

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E TECNOLÓGICA DE GRANITOS ORNAMENTAIS DO STOCK GRANÍTICO SERRA DO BARRIGA, SOBRAL/CE

Irani Clezar MATTOS¹, Antonio Carlos ARTUR², José de Araújo NOGUEIRA NETO¹

(1) Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, UFC - Campus Universitário do Pici, Bloco 912, CEP 60455-760. Fortaleza, CE. Endereço eletrônico: irani.mattos@ufc.br / nogueira@ufc.br

(2) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: acartur@rc.unesp.br.

Resumo
Abstract
Introdução
Contexto Geológico do Stock Granítico Serra do Barriga
Materiais e Métodos
Análise Petrográfica
Resultados Tecnológicos e Correlações com Propriedades Petrográficas
Índices Físicos
Resistência à Compressão Uniaxial
Resistência à Esforços Flexores
Desgaste Abrasivo Amsler
Resistência ao Impacto de Corpo Duro
Coeficiente de Dilatação Térmica Linear
Propagação de Ondas Ultrasônicas Longitudinais
Condições Finais
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO - São apresentados resultados de análises petrográficas e do comportamento tecnológico de quatro variedades de granitos ornamentais do *stock* Serra do Barriga, localizado a NNW do estado do Ceará. Os tipos investigados são comercialmente conhecidos por Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo e correspondem a variedades de sienogranitos e monzogranitos, isotrópicos, inequigranulares de granulação média a grossa, com coloração que variam entre rosa e branco. Os resultados dos ensaios tecnológicos, com parâmetros físico-mecânicos bastante similares entre as quatro rochas, situam os granitos analisados como detentores de boas propriedades tecnológicas, indicados para utilização como pisos, bancadas, revestimentos de fachadas horizontais e verticais em ambientes de interiores e de exteriores. Correlações entre os resultados físico-mecânicos e características petrográficas das rochas mostram a influência dos aspectos mineralógicos, texturais e estruturais no comportamento de determinadas propriedades tecnológicas exibidas pelos referidos granitos ornamentais. Dentre os parâmetros petrográficos de maior influência verificados destacam-se a granulação grossa das rochas, teores de quartzo, grau de microfissuramento e alterações minerais, os quais controlam, em maior ou menor proporção, a porosidade aparente e conseqüente absorção d'água, resistência mecânica (compressão uniaxial; esforços flexores; impacto), desgaste abrasivo Amsler, dilatação térmica e propagação de ondas ultrassônicas exibidas pelos granitos.

Palavras-chave: rocha ornamental, caracterização tecnológica, petrografia, *stock* Serra do Barriga.

ABSTRACT - I. C. Mattos; A. C. Artur; J. de A. Nogueira Neto - *Petrographical and Technological Characterization of Granites from Serra do Barriga Stock, Sobral/CE*. Petrographic analysis and technological behaviour of four varieties of granitic dimension stones from Serra da Barriga stock, in NNW Ceará State, Brazil, are presented in this work. The investigated rock types are commercially known as Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana and Branco Cristal Quartzo and are classified as isotropic, inequigranular syenogranites and monzogranites, medium to coarse grained, with colours ranging between pink and white. The technological tests results, of physical and mechanical parameters were very similar between the four rock samples and put the analysed granites as having good technological properties, suitable for coatings for both indoors and outdoors environments. The correlations between rock physical and mechanical characteristics results, show the importance of mineralogical, textural and structural aspects of some dimension stone granites technological properties. Among the verified most influence petrographic parameters, stand out the rocks coarse grains, quartz content, microcracking level, mineral weathering, which control, higher or lower level, apparent porosity, water absorption, mechanical resistance (uniaxial and flexural strength), impact, Amsler abrasion, thermal expansion and ultrasonic waves propagation, of that granites.

Keywords: dimension stones, technological characterization, Serra do Barriga stock, petrography.

INTRODUÇÃO

O emprego de rochas ornamentais como material de revestimento na construção civil, principalmente de fachadas e pisos, tem apresentado um crescimento significativo nas últimas décadas. Esta expansão na utilização, aliada ao considerável aumento na diversidade de materiais pétreos ofertados pelo mercado, tem demandado conhecimentos técnicos sobre o desempenho destes materiais frente às solicitações a que os mesmos estarão submetidos ao longo do tempo. Portanto, o conhecimento das propriedades tecnológicas (físicas; físico-mecânicas; características químico-mineralógicas) é de fundamental importância na qualificação da rocha visando uma melhor adequação do material ao ambiente de aplicação e, conseqüentemente, na prevenção do aparecimento de patologias associadas à degradação da rocha. Por outro lado, a utilização dos parâmetros petrográficos na qualificação das rochas ornamentais tem contribuído significativamente para uma avaliação preliminar mais segura das características físico-mecânicas e suscetibilidades degradativas a que as rochas são sujeitas durante o uso em obras civis.

Ressalta-se, entretanto, que apesar da indubitável interdependência as relações entre características petrográficas e tecnológicas são algo complexas, não sendo claramente conhecidas todas as variantes dessas relações, conforme considerações efetuadas por Mello Mendes (1968), Navarro (2006), Rzhovsky & Novik (1971), Whittaker et al. (1992), dentre outros.

Nos últimos anos tem-se verificado, a nível nacional, uma crescente aplicação dos

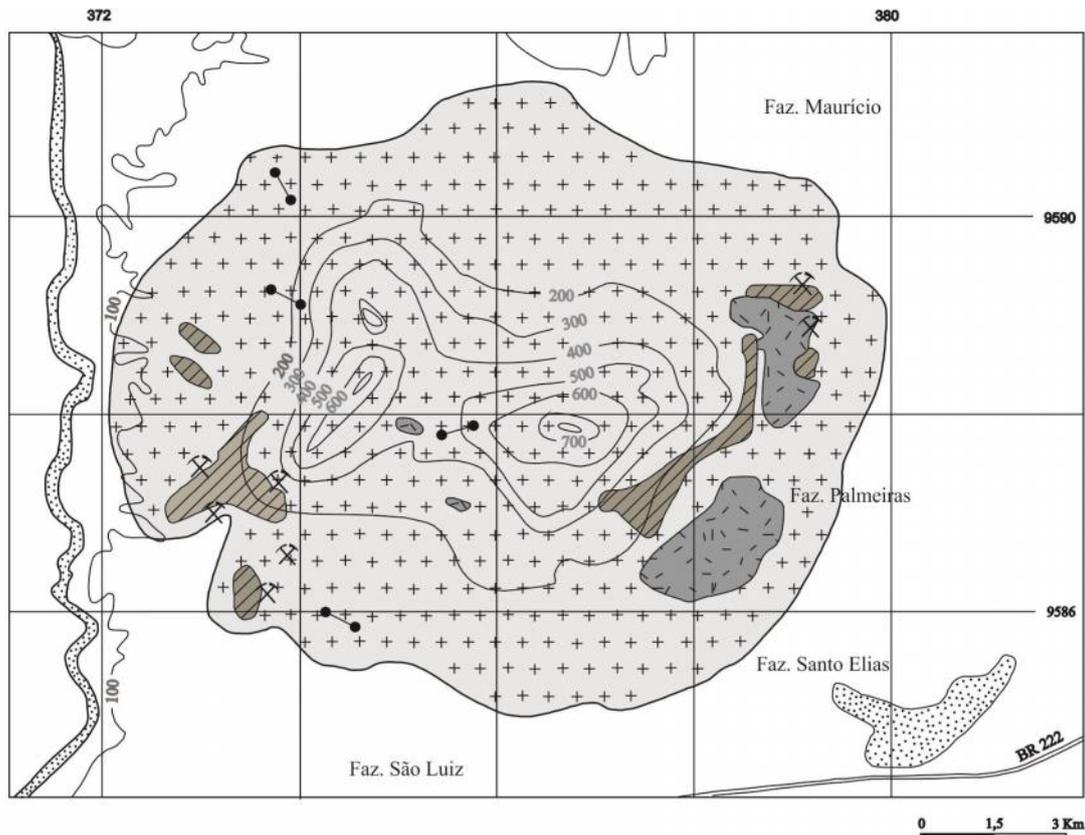
parâmetros petrográficos na qualificação de rochas silicáticas destinadas para revestimentos, motivada pelo incremento na produção brasileira destas rochas e importância que o Brasil vem assumindo no mercado internacional de rochas ornamentais silicáticas. Dentre os estudos brasileiros abordando relações entre aspectos petrofísicos e tecnológicos de granitos ornamentais estão os de Navarro (1998; 2002; 2006), Mesquita (2002), Mattos (2005), Carvalho (2010), Pazeto (2011), Navarro & Artur (2002), Artur et al. (2002; 2008), Meyer et al. (2003). As aplicações destes parâmetros contribuem para uma avaliação preliminar mais segura das características físico-mecânicas das rochas e suas suscetibilidades em relação aos ambientes mais ou menos agressivos a que são sujeitas durante os diferentes usos.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é o de efetuar correlações entre propriedades petrográficas e resultados de caracterização tecnológica obtidos para quatro granitos ornamentais explorados no *stock* granítico Serra do Barriga, do estado do Ceará (Figura 1), comercialmente denominados de Rosa Olinda, Rosa Iracema, Branco Savana e Branco Cristal Quartzito. A correlação entre os referidos resultados visa o melhor entendimento da influência dos aspectos mineralógicos, texturais e estruturais no comportamento tecnológico dos granitos estudados, o que poderá fornecer subsídios para futuras aplicações das propriedades petrográficas na avaliação preliminar de determinadas características físico-mecânicas de rochas ornamentais.

CONTEXTO GEOLÓGICO DO *STOCK* GRANÍTICO SERRA DO BARRIGA

O *stock* granítico Serra do Barriga (Figura 1) está localizado na porção NNW do estado do Ceará, município de Sobral. Constitui um dos diversos corpos graníticos tardi a pós-tectônicos em relação ao Ciclo Brasileiro (CPRM, 1977; Tavares Jr., 1992; Mattos et al., 2003) que intrudiram o embasamento gnáissico-migmatítico pertencente ao segmento crustal denominado Domínio Ceará Central

(DCC). O *stock* apresenta forma arredondada, circunscrita, cujo diâmetro varia entre 6 e 7,5 km com aproximadamente 30 km² de área de exposição. Sua geomorfologia mostra dois picos com cotas topográficas máximas de 662 m e 730 m, que se destacam na topografia tipicamente arrasada da região, e que suportam a Serra do Barriga.



LEGENDA

QUATERNÁRIO

Aluviões

PALEOZÓICO

Suíte Granítica Serra do Barriga

Sienogranito inequigranular de granulação média-grossa de coloração rosa claro (Rosa Iracema)

Sienogranito inequigranular de granulação média-grossa branco a branco acinzentado (Branco Savana e Branco Cristal Quartzo)

Biotita Monzogranito inequigranular de granulação média-grossa a porfírica serial rosa acinzentado (Rosa Olinda)

PROTEROZÓICO

Embasamento cristalino: seqüências metassedimentares e ortoderivadas (Unidades Independência e Canindé).



