressão	Percentual	Acumulada
75	2,1	0,021
100	14,6	0,167
125	31,2	0,479
150	21,9	0,698
175	14,6	0,844
200	11,4	0,958
225	4,2	1,000

FIGURA 4 – Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

De acordo com os resultados apresentados no gráfico da Figura 4, as rochas silicáticas (granito) mostram que a resistência à compressão uniaxial está mais concentrada no intervalo de 100 a 175 MPa, faixa em que situam-se cerca de 82% das rochas silicáticas analisadas. Segundo FRAZÃO & FARJALLAT (1995), o valor mínimo considerado para essa propriedade é de 100 MPa; enquanto que para a ASTM C-615 esse limite é de 131 MPa. Neste caso verifica-se, então, que os resultados obtidos para esse ensaio se adequam melhor ao limite estabelecido pelos referidos autores, uma vez que a frequência de maior concentração está situada em 125 MPa, um pouco abaixo do limite determinado pela Norma ASTM C-615. É importante ressaltar que essa característica físico-mecânica representa um valioso índice de qualidade dos materiais para uso como rochas ornamentais e de revestimento, estando, ao mesmo tempo, diretamente relacionada com outras propriedades tecnológicas que depende da estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração das rochas. Estruturas orientadas, ou bandadas, conduzem a resultados de resistências diferentes, conforme as solicitações se dêem no plano paralelo ou perpendicular a essas estruturas.

A Figura 5 mostra a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão (módulo de ruptura) obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

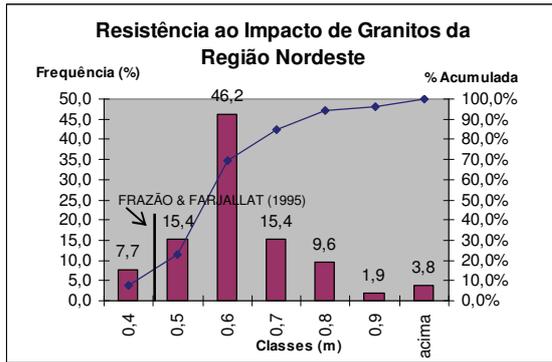


Classes Flexão	Percentual	Acumulada
10	12,8	0,128
15	25,5	0,383
20	44,7	0,830
25	14,9	0,979
acima	2,1	1,000

FIGURA 5 – Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência à Flexão Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Com relação ao gráfico da Figura 5, pode ser observado que as rochas silicáticas (granito) estudadas para a resistência a flexão no intervalo de classe de 10 a 15 MPa variam com a frequência entre 10 a 25%, respectivamente, sendo que quase todas as amostras estão todas acima dos valores limites mínimos estabelecidos pela Norma ASTM C-615 ($\geq 10,34$ MPa) e o sugerido por FRAZÃO & FARJALLAT ($\geq 10,0$ MPa), que é praticamente coincidente. No intervalo de 15 a 20 MPa, registra-se uma frequência de 70%. Nesse caso verifica-se que as rochas silicáticas (granito) analisadas neste estudo podem ser consideradas como sendo de boa qualidade, sob o ponto de vista de sua aplicação para revestimentos. Essa característica físico-mecânica assim como a compressão, também é muito dependente de estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração das rochas. Dessa forma, as mesmas observações sobre as estruturas de rochas feitas para os ensaios a resistência à compressão deverá ser levada também para os ensaios a resistência à tração na flexão (módulo de ruptura) ou seja: estruturas orientadas, ou bandadas, conduzem a resultados de resistências diferentes, conforme as solicitações se dêem no plano paralelo ou perpendicular a essas estruturas.

A Figura 6 apresenta a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência ao impacto obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.