- Curvas de nível
- Lavra em atividade
- Dique



0 1,5 3 Km

Figura 1 - Mapa geológico simplificado do stock Granítico Serra do Barriga (CE); modificado de Cavalcanti et al. (2003).

O corpo granítico possui caráter polintrusivo, constituído por variedades de sienogranitos e monzogranitos inequigranulares a megaporfíricos com padrões cromáticos bem caracterizados que variam entre tons rosados a esbranquiçados, sendo sua utilização como rocha ornamental amplamente reconhecida pela indústria do setor.

Os granitos da Serra do Barriga, de modo geral, são de granulação média a grossa, localmente megaporfírico serial, hipidiomórficos, compostos por microclínio, quartzo e plagioclásios (albita e oligoclásio; os primeiros tidos como de origem hidrotermal

subsólidas), podendo apresentar como minerais acessórios biotita, hornblenda, apatita, opacos, titanita, allanita e fluorita.

O granito ornamental explorado como Rosa Iracema constitui a faciologia dominante do corpo granítico, sendo que os demais tipos ocorrem de forma circunscrita dentro do arcabouço litológico do primeiro. Os granitos ornamentais brancos comercializados como Branco Savana e Branco Cristal Quartzo afloram como lajedos e nas encostas das elevações. O tipo Rosa Olinda ocorre restrito à porção leste do *stock* Serra do Barriga.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais estudados correspondem a quatro variedades de granitos do *stock* granítico Serra do Barriga (Figura 1) explorados como rochas ornamentais e comercialmente denominados de Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo.

Os ensaios de caracterização tecnológica das amostras foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP - Campus de Rio Claro, e realizados segundo diretrizes estabelecidas pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT ou da American Society for Testing and Materials-ASTM.

A análise petrográfica fundamentou-se na caracterização mineralógica, textural e estrutural dos quatro granitos ornamentais, tomando-se por base as diretrizes gerais da norma ABNT NBR 12.768 (ABNT, 1992a) e as orientações contidas em Rodrigues et al. (1997) e Navarro (1998). Em função da natureza dos estudos, voltados para a avaliação do comportamento físico-mecânico de rochas destinadas a revestimentos em obras civis, especial atenção foi atribuída à disposição e arranjo dos grãos minerais, relações e tipos de contatos entre minerais e alterações/transformações minerais, bem como efetuada a quantificação através de observação ao microscópio petrográfico dos tipos e

densidade de microfissuramentos por área (intragrãos/intergrãos/transgranulares), incluindo também a descrição dos materiais de preenchimento e comunicabilidade das fissuras.

Os ensaios mecânicos (compressão uniaxial; módulo de ruptura; flexão na tração; resistência ao impacto de corpo duro) e resistência à abrasão foram efetuados em corpos-de-prova secos em estufa à 110 °C e saturados em água, tendo por finalidade avaliar o possível *enfraquecimento hidráulico* de cada rocha em relação aos esforços nelas exercidos. O coeficiente de enfraquecimento hidráulico **R**, (Kowalski, 1970; segundo Mesquita, 2002) relaciona a resistência de um material seco e saturado e permite avaliar o efeito da água na resistência dos materiais rochosos. O coeficiente **R** foi calculado para os ensaios de compressão uniaxial, flexores, abrasão Amsler e de impacto de corpo duro, de acordo com a seguinte equação:

$$R = \frac{\text{sat}}{\text{seco}} \times 100,$$

onde seco e sat correspondem à tensão de ruptura do material em estados seco e saturado, respectivamente. O coeficiente **R** expressa, em percentagem, a manutenção da resistência dos materiais pétreos após processos de saturação em água.

ANÁLISE PETROGRÁFICA

Petrograficamente os quatro granitos estudados são bastante similares, caracterizados por determinadas variações texturais, na coloração e/ou tonalidades e na proporção dos minerais máficos que, no conjunto, refletem em distintos padrões estéticos (Figura 2).

Correspondem a variedades de sienogranitos e monzogranitos inequigranulares, de granulação média/grossa a megaporfíricos, com colorações rósea clara a branca. As principais propriedades petrográficas dos granitos estudados encontram-se reunidas na Tabela 1.

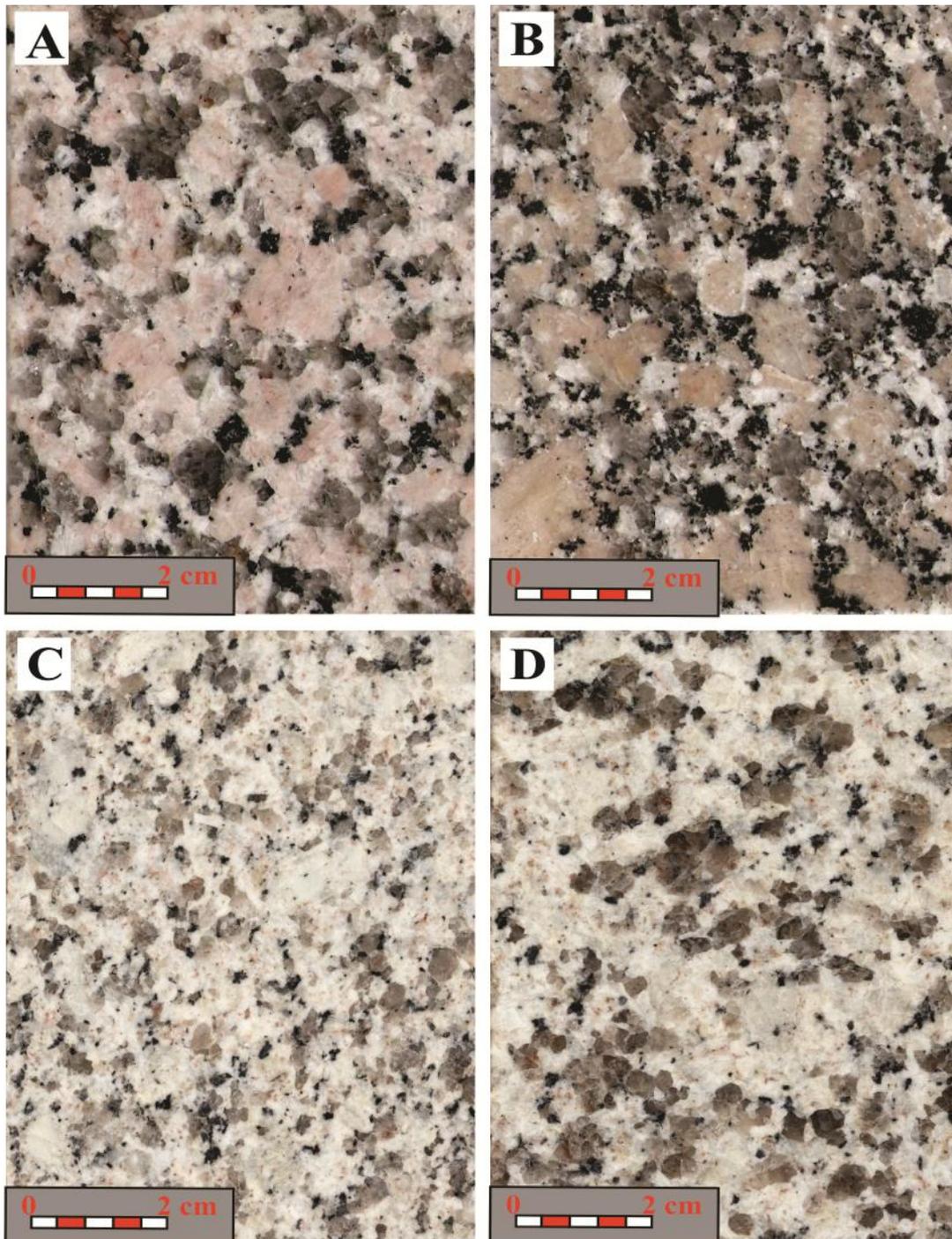


Figura 2 - Fotografias de placas polidas das variedades dos granitos ornamentais do Stock Granítico Serra do Barriga. A - Rosa Iracema; B - Rosa Olinda; C - Branco Savana; D - Branco Cristal Quartzo.

Tabela 1 - Síntese das propriedades petrográficas dos granitos ornamentais do *Stock* Granítico Serra do Barriga.

Propriedades Petrográficas		Rosa Iracema	Rosa Olinda	Branco Savana	Branco Cristal Quartzo
Coloração		Rosa a rosa claro	Rosa acinzentada	Branco acinzentada	Branco acinzentada
Estrutura		Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica
Textura		Inequigranular	Megaporfirítico serial	Inequigranular	Inequigranular
Granulação		Grossa	Matriz Média	Média a Grossa	Média/Grossa
- variação (mm)		1 e 40	2 e 30	1 e 15	1 e 25
- predominância (mm)		5 e 15	4 e 20	3 e 6	4 e 8
Mineralogia (%)	Quartzo	30	28 (5% megacristais)	34	35
	Feldspato potássico (microclínio)	43	36 (15% megacristais)	43	40
	Oligoclásio/Albita	13 / 4,5	19,8 / 2,2 (10% megacristais)	14 / 2	14 / 3
	Biotita	6	10	5	4
	Hornblenda	0,5	0,5	-	-
	Fluorita	Tr	Tr	0,5	0,5
	Titanita, apatita, zircão, opacos, allanita	1	2	0,5	1
	Sericita, muscovita, epidoto, clorita, carbonatos, óxidos/hidróxidos de ferro	2	1,5	1	2,5
Total minerais máficos/pesados (%)		9,5	14,0	7,0	8,0
Micro-fissuras	Total/mm ²	0,24	0,22	0,31	0,25
	Intragrão (%)	93	81	91	94
	Intergrãos/transgranulares (%)	7	19	9	6
	Comunicabilidade	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
*Alteração Mineral	Feldspato K	Incipiente/baixa	Baixa	Moderada/alta	Moderada
	Plagioclásio	Baixa	Baixa	Moderada/alta	Moderada
	Biotita	Moderada/alta	Baixa	Moderada/alta	Moderada/alta
Classificação Petrográfica		Sienogranito inequigranular	Biotita Monzogranito megaporfirítico	Sienogranito inequigranular	Sienogranito inequigranular

* Intensidade de superfícies minerais alteradas. Incipiente: < 10 %; Baixa: entre 10 e 30%; Moderada: entre 30 e 50%; Alta: > 50%.

Granito Rosa Iracema

É um sienogranito róseo inequigranular hipidiomórfico, isotrópico, de granulação grossa (Figura 2A; Tabela 1), com grã oscilando entre 1 mm e 40 mm e predomínio entre 5 e 15 mm, composto por quartzo (30%), microclínio (43%), plagioclásio (13% de oligoclásio; 4,5% de albita), biotita (6,0%), hornblenda (0,5%), além de 1% de zircão, titanita, allanita, apatita, fluorita e opacos como acessórios. Os minerais secundários representados por sericita/muscovita, epidoto, opacos, carbonatos, argilominerais e hidróxidos de ferro perfazem ao redor de 2,0%.

O microclínio representa o mineral com as maiores dimensões, principal responsável pelo aspecto inequigranular do granito. O granito se caracteriza por excelente entrelaçamento mineral, com cerca de 42% de

contatos minerais côncavo-convexos, 34% denteados e 24% planares.

O grau de microfissuramento, apesar da presença de planos relativamente bem desenvolvidos, pode ser considerado baixo, cerca de 0,24 microfissuras/mm², predominantemente do tipo intragrão (93%) em relação ao intergrão (7%), e com baixa intercomunicabilidade. Dentre as microfissuras, 28% são muito curtas, menores que 1 mm; 65% são curtas, entre 1 e 3 mm; 6% apresentam dimensões médias, entre 3 e 6 mm. Apenas 1% são longas, maiores que 6 mm. Cerca de 45% das microfissuras intragrãos apresentam preenchimentos e apenas 7% dos tipos intergrãos se mostram preenchidas por minerais secundários.

Os cristais maiores de microclínio atingem dimensões entre 30 e 40 mm, são

fortemente pertitizados e com intensidades variáveis de sericitização, podendo apresentar inclusões de quartzo, biotita e plagioclásio saussuritizado. O plagioclásio exibe dimensões médias inferiores aos do microclínio, com evidente zoneamento composicional e normalmente com núcleos intensamente saussuritizados. O quartzo forma cristais submilimétricos a cerca de 10 mm, formando, entretanto, agregados que podem atingir até 40 mm. Os cristais de quartzo, sobretudo seus agregados monominerálicos, são os que apresentam a maior frequência de microfissuras dentre os minerais, na maioria das vezes desprovidas de preenchimento.

A biotita forma pequenos agregados lamelares com no máximo 10 mm, fraca a moderadamente cloritizadas. A fluorita ocorre como mineral traço, exclusivamente de modo intersticial.

Granito Rosa Olinda

Diferencia-se dos demais granitos estudados pela sua natureza monzogranítica, discreta textura megaporfírica serial e pelo maior teor de minerais máficos (Figura 2B; Tabela 1). Apresenta coloração rosada, estrutura isotrópica, com megacristais de microclínio prismáticos a ovalados com dimensões entre 20 e 30 mm e mais raramente de plagioclásio com dimensões de 15 a 20 mm imersos numa matriz de granulação média, inequigranular, predominantemente entre 2 a 4 mm. É composto por quartzo (28%), microclínio (36%), plagioclásio (19,8% oligoclásio; 2,2% albita), biotita (10%) e hornblenda (0,5%), além de 2,0% de zircão, titanita, allanita, apatita, fluorita e opacos como acessórios. Os minerais secundários representados por sericita/muscovita, epídoto, opacos, carbonatos, argilominerais e hidróxidos de ferro perfazem ao redor de 1,5%. Apresenta, igualmente, excelente entrelaçamento mineral, com média de 45% de contatos minerais côncavo-convexos, 32% denteados e 23% planares.

O microfissuramento também é baixo, com 0,22 microfissuras/mm², pouco intercomunicáveis, com predomínio de fissuras muito curtas e curtas. Cerca de 11% das microfissuras são menores que 1 mm, 74 % entre 1 e 3 mm e 12 % apresentam extensões

entre 3 e 6 mm, consideradas médias. Apenas 3% são maiores que 6 mm. As microfissuras intragrãos chega a 80% do total e as intergrãos ou transgranulares 20%, sendo que cerca de 75% das intragrãos se mostram sem preenchimentos e as intergrãos na maioria das vezes preenchidas por sericita.

Os fenocristais de microclínio perfazem aproximadamente 15% do volume da rocha e se caracterizam por intensa pertitização, contendo inclusões de plagioclásio saussuritizado, quartzo e mica branca. Exibem com frequência manchas amarronzadas dadas pela pigmentação de hidróxido ferro sobre porções mais intensamente sericitizadas e argilizadas.

O plagioclásio (oligoclásio) apresenta dimensões médias menores que as do microclínio, com albita essencialmente intersticial. O oligoclásio ocorre na matriz e como megacristais (cerca de 10% do volume da rocha), sendo que 60 a 70% dos megacristais apresentam núcleos alterados para mica branca e argilominerais.

Os cristais de quartzo ocorrem como megacristais anédricos (cerca de 5% da rocha) e como agregados monominerálicos arredondados a irregulares com dimensões de até 20 mm. Os cristais maiores apresentam evidente microfissuramento intragrão e os agregados exibem contatos internos um tanto frouxos, muitas vezes demarcados por discreta presença de fina massa sericítica e/ou pela disseminação de óxidos e hidróxidos de ferro com tonalidades avermelhadas.

A biotita forma agregados lamelares com dimensões de até 10 mm, parcialmente cloritizadas e/ou muscovitizadas. Os agregados de biotita contém, com frequência, cristais de allanita, titanita, zircão, opacos, rutilo e apatita, além de fluorita intersticial. A hornblenda constitui cristais anédricos com bordas intensamente corroídas, parcialmente transformados para biotita.

Granito Branco Savana

Ocorre nas porções leste, sudeste e sudoeste do *stock* granítico. É um sienogranito de coloração branco acinzentada com textura mais homogênea e granulação média pouco inferior em relação aos demais granitos (Figura 2C; Tabela 1). Apresenta estrutura isotrópica, textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica

a xenomórfica, com granulação milimétrica a 15 mm, predominando dimensões entre 3 a 6 mm. É constituído por quartzo (34%), microclínio (43%), plagioclásio (14% oligoclásio; 2% albita), biotita (5%), além de traços de zircão, titanita, allanita, apatita, fluorita e opacos como acessórios. Os minerais secundários sericita/muscovita, epídoto, opacos, carbonatos, argilominerais e hidróxidos de ferro perfazem cerca de 1,0%. A rocha apresenta um excelente entrelaçamento mineral, com cerca de 80% dos contatos do tipo côncavo-convexo e interpenetrados. Os contatos do tipo plano representam 20% do total, essencialmente entre cristais de quartzo e de feldspatos, bem como em agregados maiores de quartzo microgranulados.

Apresenta o maior grau de microfissuramento dentre os quatro granitos, com 0,31 microfissuras/mm². Deste total, 20% são menores que 1 mm, 70% entre 1 e 3 mm e 10% apresentam tamanho médio, entre 3 e 6 mm. As fraturas maiores que 6 mm correspondem 0,5% da média e na maioria das vezes desprovidas de preenchimentos. Cerca de 90% das microfissuras são do tipo intragrão, com 53% delas sem preenchimentos.

O microclínio compõe os cristais com as maiores dimensões, na média entre 4 e 6 mm, podendo atingir até cerca de 15 mm. Os cristais com dimensões acima de 10 mm são mais intensamente pertitizados, dos tipos filmes, veios e manchas, e com intensidades variáveis de sericitização, por vezes demarcando linhas de zoneamento. Os cristais de plagioclásio podem atingir dimensões entre 10 e 20 mm e exibem marcante zoneamento composicional. O quartzo ocorre tanto intersticialmente quanto constituindo cristais com até 5 mm ou em agregados irregulares a alongados que podem ultrapassar a 15 mm. Os agregados e/ou cristais mais desenvolvidos de quartzo são os que apresentam o maior grau de microfissuramento, predominantemente do tipo intragrão.

O grau de alteração mineral é relativamente elevado, com destaque para cristais de plagioclásio com mais de 40% de suas superfícies saussuritizadas. Efeitos de arigilização em cristais de feldspato potássico e de plagioclásio acentuam-se, sobretudo, nas pertitas e nas inclusões de albita, ocasiões que podem abranger entre 30 e 60% das áreas dos

cristais. Localmente, cristais de feldspatos encontram-se totalmente substituídos por uma fina massa “criptocristalina” composta por sericita/muscovita, carbonatos, epídoto e hidróxidos de ferro.

Granito Branco Cristal Quartzo

É o tipo petrográfico com a menor área de exposição dentre os quatro granitóides. Os afloramentos conhecidos associam-se aos do tipo Branco Savana, não tendo sido possível separá-los cartograficamente. Trata-se de um sienogranito branco a branco acinzentado, isotrópico, inequigranular hipidiomórfico a xenomórfico de granulação média a grossa (Figura 2D; Tabela 1). A granulação oscila entre milimétrica e cerca de 25 mm, predominando dimensões entre 4 e 8 mm. É constituído por quartzo (35%), microclínio (40%), plagioclásio (14% oligoclásio; 3% albita), biotita (4%), e 1% de zircão, titanita, allanita, apatita, fluorita e opacos. Os minerais secundários sericita/muscovita, epídoto, opacos, carbonatos, argilominerais e hidróxidos de ferro perfazem ao redor de 2,5%. O granito, como os anteriores, apresenta bom entrelaçamento mineral, com 45% dos contatos do tipo côncavo-convexo e 34% do tipo interpenetrado. Os contatos do tipo plano representam ao redor de 20% e ocorrem basicamente entre os cristais de quartzo e os de feldspatos.

Apresenta 0,25 microfissuras/mm², com aproximadamente 94% do tipo intragrão e 6% intergrãos ou transgranulares, com baixa intercomunicabilidade e sem orientação preferencial. Deste total, 58% das microfissuras são menores que 1 mm; 35% entre 1 a 3 mm; e, 6% apresentam extensões entre 3 e 6 mm, consideradas médias. Apenas 1% são longas, maiores que 6 mm. Do total de microfissuras observadas, 37% dos tipos intragrãos estão preenchidas e apenas 2% das intergrãos e transgranulares mostram preenchimentos. O quartzo é o mineral com a maior frequência de microfissuras intragrão, seguidas pelos cristais maiores de feldspato potássico.

Os cristais de microclínio apresentam dimensões seriadas, entre alguns milímetros e cerca de 30 mm, sendo que os de maiores dimensões representam 10% do volume da rocha. No geral são intensamente pertitizados

(dos tipos filmes, veios e manchas), com moderado grau de sericitização e transformações parciais para argilominerais. Os cristais de plagioclásio melhores desenvolvidos, entre 10 e 15 mm de extensão, mostram, igualmente, grau de saussuritização moderado.

O quartzo se apresenta de forma muito similar à observada nos tipos graníticos

anteriormente descritos. Constitui cristais com dimensões desde submilimétricas a cerca de 10 mm, formando, com certa frequência, agregados que podem atingir até 20 mm. A biotita ocorre em pequenos agregados lamelares de dimensões submilimétricas a cerca de 5 mm, frequentemente transformadas para clorita e, menos frequentemente, para muscovita.