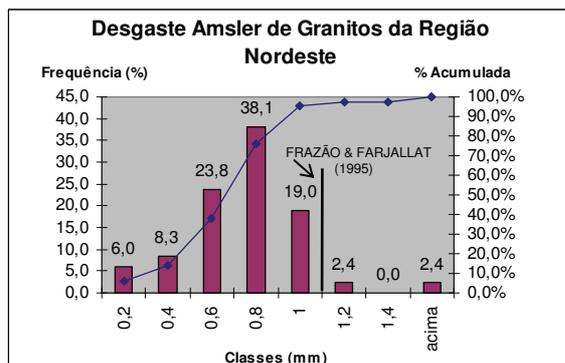


Classes Impacto	Percentual	Acumulada
0,4	7,7	0,077
0,5	15,4	0,231
0,6	46,2	0,693
0,7	15,4	0,847
0,8	9,6	0,943
0,9	1,9	0,962
acima	3,8	1,000

FIGURA 6 – Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência ao Impacto Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 6, as rochas silicáticas (granito) estudadas apresentam resultados para resistência ao impacto variando no intervalo 0,4 – 0,5 m, com frequência de 23%; em 0,6 m, com frequência de 46% cujo resultado situa-se cerca de 70% das rochas analisadas; no intervalo de 0,6 – 0,7 m, a frequência cai para 15%. Verifica-se que a maior frequência das rochas analisadas está em 0,6 m. A Norma ASTM C-615 não especifica limites; no entanto, FRAZÃO & FARJALLAT (1995), propões um limite mínimo de 0,4 m, dentro do qual estão inseridas 100% dos resultados obtidos, o que sugere que essas rochas possuem boa resistência ao impacto. Dessa forma, podem ser dimensionadas nas espessuras normais de uso sem grandes riscos de trincamento e/ou rompimento, suportando melhor as ações mecânicas instantâneas.

A Figura 7 mostra a distribuição dos resultados dos ensaios de resistência ao desgaste Amsler obtidos com as rochas silicáticas (granito) da Região Nordeste.



Classes Desgaste Amsler	Percentual	Acumulada
0,2	6,0	0,060
0,4	8,3	0,143
0,6	23,8	0,381
0,8	38,1	0,762
1	19,0	0,952
1,2	2,4	0,976
1,4	0,0	0,976
acima	2,4	1,000

FIGURA 7 – Distribuição dos Resultados dos Ensaios de Resistência ao Desgaste Amsler Obtidos com as Rochas de Tipos Granitos da Região Nordeste

Com base nos resultados apresentados no gráfico da Figura 7, pode ser observado que as rochas silicáticas (granito) estudadas estão, a grande maioria, concentrada entre 0,6 – 0,8 mm, com cerca de 62% de frequência. A Norma ASTM C-615 não especifica limites; FRAZÃO & FARJALLAT (1995) através de um estudo estatístico relativo às características tecnológicas das rochas silicáticas (granito) do Brasil, sugerem o valor limite máximo de 1,0 mm para o desgaste Amsler ($\leq 1,0$ mm), ou seja para a resistência ao desgaste Amsler nesse caso é de 1 mm. Tomando como base esse valor, constata-se que 95% das rochas analisadas atendem a esse limite, o que recomenda sua aplicação também em áreas de trânsito mais intenso, no caso para piso de alto tráfego.

CONCLUSÕES

- ✓ Das rochas silicáticas (granito) da região Nordeste estudadas, 62% estão dentro dos limites estabelecidos para massa específica aparente seca (classe de 2650 Kg/m³), cerca de 90% para porosidade (abaixo de 1%) e mais de 90% satisfazem aos índices de absorção d'água ($\leq 0,4\%$). Esses dados, quando comparados aos valores fixados pela norma ASTM – C-615 e por FRAZÃO & FARJALLAT (1995), podem ser considerados satisfatórios;
- ✓ Com relação a resistência à compressão uniaxial, 82% das rochas silicáticas (granito) analisadas estão dentro do intervalo de 100 e 175 MPa, sendo, portanto aceitáveis para utilização como rocha ornamental e de revestimento, sob o ponto de vista do limite mínimo (100 MPa) proposto por FRAZÃO & FARJALLAT (1995);
- ✓ Para os ensaios de resistência à flexão, verifica-se que quase todas as amostras analisadas encontram-se na classe acima de 10 MPa com uma frequência de maior concentração no intervalo de 15 a 20 MPa (70%). Tais resultados podem ser considerados como sendo de ótima qualidade, uma vez que os mesmos estão inseridos nos limites estabelecidos pela norma ASTM C-615 e por FRAZÃO & FARJALLAT (1995);
- ✓ No que se refere aos resultados obtidos para a resistência ao impacto, verifica-se que 7% das rochas estudadas encontram-se acima do valor