RESULTADOS TECNOLÓGICOS E CORRELAÇÃO COM PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS

Os resultados físicos e mecânicos médios obtidos para as rochas estudadas estão reunidos na Tabela 2. Os resultados mostram que as quatro variedades graníticas apresentam comportamentos tecnológicos bastante similares, cujas diferenças dos valores médios

de suas respectivas propriedades físicas e mecânicas se situam, na maioria das vezes, dentro dos elevados intervalos dos coeficientes de variação da dispersão dos resultados físicos e mecânicos dos conjuntos de corpos-de-prova ensaiados.

Tabela 2 - Síntese dos resultados físico-mecânicos (com respectivos desvios padrões) dos quatro tipos de granitos ornamentais do *stock* Serra do Barriga.

Ensaio/Materiais		ROSA IRACEMA		ROSA OLINDA		BRANCO SAVANA		BRANCO CRISTAL QUARTZO	
Índices Físicos	Massa específica seca (kg/m ³)	2.619 ±0,003		2.632 ±0,005		2.614 ±0,004		2.616 ±0,003	
	Massa específica saturada (kg/m ³)	2.628 ±0,002		2.641 ±0,004		2.623 ±0,003		2.624 ±0,004	
	Porosidade aparente (%)	0,87 ±0,03		0,88 ±0,04		0,91 ±0,06		0,80 ±0,06	
	¹ Coefficiente de Variação (%)	3,4		4,5		6,6		7,5	
	Absorção d' água (%)	0,33 ±0,01		0,33 ±0,02		0,35 ±0,02		0,31 ±0,02	
	¹ Coefficiente de Variação (%)	3,0		6,1		5,7		6,4	
Ensaio/Condições Ensaio		seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)		146,3±18	126,9 ±9	145,2 ±17	125,1 ±7	168,6 ±18	152,0 ±18	178,0 ±13	175,9 ±8
¹ Coefficiente de Variação (%)		12,3	7,0	11,7	5,6	10,6	11,8	7,2	4,5
² Coefficiente Enfraquecimento Hidráulico (%)		86,7		86,2		90,2		98,8	
Resistência à Flexão 3 Pontos (MPa)		10,4 ±0,7	11,1 ±1,7	11,8 ±3,7	12,1 ±2,4	10,2 ±2,1	9,9 ±2,4	8,5 ±0,8	9,8 ±2,3
¹ Coefficiente de Variação (%)		6,7	15,3	31,3	19,8	20,5	24,2	9,4	23,4
² Coefficiente Enfraquecimento Hidráulico (%)		105,7		102,5		97,2		114,2	
Resistência à Flexão 4 Pontos (MPa)		8,8 ±0,9	8,5 ±0,8	9,3 ±1,3	7,3 ±2,3	7,0 ±1,1	6,5 ±1,1	7,7 ±0,8	7,2 ±0,9
¹ Coefficiente de Variação (%)		10,2	9,4	13,9	31,5	15,7	16,9	10,3	12,5
² Coefficiente Enfraquecimento Hidráulico (%)		97,3		78,0		92,3		93,9	
³ Vp (m/s)	Corpos-de-prova Compr. Uniaxial	4781 ±172	6003 ±130	4918 ±217	5564 ±118	4732 ±323	5513 ±487	4448 ±15	5532 ±26
	¹ Coefficiente de Variação (%)	3,6	2,1	4,4	2,1	6,8	8,8	0,3	0,5
	Corpos-de-prova Flexão 3 Pontos	4245 ±258	5436 ±297	4841 ±68	5721 ±31	4312 ±387	5218 ±440	4047 ±147	4881 ±137
	¹ Coefficiente de Variação (%)	6,0	5,4	1,4	0,5	8,9	8,4	3,6	2,8
	Corpos-de-prova Flexão 4 Pontos	4170 ±136	5063 ±60	4660 ±214	5497 ±17	3610 ±147	4255 ±225	3837 ±98	4601 ±102
	¹ Coefficiente de Variação (%)	3,2	1,2	4,5	0,3	4,1	5,3	2,5	2,2
Vp Médio		4398	5500	4806	5594	4218	4995	4110	5004
Desgaste Abrasivo Amsler (mm)		0,49 ±0,02	0,61 ±0,02	0,51 ±0,02	0,64 ±0,01	0,45 ±0,04	0,54 ±0,03	0,52 ±0,00	0,63 ±0,16
¹ Coefficiente de Variação (%)		4,1	3,2	3,9	1,5	8,8	5,5	0,0	25,3
² Coefficiente Enfraquecimento Hidráulico (%)		80,3		80,0		83,3		82,5	
Resistência Impacto de Corpo Duro (m)		0,65 ±0,07	0,56 ±0,04	0,52 ±0,04	0,56 ±0,05	0,56 ±0,06	0,59 ±0,04	0,62 ±0,08	0,64 ±0,08
¹ Coefficiente de Variação (%)		10,7	7,1	7,7	9,6	10,7	6,8	12,9	12,5
² Coefficiente Enfraquecimento Hidráulico (%)		86,1		107,7		105,3		103,3	
Dilatação térmica linear (10 ⁻³ mm/m°C)	⊥ à corrida	6,3		6,8		7,3		6,0	
	// à corrida	5,8		5,5		5,5		5,7	

¹ Coeficiente de variação: (desvio padrão/média dos resultados dos ensaios) x 100

² Coeficiente Enfraquecimento Hidráulico: (saturado/ seco) x 100. Obs.: para desgaste abrasivo Amsler - (seco/ saturado) x 100

³ Vp: Velocidade de ondas ultrassônicas longitudinais

Tal comportamento deve-se, igualmente, às similaridades petrográficas dos granitos estudados, onde pequenas diferenças nas propriedades físico-mecânicas podem ser explicadas por discretas

variações texturais e nas proporções minerais, principalmente relacionadas aos teores de minerais máficos.

Índices Físicos

Os índices físicos, obtidos em conformidade com a norma ABNT NBR 12.766 (ABNT, 1992b), compreendem a massa específica seca e saturada, porosidade aparente e absorção d'água. Os resultados (Tabela 2) superam os valores médios sugeridos pela norma ABNT NBR 15844 (2010) como requisitos para granitos, ou seja, apresentam valores de porosidade aparente <1%, absorção de água <0,4% e massa específica seca >2.560kg/m³.

Observa-se, em termos gerais, que as quatro variedades graníticas apresentam valores dos referidos índices bastante próximos entre si, o que estaria coerente com as respectivas similaridades petrográficas destes materiais. As pequenas diferenças nos valores da massa

específica (Tabela 2; Figura 3) se relacionam às variações dos teores de minerais pesados (densidades superiores a 2,8) representados pela hornblenda, biotita, opacos, titanita, allanita e apatita, além de minerais secundários como clorita, muscovita/sericita, epídoto e carbonatos. A variedade Rosa Olinda com a maior massa específica (2.632 kg/m³) é a detentora do maior teor de minerais pesados (14%), ao passo que o Rosa Iracema com massa específica 2.619 kg/m³ apresenta 9,5% de minerais pesados e as variedades Branco Savana (2.614 kg/m³) e Branco Cristal (2.616 kg/m³) apenas 7% e 8%, respectivamente, além de corresponderem aos tipos petrográficos mais quartzosos (entre 34 e 35%).

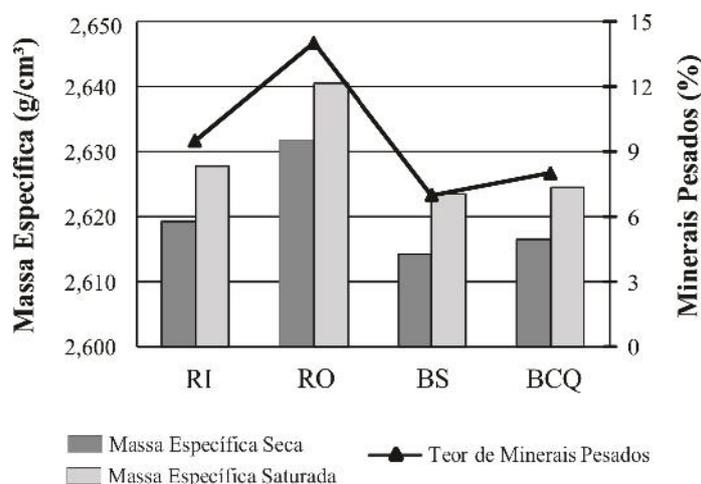


Figura 3 - Correlação entre massas específicas secas e saturadas em água versus teor de minerais pesados. RI - Rosa Iracema; RO - Rosa Olinda; BS - Branco Savana; BCQ - Branco Cristal Quartzoso.

Os índices de porosidade entre 0,80% e 0,91% e absorção d'água entre 0,31% e 0,35% (Figura 4), relativamente elevados para rochas graníticas, estariam relacionados à granulação grossa, ao grau do microfissuramento e da intensidade de alteração dos minerais. Dentre eles, o granito Branco Savana com os maiores índices de porosidade (0,91%) e de absorção d'água (0,35%) é o que apresenta a maior intensidade de microfissuramento mineral (0,31 microfissuras/mm², contra 0,22 e 0,25

microfissuras/mm² para os demais granitos), bem como pelo fato de suas microfissuras intergrãos e transgranulares se mostrarem preferencialmente desprovidas de preenchimentos e por apresentar cristais de feldspatos mais intensamente transformados para minerais secundários. Parte dos seus cristais de plagioclásio apresentam até 40% das superfícies saussuritizadas e os de microclínio intensamente pertitizados, com cerca de 30 a 60% das superfícies alteradas

para fina massa sericítica, parcialmente argilizadas. Já o Branco Cristal Quartzo, com os menores índices de porosidade (0,80%) e de absorção d'água (0,31%) é o que apresenta a maior porcentagem de microfissuras intragrãos

(94% do total) e a menor de microfissuras intergrãos a transgranulares (apenas 6%), o que lhe proporciona menor comunicabilidade de sua rede porosa.

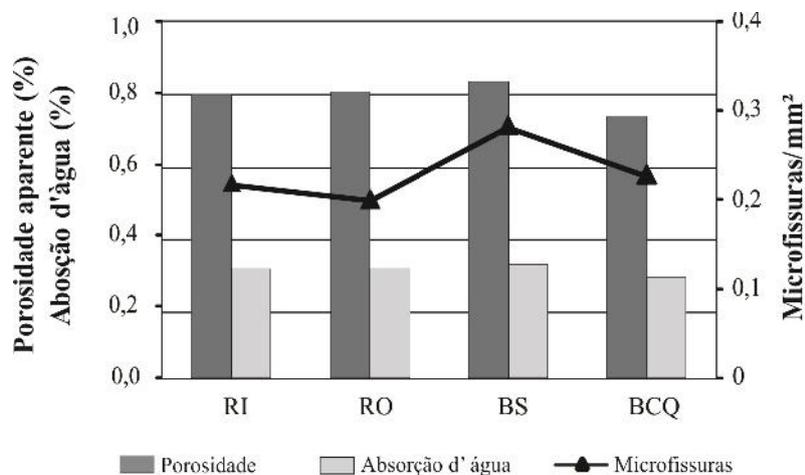


Figura 4 - Correlação entre porosidade e absorção d'água versus microfissuramento. RI - Rosa Iracema; RO - Rosa Olinda; BS - Branco Savana; BCQ - Branco Cristal Quartzo.

Resistência à Compressão Uniaxial

Trata-se de um índice de qualidade mecânica, cujos valores obtidos fornecem uma indicação da resistência da rocha ao esforço compressivo através da determinação do valor máximo de tensão que a rocha suporta antes de sua ruptura. Valores elevados de resistência à compressão geralmente implicam em valores baixos de porosidade e altos de resistência à esforços flexores.

Os ensaios foram realizados em dois conjuntos de corpos-de-prova, sendo um deles sob condições secas em estufa a 110 °C por 24 h e outro após saturação em água obtida sob vácuo em dessecador com corpos-de-prova imersos em água por 3h, após o qual suas superfícies foram enxugadas com pano úmido e em seguida submetidos aos ensaios. Os ensaios foram realizados segundo procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 12767 (ABNT, 1992c).

Todos os granitos apresentaram resistência à compressão uniaxial, tanto sob condições secas quanto saturadas em água (Tabela 2), que superaram com boa margem os

100 MPa requerido pela norma ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010) como um dos requisitos para granitos para revestimentos.

Os resultados médios obtidos (Tabela 2; Figura 5) mostram que os granitos brancos Savana e Cristal Quartzo são pouco mais resistentes aos esforços compressivos, com destaque para o Branco Cristal Quartzo, quando comparados aos granitos Rosa Iracema e Rosa Olinda. Esta constatação se confirma mesmo considerando-se os valores relativamente elevados dos coeficientes de variação da dispersão das tensões de ruptura dos corpos-de-prova que se situam entre 10,6% e 12,3% para condições de corpos-de-prova secos e entre 4,5% e 11,8% em condições saturadas. Observa-se, também, que a resistência à compressão em condições saturadas diminui para todos os granitos (Figura 5), sobretudo para os tipos rosa que apresentam índices **R** de 86,7% e 86,2%, indicando, respectivamente, um decaimento da resistência mecânica da ordem de 13,3% e 13,8%.

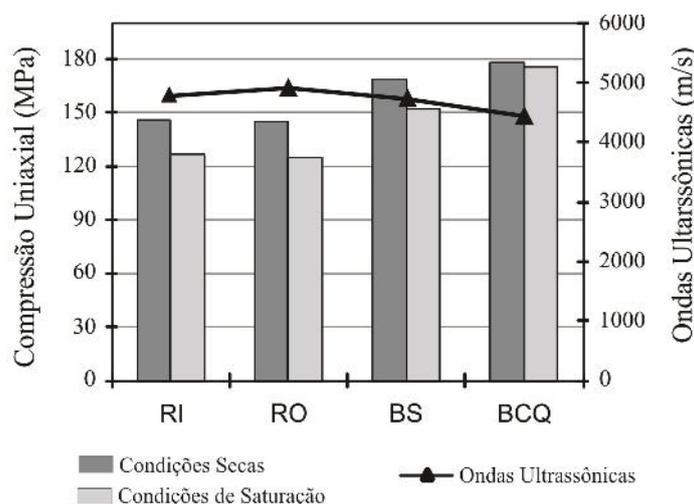


Figura 5 - Correlação entre resistência à compressão uniaxial das rochas sob condições secas e saturadas em água versus propagação de ondas ultrassônicas. RI - Rosa Iracema; RO - Rosa Olinda; BS - Branco Savana; BCQ - Branco Cristal Quartzo.

As menores resistências sob condições secas dos granitos Rosa Iracema (146,3 MPa) e Rosa Olinda (145,2 MPa) em relação aos granitos brancos Savana (168,6 MPa) e Cristal Quartzo (178 MPa), bem como para os maiores decaimentos das resistências sob condições saturadas para os primeiros, da ordem de 13%, contra 1,8 e 9,8% para os brancos, devem-se, provavelmente, aos aspectos texturais das referidas rochas. Assim, o granito Rosa Iracema apresenta a maior granulação com cristais de feldspato potássico e de quartzo com dimensões entre 30 e 40 mm em uma massa inequigranular com grã média entre 5 e 15 mm e o granito Rosa Olinda textura megaporfirítica com megacristais de feldspato potássico com dimensões entre 20 e 30 mm imersos em matriz de grã predominantemente entre 2 e 4 mm. Já os granitos brancos apresentam aspectos texturais mais homogêneos e granulação média pouco inferior aos dos tipos rosa, com predomínio entre 3 e 6 mm para o Branco Savana e entre 4 e 8 mm para o Cristal Quartzo, bem como menor conteúdo de cristais de feldspatos e de quartzo com dimensões seriadas que atingem entre 15 e 25 mm.

O maior decaimento da resistência do granito Branco Savana sob condições saturadas, da ordem de 9,8% (conforme coeficiente **R** de 90,2%), em relação ao Branco Cristal Quartzo com decaimento de apenas 1,2% (coeficiente **R** de 98,8%) se relacione, em grande parte, aos seus maiores valores de porosidade, absorção d'água, grau de microfissuramentos e alteração mineral (Tabelas 1 e 2), que, no conjunto, são

responsáveis por conduzirem a um enfraquecimento relativo da rocha.

No tocante à propagação das ondas ultrassônicas obtidas em corpos-de-prova sob condições secas (Tabela 2; Figura 5), a maior velocidade fornecida pelo Rosa Olinda está coerente com suas maiores massa específica (densidade) e teor de minerais máficos (14%). Já as menores velocidades exibidas pelos granitos Branco Savana e Cristal Quartzo em relação aos tipos rosa devem-se, principalmente, a maior intensidade de alteração deutérica dos cristais de feldspatos e de biotita (moderada/alta) e menores taxas de minerais máficos e pesados (entre 7 e 8%) dos granitos brancos.

Resistência à Esforços Flexores

Inclui módulo de ruptura (resistência à flexão 3 Pontos) e flexão na tração (resistência à flexão 4 Pontos). Os ensaios foram realizados em condições secas e saturadas e executados segundo diretrizes das normas ABNT NBR 12763 (ABNT, 1992d) e ASTM C880 (ASTM, 2005), respectivamente.

Os resultados médios obtidos (Tabela 2; Figuras 6 e 7) mostram que, ao contrário do verificado para a compressão uniaxial com valores de resistência bem acima do mínimo estabelecido como requisito, os granitos apresentam valores de resistências aos esforços flexores 3 e 4 Pontos no limite e pouco inferiores aos 10 MPa e 8 MPa respectivamente exigidos como requisitos mínimos pela norma da ABNT NBR15844 (2010). Assim, os valores

médios para a flexão 3 Pontos se situam entre 8,5 e 11,8 MPa para ensaios em corpos-de-prova em condições secas e entre 9,8 e 12,1 MPa para corpos de-prova saturados em água.

Para a flexão 4 Pontos os valores são entre 7,0 e 9,3 MPa para condições secas e entre 6,5 e 8,5 MPa para condições saturadas.

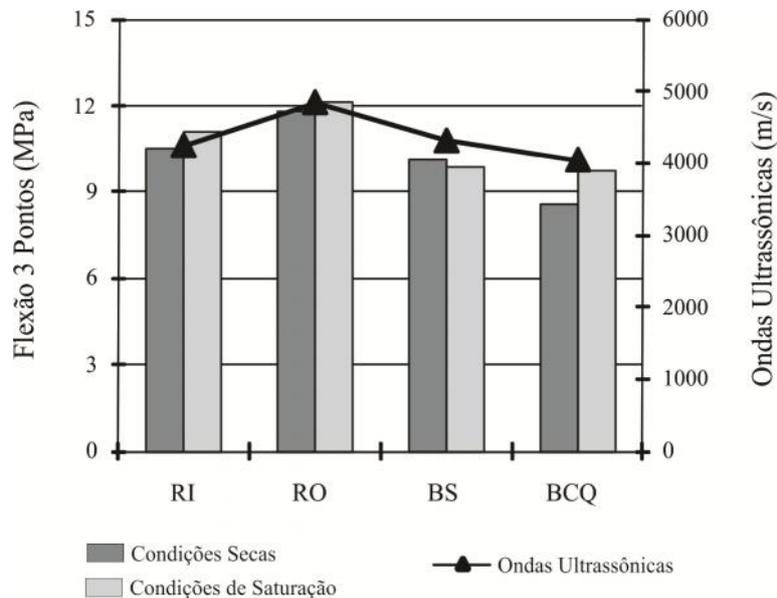


Figura 6 - Correlação entre resistência à Flexão 3 Pontos das rochas sob condições secas e saturadas em água versus propagação de ondas ultrassônicas. RI - Rosa Iracema; RO - Rosa Olinda; BS - Branco Savana; BCQ - Branco Cristal Quartzzo.

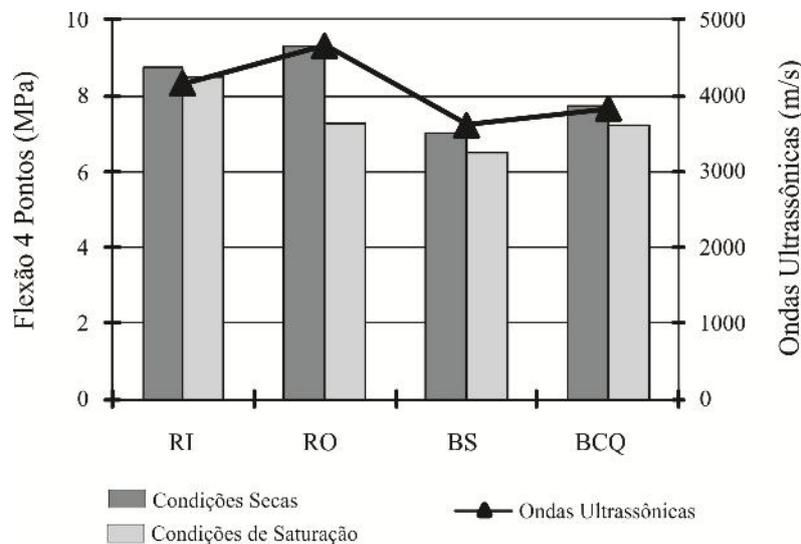


Figura 7 - Correlação entre resistência à Flexão 4 Pontos das rochas sob condições secas e saturadas em água versus propagação de ondas ultrassônicas. RI - Rosa Iracema; RO - Rosa Olinda; BS - Branco Savana; BCQ - Branco Cristal Quartzzo.

Os resultados dos esforços flexores permitem, ainda, outras considerações gerais no tocante ao comportamento dos referidos granitos, com destaque para:

- os elevados valores dos coeficientes de variação da dispersão das tensões de ruptura dos corpos-de-prova apresentados pelos respectivos granitos (Tabela 2), com intervalos

entre 6,7 e 31,3% para os ensaios de flexão 3 Pontos e entre 9,4 e 31,5% para os ensaios de flexão 4 Pontos;

- o fato dos granitos brancos apresentarem, diferentemente do verificado para o caso da compressão uniaxial, valores médios de resistências aos esforços flexores menores que os exibidos pelos granitos rosa.