mínimo proposto por FRAZÃO & FARJALLAT (1995);

- ✓ Quanto ao desgaste Amsler, pode-se constatar que cerca de 95% dos resultados obtidos encontram-se abaixo do valor máximo proposto por FRAZÃO & FARJALLAT (1995), conferindo um alto índice de resistência ao desgaste.

BIBLIOGRAFIA

- Aires-Barros, L. 1991. *Alteração e alterabilidade de rochas*. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa:Universidade Técnica de Lisboa. 384p.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. NBR 12.042/92. *Materiais inorgânicos: determinação do desgaste por abrasão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.763/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência à flexão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.764/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência ao impacto de corpo duro*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.765/92. *Rochas para revestimento: determinação de coeficiente de dilatação térmica linear*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.766/92. *Rochas para revestimento: determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.767/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência à compressão uniaxial*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.768/92. *Rochas para revestimento: análise petrográfica*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.769/92. *Rochas para revestimento: ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação de resistência à compressão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1997. NBR 13.818/97, anexo H. *Determinação da resistência ao ataque químico*. Rio de Janeiro.
- _____. no prelo. *Rochas para revestimento de edificações: terminologia*. (Projeto 02:105.45-012).
- ASTM-American Society for Testing and Materials. 1995. D 2845/95. *Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks*.
- _____. 1999a. C119/99. *Standard terminology relating to dimension stone*.
- _____. 1999. C 503/99 – *Standard specification for marble dimension stone (exterior)*.
- _____. 1999. C 568/99 – *Standard specification for limestone dimension stone*.
- _____. 1999. C 615/99. *Standard specification for granite dimension stone*.
- _____. 1999. C 616/99 – *Standard specification for quartz-based dimension stones*.
- _____. 1999. C 629/99 – *Standard specification for slate dimension stones*.
- _____. 1999. C 880/99. *Standard test method for flexural strength of dimension stone*.
- American Society For Testing And Materials - ASTM. (C 615). *Standard specification for granite dimension stone*. 1992.
- Frazão, E, B.; Farjallat, J. E. S. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. I Congresso Internacional da Pedra Natural. Lisboa. 1995.47-58p.
- Frazão, E.B.; Farjallat, J.E.S. 1996. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., 1996, Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro: ABGE. v.1, p. 369-380.
- Frisa Morandini, A. La qualificazione Tecnica delle rocce ornamentali: Normativa Viopute e Proposte di Intervento. 7ª Feira Internazionale Marmo Machine Carrara - La cava nel 2.000. Convegno Internazionale Su: Tra Inovazione Tecnologica e Nuove Diomonche di Marcato, Atti Carrara, 29/30 maggio 1996: p 129 - 133.
- Vidal, F. W. H.; Bessa, M F.; Lima, M. A. B. Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. Série Tecnologia Minera, 74. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1999. 30p.
- Vidal, F. W. H.; Bessa, M F.; Lima, M. A. B. Caracterização tecnológica das rochas ornamentais do Ceará. IV Congresso Italo-brasileiro de Engenharia de Minas, Canela/RS, 4/6 novembro 1996, p. 174-183.
- Vidal, F. W. H.; Pereira, T. A. Avaliação das atividades de produção das rochas ornamentais e sua aplicação como revestimento através da caracterização. XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Águas de São Pedro/SP, 23/26 agosto 1998, p. 173-186.