Tais disparidades no comportamento mecânico se devem, conforme abaixo discutido de forma mais detalhada, à heterogeneidade textural (granulação grossa; textura inequigranular) desses granitos, fator este considerado como principal responsável pelos elevados valores dos coeficientes de variação da dispersão das tensões de ruptura (Tabela 2) apresentados pelos respectivos conjuntos de corpos-de-prova;

- os resultados para flexão 3 Pontos em condições saturadas forneceram, ao contrário do esperado, valores de resistência maiores que sob condições secas para três dos granitos (Rosa Iracema; Rosa Olinda; Branco Cristal Quartzo), e menor para o Branco Savana, com percentagens de coeficientes de enfraquecimento hidráulico de 97,2 para este último e entre 102,5 e 114,2% para os três primeiros (Tabela 2), indicando, portanto, decaimento de 2,8% para o Branco Savana e aumento de resistência entre 2,5 e 14,2% para os demais. Esta diferença no comportamento dos granitos é minimizada quando se leva em consideração os elevados coeficientes de variação da dispersão das tensões de ruptura dos corpos-de-prova, respectivamente de 20,5% sob condições secas e 24,2% sob condições saturadas para o granito Branco Savana e entre 6,7 e 31,3% sob condições e entre 15,3% e 23,4% para os demais granitos;

- já para a flexão 4 Pontos, todos granitos apresentam decaimentos nas resistências mecânicas sob condições de saturação em água, com coeficientes de enfraquecimento hidráulico entre 78% e 97,3%, indicando, portanto, decaimentos mecânicos entre 2,7% e 22%.

Em síntese, a comparação entre os resultados médios das resistências aos esforços flexores e os correspondentes intervalos dos coeficientes de variação da dispersão das tensões de ruptura dos conjuntos de corpos-de-prova (Tabela 2) mostram que estes últimos exibem valores percentuais superiores aos dos intervalos das resistências mecânicas fornecidas pelos respectivos granitos, tanto para o caso dos ensaios de flexão 3 Pontos quando para os resultados dos ensaios de flexão 4 Pontos. A mesma situação se verifica em relação aos intervalos dos coeficientes de enfraquecimento hidráulico e as respectivas percentagens dos

coeficientes de variação da dispersão das tensões de ruptura dos corpos-de-prova sob condições secas e saturadas.

Tais comportamentos podem ser considerados como devidos à granulação relativamente grossa e inequigranular exibida pelos referidos granitos. A granulação grossa, além de influenciar na representatividade dos corpos-de-prova utilizados na realização dos ensaios, conduz a interfaces minerais mais frouxas, grau de microfissuramento intragrãos mais pronunciado e na presença de planos de clivagens bem mais evidentes e melhores desenvolvidos nos cristais maiores de feldspato potássico, o que, no conjunto, levam a uma redução da resistência mecânica das rochas.

No presente caso, a relação granulação *versus* representatividade dos corpos-de-prova pode ser considerado como o principal fator responsável pelos elevados coeficientes de variação da dispersão das tensões de ruptura dos conjuntos de corpos-de-prova utilizados nos ensaios de resistência aos esforços flexores. Esta relação torna-se evidente quando se compara a dimensão e formato do corpo-de-prova utilizado para a determinação da resistência à flexão 4 Pontos (prisma com 38 x 10 x 3 cm) com as respectivas granulações dos granitos estudados. Neste contexto, os granitos apresentam texturas marcadamente inequigranulares com variados teores de cristais de feldspatos e de quartzo com dimensões que oscilam entre 1,5 e 4,0 cm, chegando, portanto, a superar a própria espessura dos referidos corpos-de-prova. Há, ainda, de se considerar que o aspecto inequigranular acarreta em certa heterogeneidade textural para os granitos, o que se reflete em corpos-de-prova com diferentes proporções entre granulação mais fina e mais grossa com conseqüentes variações nas respectivas resistências mecânicas.

Determinados aspectos texturais e mineralógicos ainda atuam como fatores determinantes no comportamento mecânico sob esforços flexores entre os conjuntos dos granitos estudados. Assim, as resistências médias pouco menores dos granitos brancos em relação aos tipos rosa (Tabela 2; Figuras 6 e 7) são, em grande parte, corroboradas pelo grau de microfissuramento pouco mais elevado que o apresentado pelos granitos rosa e principalmente pela maior intensidade da

alteração mineral (moderada/alta), com destaque para cristais de plagioclásio com mais de 40% de suas superfícies saussuritizadas e pronunciados efeitos de argilização sobre parte dos cristais de microclínio, chegando por vezes abranger entre 30 e 60% das áreas dos cristais. No caso do granito Branco Savana, com a menor resistência à flexão 4 Pontos dentre os granitos estudados (7 MPa em condições secas e 6,5 MPa em condições de saturação), a alteração mineral é ainda mais intensa, com a presença de cristais de feldspatos totalmente substituídos por fina massa “criptocristalina” composta por sericita/muscovita, carbonatos, epidoto e hidróxidos de ferro.

Os valores médios de resistências à flexão 4 Pontos obtidos para estes granitos sob condições secas e saturadas (entre 7,3 e 9,3 MPa para os tipos rosa e entre 6,5 e 7,7 MPa para os brancos), situam estas rochas no limite e abaixo do valor mínimo de 8 MPa requerido como requisito para granitos. Este fato alerta para a necessidade de certos cuidados na utilização dos referidos granitos brancos em determinados tipos de revestimentos verticais como, por exemplo, aumentando-se a espessura da placa a fim de se obter uma maior resistência à flexão do material.

A propagação das ondas ultrassônicas (Figuras 6 e 7), obtidas em corpos-de-prova em condições secas, mostram boa correlação com

os valores de resistências aos esforços flexores fornecidos pelos granitos, ou seja, mais velozes para os granitos rosa com maiores resistências, e no conjunto por apresentarem os maiores teores de minerais máficos e menores intensidades de alteração mineral e no grau de microfissuramento em relação aos granitos brancos.

Desgaste Abrasivo Amsler

Este ensaio avalia a resistência de desgaste abrasivo da rocha em função de uma relação direta entre sua composição mineralógica, grau de dureza, granulação, arranjo e coesão de seus minerais. É um indicador de qualidade importante para rochas aplicadas como revestimento em áreas de tráfego intenso.

Os ensaios de abrasão foram realizados em corpos-de-prova secos e saturados em água (Tabela 2; Figura 8), e executados de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 12042 (ABNT, 1992e). A saturação (condição não prevista pela norma acima citada) foi obtida sob vácuo em dessecador com os corpos-de-prova imersos em água por 3h, sendo após este período enxugados com pano úmido para se retirar o excesso de água de suas superfícies e, em seguida, submetidos ao teste de resistência à abrasão no equipamento Amsler.

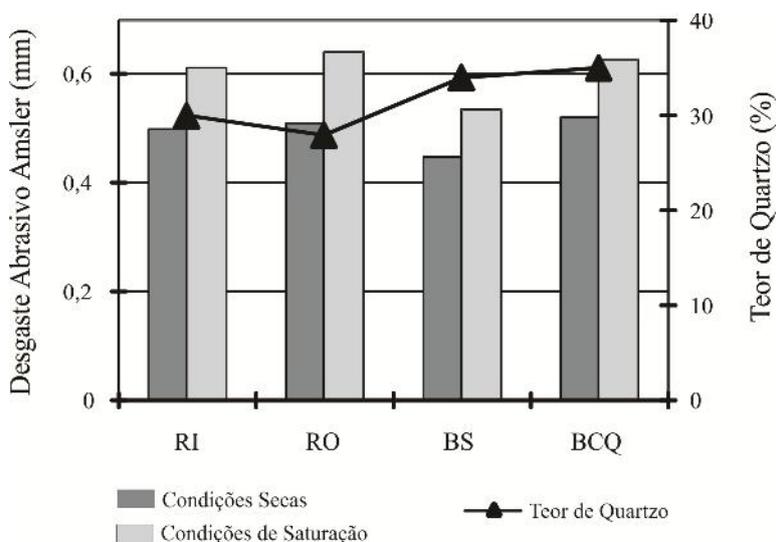


Figura 8 - Correlação entre resistência ao desgaste abrasivo Amsler das rochas sob condições secas e saturadas em água versus teor de quartzo. RI - Rosa Iracema; RO - Rosa Olinda; BS - Branco Savana; BCQ - Branco Cristal Quartzito.

Os valores obtidos para os granitos em estado seco (entre 0,45 mm e 0,54 mm), bem como para os obtidos em condições saturadas (entre 0,54 e 0,64), qualificam as quatro variedades graníticas como bastante resistentes à abrasão tendo em vista que exibem desgastes abaixo do valor de 1,0 mm requerido pela norma ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010).

Com exceção do granito Branco Cristal Quartzo que apresenta para os corpos-de-prova saturados um coeficiente de variação da dispersão dos valores de desgaste da ordem de 25,3%, os demais apresentam coeficientes de variação relativamente baixos, entre 0,0 e 8,8%. A maior disparidade apresentada pelo Branco Cristal Quartzo pode refletir diferentes proporções dos teores de feldspatos e quartzo nas superfícies dos corpos-de-prova submetidos aos testes de abrasão; possibilidade esta bastante plausível tendo em vista a granulação grossa destes granitos e as reduzidas dimensões das superfícies dos corpos-de-prova (prismas de 7 x 7 cm) submetidas aos testes. Já, em condições de saturação todos os granitos apresentam decaimentos da ordem de 20% na resistência abrasiva, conforme respectivos coeficientes de enfraquecimento hidráulico situados na casa dos 80%.

A resistência média pouco superior apresentada pelo granito Branco Savana em relação aos demais granitos (Figura 8), e principalmente em relação ao Branco Cristal Quartzo com teor de quartzo similar, pode, em grande parte, se relacionar à sua granulação geral pouco menor (Figura 2), o que normalmente conduz a um melhor imbricamento mineral.

Em termos gerais, pode-se dizer que os valores médios dos desgastes apresentados pelos granitos estudados se situam pouco acima do normal para rochas graníticas isotrópicas, basicamente constituídas por minerais de elevadas durezas como quartzo e feldspatos, respectivamente com durezas 7 e 6 na escala de Mohs. Por outro lado, os resultados obtidos podem ser considerados como coerentes pelo fato dos granitos estudados exibirem texturas inequigranulares, com granulações médias a grossas. Rochas com granulação grossa tendem a apresentar contatos minerais mais frouxos, cristais de quartzo com microfissuramento mais pronunciado e de feldspato potássico mais

intensamente pertitzados e planos de clivagens mais abertos, além de cristais de plagioclásio com núcleos mais intensamente saussuritizados, que no conjunto conduzem a desgastes abrasivos pouco mais elevados que rochas composicionalmente similares, mas de granulação mais fina.

Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Este ensaio visa a simulação de queda de objetos nos materiais pétreos em diferentes situações. Trata-se de um ensaio importante para a avaliação da resistência de rochas destinadas ao revestimento de interiores e exteriores, bem como para soleiras, degraus, mesas, balcões e pias.

Os ensaios para determinação da resistência ao impacto de corpo duro também foram realizados em corpos-de-prova nos estados secos e saturados (Tabela 2), e executados segundo procedimentos da norma ABNT NBR 12764 (ABNT, 1992f). A saturação (não prevista pela norma acima) foi obtida através do acondicionamento dos corpos-de-prova (ladrilhos com lados de 20 x 20 cm e espessuras de 3 cm) em uma bandeja com a colocação de água destilada até atingir um 1/3 da altura (espessura) e após 4 h completada a submersão dos corpos-de-prova, condição esta mantida por mais 24 h. Após este período foram enxugados com pano úmido para a retirada do excesso de água de suas superfícies e em seguida submetidos ao teste de resistência ao impacto.

Os resultados fornecidos pelos granitos, entre 0,52 m e 0,65 m (Tabela 2), permitem considerá-los como detentores de boa resistência ao impacto, pois superam com certa folga a resistência mínima de 0,3 m estipulada pela norma ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010).

A comparação entre os resultados (Figura 9) sob condições secas e saturadas mostra que com exceção do granito Rosa Iracema com 14% de decaimento da resistência (86,1% para o coeficiente de enfraquecimento hidráulico), os demais granitos praticamente mantiveram a resistência ao impacto, com coeficientes de enfraquecimento hidráulico entre 103% e 107%. Este comportamento exibido pelos referidos granitos estaria, da mesma maneira que o verificado para o caso dos ensaios da flexão 3 e 4 Pontos, relacionado

à representatividade dos corpos-de-prova advinda da relação granulação grossa da rocha

versus espessura média de 3 cm para os ladrilhos utilizados nos ensaios.

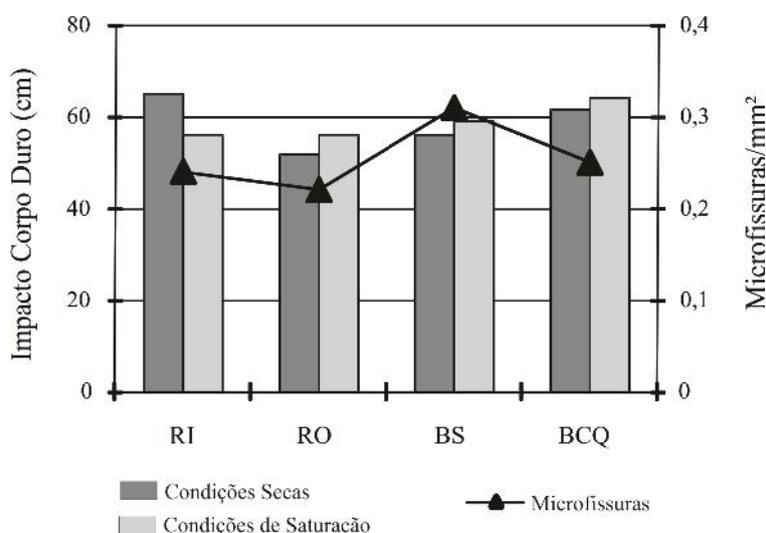


Figura 9 - Correlação entre resistência ao impacto de corpo duro das rochas sob condições secas e saturadas em água versus microfissuras. RI - Rosa Iracema; RO - Rosa Olinda; BS - Branco Savana; BCQ - Branco Cristal Quartzo.

Apesar dos granitos fornecerem resistências ao impacto similares, a menor resistência do granito Rosa Olinda (0,53 m) pode estar relacionada à sua maior heterogeneidade textural resultante do aspecto geral inequigranular a megaporfirítica e ao maior teor de biotita (10%), que por formarem agregados lamelares pode acarretar diminuição da resistência mecânica da rocha. Apesar de ser a rocha com o menor grau de microfissuramento mineral (Tabela 1; Figura 9), o granito Rosa Olinda é a que apresenta a maior intensidade de microfissuras intergrãos e transgranulares, perfazendo 19% do total de suas microfissuras, contra uma média de 6% a 9% para os demais granitos.

Coefficiente de Dilatação Térmica Linear

A determinação da dilatação térmica está fundamentada na variação de volume que a rocha sofre quando submetida às oscilações de temperatura, podendo dilatar ou contrair. Este coeficiente é utilizado para cálculos no dimensionamento das juntas de dilatação de placas, painéis e ladrilhos de rochas ornamentais, interferindo, inclusive na escolha do processo de ancoragem das placas. Este ensaio é especialmente indicado para materiais rochosos utilizados como revestimentos de fachadas ou pisos externos expostos à ação direta do sol, situações de intenso calor ou

sujeitas a grandes oscilações de temperatura, como no caso de climas temperados.

Os ensaios foram realizados em duas direções perpendiculares entre si, uma paralela e outra normal à corrida dos granitos, e executados segundo a norma ABNT NBR 12765 (ABNT, 1992g). Os resultados de dilatação exibidos pelos granitos são menores que o valor máximo de $8 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$ considerado pela norma ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010) como requisito para granitos.

Os resultados obtidos (Tabela 2; Figura 10) mostram que todos os granitos fornecessem valores de dilatação térmica linear maiores segundo o plano perpendicular à corrida (entre $6,0$ e $7,3 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$) e menores no sentido paralelo aos referidos planos (entre $5,5$ e $5,8 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$), denotando que apesar de aparentemente isotrópicos os granitos devem exibir alguma anisotropia estrutural dada pela orientação preferencial, mesmo que discreta, de um ou mais mineral. No presente caso, esta diferença poderia refletir uma maior ou menor orientação cristalográfica de cristais de quartzo, mineral este que segundo Rzhevsky & Novik (1971) exibem grandes diferenças de dilatação segundo os eixo *a* (com $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$) e eixo *c* (com $13,7 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$). Ainda, no tocante a anisotropia estrutural das rochas, estudos realizados por Peres-Rodrigues & Souza (1983) e Rivas et al. (2000) mostraram

que apesar das rochas graníticas serem analisadas como homogêneas, elas exibem anisotropias em intensidades variáveis como reflexo de efeitos de fluxos magmáticos durante

a sua cristalização. Destacamos, entretanto, que no presente trabalho não foram efetuados estudos neste sentido.

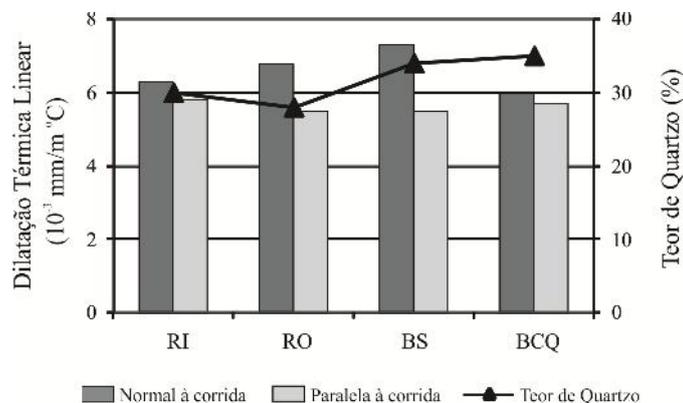


Figura 10 - Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear segundo orientações normais e paralelas à corrida das rochas versus teor de quartzo. RI - Rosa Iracema; RO - Rosa Olinda; BS - Branco Savana; BCQ - Branco Cristal Quartzo.

Os valores de dilatação térmica relativamente baixos fornecidos pelos granitos estudados, principalmente em relação aos paralelos à corrida, não são tão comuns para granitos com cerca de 1/3 de quartzo como os ora investigados (Tabela 1; Figura 10). Entretanto, estes valores podem ser considerados como coerentes tendo em vista que os granitos apresentam texturas inequigranulares de granulação predominantemente grossa, aspectos estes que resultam em contatos minerais mais frouxos e na presença de planos de clivagens de cristais de feldspato potássico mais abertos em relação a rochas de granulação mais fina, o que se traduz em uma rede porosa melhor desenvolvida com conseqüente redução da dilatação térmica da rocha. Diversos estudos na literatura, com destaque para os de Rzhovsky & Novik (1971) e Richter & Simmons (1974), descrevem que a dilatação térmica das rochas é inversamente proporcional à porosidade em virtude dos espaços “vazios” entre os minerais, presença de planos de clivagens mais desenvolvidos e de microfissuras fazem com que as rochas apresentem um pequeno aumento em suas dimensões externas, o que se reflete

numa redução do módulo de elasticidade durante processos de dilatação.

Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais

A velocidade com que as ondas ultrassônicas atravessam um corpo rochoso pode variar de acordo com a composição mineralógica, textura e anisotropia estrutural da rocha, tamanho e morfologia dos grãos, do conteúdo dos fluidos e da presença de vazios. Esta correlação permite avaliar indiretamente vários parâmetros físicos e mecânicos das rochas tais como densidade, resistência mecânica, porosidade, absorção d’água, grau de sanidade da rocha, entre outros.

As velocidades médias de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais apresentadas pelos granitos (Tabela 2; Figura 11), representadas pela média das ondas ultrassônicas dos corpos-de-prova utilizados para os ensaios de compressão uniaxial, flexões 3 Pontos e 4 Pontos sob condições secas e saturadas em água, são mais elevadas que o valor mínimo de 4.000 m/s apresentadas por Frazão e Farjallat (1995) como média para as rochas silicáticas brasileiras.

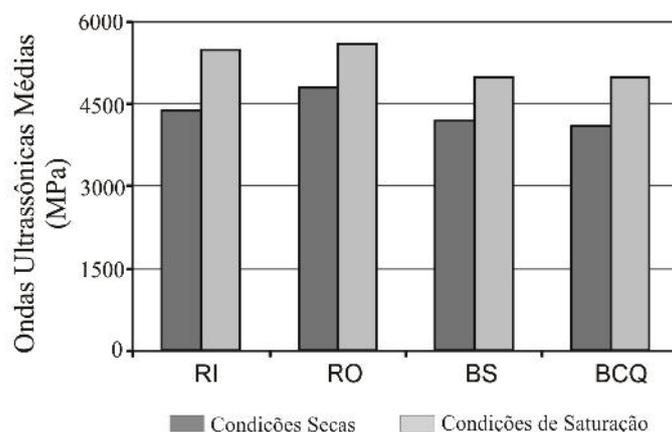


Figura 11 - Velocidade média de propagação das ondas ultrassônicas longitudinais obtidas pelas médias da propagação ultrassônica dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de compressão uniaxial, flexão 3 Pontos e flexão 4 Pontos.

Destaca-se, também, o considerável aumento da velocidade média de propagação das ondas ultrassônicas apresentado pelos corpos-de-prova em condições saturadas em relação aos secos em estufa, o que estaria coerente com as percentagens de porosidade dos respectivos granitos, entre 0,80 e 91% (Tabela 1).

Os valores obtidos mostram uma boa coerência entre a propagação das ondas e as propriedades petrográficas intrínsecas a cada material estudado. Neste sentido, o granito

Rosa Olinda detentor do maior teor de minerais pesados e da massa específica, além de sua menor granulação média, é o tipo petrográfico com as maiores velocidades das ondas ultrassônicas sob condições secas. Já os granitos brancos (Branco Savana; Branco Cristal Quartzo), com os menores teores de minerais pesados, menores massas específicas e alterações minerais pouco mais pronunciadas são os com as menores velocidades das ondas ultrassônicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados físico-mecânicos permitem enquadrar os quatro granitos como adequados para o uso como revestimentos em ambientes de interiores e de exteriores, podendo ainda ser utilizados como mesas, bancadas, pias, soleiras e outras aplicações afins. Deve-se, porém, ter maiores cuidados na definição das espessuras das placas quando aplicadas em fachadas suspensas, especialmente para os granitos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo por apresentarem resistências a esforços flexores (flexões pelos métodos 3 e 4 Pontos) no limite ou abaixo dos valores mínimos sugeridos pela norma ABNT 15844 (ABNT, 2010). Ressalta-se, ainda, que a indicação definitiva para a utilização destes granitos em ambientes úmidos e em fachadas estaria na dependência de estudos complementares relativos a alterabilidade destes materiais sob ação de agentes

quimicamente agressivos, principalmente àqueles relacionados aos agentes atmosféricos.

Os estudos também revelam a influência dos aspectos petrográficos no comportamento tecnológico dos granitos estudados. Neste contexto cabe destaque para a preponderância da granulação grossa inequigranular a megaporfírica destas rochas que, além de exercer influência no comportamento físico e mecânico, induzem ao desenvolvimento de heterogeneidades texturais em termos de variações nas proporções/concentrações entre minerais de menores e maiores dimensões, interferindo, desta forma, na representatividade petrográfica dos corpos-de-prova utilizados na execução dos ensaios. Estas considerações são corroboradas pelos elevados intervalos dos coeficientes de variação da dispersão dos resultados físicos e mecânicos apresentados pelos conjuntos de corpos-de-prova ensaiados (Tabela 2). A influência da granulação grossa

na representatividade dos corpos-de-prova se torna evidente quando se analisa os resultados dos ensaios de flexão 4 Pontos, com coeficientes de variação entre 9,4% e 31,5%, obtidos em corpos-de-prova com dimensões de 38x10x3 cm, portanto com espessuras inferiores à própria granulação máxima das rochas com cristais de feldspatos e de quartzo que atingem dimensões de até 4 cm.

A influência da granulação *versus* formatos/dimensões dos corpos-de-prova também é sugestiva quando se analisa, por exemplo, as relações entre os resultados das resistências à compressão uniaxial (corpos-de-prova cúbicos com arestas de 7 cm) e flexão 4 Pontos (corpos-de-prova de 30x10x3 cm) dos granitos. Cabe, neste contexto, destaque para o caso dos granitos brancos que apesar de se mostrarem mais resistentes que os granitos rosa aos esforços de compressão (entre 168,6 e 178,0 MPa para os brancos e 145,3 e 146,3 MPa para os rosa sob condições secas), são os que apresentam as maiores perdas de resistência sob efeito de esforços flexores por 4 Pontos, respectivamente com resistências entre 7,0 e 7,7 MPa para os brancos e 8,8 e 9,3 MPa sob condições secas (Tabela 2; Figuras 5 e 7). Da mesma forma, grande parte das oscilações dos valores dos coeficientes de enfraquecimento hidráulico verificada para os resultados dos ensaios de flexão 3 Pontos (Figura 6) e do impacto de corpo duro (Figura 9), na maioria dos casos indicativos de possível ganho de resistências dos granitos, esteja mais diretamente relacionada à representatividade dos corpos-de-prova que propriamente à determinadas propriedades petrográficas destes materiais.

Os resultados obtidos também mostram que apesar da similaridade petrográfica dos granitos estudados, pequenas variações composicionais e texturais atuam como fatores

diferenciais no comportamento de determinadas propriedades físicas e mecânicas das rochas. Assim, a maior massa específica seca do granito Rosa Olinda (2.632 kg/m³) em relação aos demais (entre 2.614 e 2.619 kg/m³) reflete o maior teor de minerais máficos/pesados do primeiro (Tabela 1; Figura 3). Da mesma forma, as menores resistências médias aos esforços flexores e da velocidade das ondas ultrassônicas apresentadas pelos granitos brancos em relação aos tipos rosa (Figuras 6 e 7) podem ser atribuídas ao grau de microfissuramento pouco mais elevado e, sobretudo, pela maior intensidade da alteração mineral (moderada/alta) exibidas pelos primeiros.

Em termos gerais, os valores de porosidade (entre 0,80% e 0,91%), de absorção d'água (entre 0,31% e 0,35%) e de desgaste abrasivo (entre 0,45 mm e 0,64 mm) tidos como relativamente elevados para rochas graníticas isotrópicas, bem como os relativamente baixos para as resistências aos esforços flexores obtidos pelos métodos dos 3 Pontos (entre 8,5 MPa e 12,1 MPa) e 4 Pontos (entre 6,5 MPa e 9,3 MPa), refletem típico comportamento de rochas com granulação grossa que se caracterizam por certa heterogeneidade textural. Rochas com granulação grossa, além de dificultar a manutenção da representatividade petrográfica na obtenção dos corpos-de-prova, tendem a apresentar contatos minerais mais frouxos, cristais de quartzo com microfissuramento mais pronunciado e de feldspato potássico exibindo planos de clivagens mais abertos e mais intensamente pertitizados, além de cristais de plagioclásio com núcleos mais intensamente saussuritizados, que no conjunto aumentam a rede porosa e diminuem a resistência mecânica em relação a rochas composicionalmente similares, mas de granulação mais fina.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, através do processo nº 141388/2002-1 (Bolsa de Formação de Pesquisador Doutorado), que tornou possível a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento: análise petrográfica. NBR 12768. Rio de Janeiro, 1992a, 3 p.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento: determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e

- absorção d'água aparente. NBR 12766. Rio de Janeiro, 1992b, 2 p.
3. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento: determinação da resistência à compressão uniaxial. NBR 12767. Rio de Janeiro, 1992c, 2 p.
 4. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento: determinação da resistência à flexão. NBR 12763. Rio de Janeiro, 1992d, 3 p.
 5. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais inorgânicos: determinação do desgaste por abrasão. NBR 12042. Rio de Janeiro, 1992e, 3 p.
 6. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento - determinação da resistência ao impacto de corpo duro. NBR 12764. Rio de Janeiro, 1992f, 3 p.
 7. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. - Rochas para revestimento: determinação do coeficiente térmica linear. NBR 12756. Rio de Janeiro, 1992g, 3 p.
 8. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para Revestimento - Requisitos para granitos. NBR 15844. Rio de Janeiro, p. 1-2, 2010.
 9. ARTUR, A.C.; MEYER, A. P.; WERNICK, E. Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1, 2001, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2002, p. 13 -14.
 10. ARTUR, A.C.; MEYER, A.P.; NAVARRO, F.C.; PETOLCHCKNY, A.F. Technological properties of silicate rocks used as dimension stones: influence of petrography. In: II Second INTERNATIONAL CONGRESS DIMENSION STONES, 2, 2008, Carrara. **Abstract...** Carrara: Internacionale Marmi e Macchine Carrara (Italy) / ABIROCHAS (Brasil), Carrara, 2008, p. 523.
 11. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Flexural strength of natural building stone. C 880. West Conshohocken, 2005, 3 p.
 12. ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock. D 2845. West Conshohocken, 2005, 3 p.
 13. CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Fortaleza**. Departamento Nacional de Produção Mineral, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Recife, v.1. 1977.
 14. CARVALHO, C. S. de. **Estudo do comportamento tecnológico e de alterabilidade das rochas ornamentais silicáticas Verde Amazonas, Preto Cajugram e Bege Ipanema (ES)**. Rio Claro, 2010. 148 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 15. CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, F.E.M. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000. Fortaleza: Convênio MME/CPRM Governo do Estado do Ceará/ Secretaria de Recursos Hídricos, 2003.
 16. FRAZÃO, E. B. & FARJALLAT, J. E. S. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURAL, 1., 1995, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Cimpor, 1995. p. 47-58.
 17. KOWALSKI, W.C. The independence between strengt, softening, swelling and shrinkage of cretaceous marls and “Opokas” and their lithology. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF GEOLOGY OF ENGINEERING, 1, 1970, Paris. **Anais...** Paris: Int. Soc. Géologie of Eng, 1970, 1: 456-464.
 18. MATTOS, I. C. **Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do Stock Granítico Serra do Barriga, Sobral (CE)**. Rio Claro, 2005. 260p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 19. MATTOS, I. C.; ARTUR, A. C.; NOGUEIRA NETO, J. A. Caracterização físico-mecânica do granito ornamental Serra do Barriga, Sobral/CE: Resultados preliminares. In: SIMP. DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003, p. 86-93.
 20. MELLO MENDES, F de. **Mecânica das Rochas**. Lisboa: Ed. Seção de Folhas da Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico, 1968. 541p.
 21. MESQUITA, M. P. S. **Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do stock Morrinho, Santa Quitéria (CE)**. Rio Claro, 2002. 171p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 22. MEYER, A.P.; ARTUR, A.C.; NAVARRO, F.C. Principais fatores petrográficos condicionantes da resistência ao ataque químico em rochas de revestimento. In: SIMPÓSIO ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003, p. 153-164.
 23. NAVARRO, F. C. Granitos ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico. In: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2., Punta del Este. **Actas...** Montevideú: Sociedad Uruguaya de Geologia; Facultad de Ciências, 1998. , p. 103-107.
 24. NAVARRO, F.C. **Caracterização petrográfica como técnica para previsão do comportamento físico e mecânico de “granitos” ornamentais**. Rio Claro, 2002. 88p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 25. NAVARRO, F. C. **Influência da petrografia sobre a anisotropia à tensão de compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais**. Rio Claro, 2006. 179 p. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 26. NAVARRO, F. C. & ARTUR, A.C. Caracterização petrográfica como ferramenta para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais: uma discussão. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife. **Anais...** Rio de Janeiro: CTEM/UFPE, 2002, p:2-9.
 27. PAZETO, A. de A. **Correlação entre aspectos petrográficos e comportamento tecnológico e de alterabilidade das rochas ornamentais silicáticas Diamante Negro (BA), Ocre Itabira e Branco Galaxy (ES)**. Rio Claro, 2011. 189p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 28. RICHTER, D. & SIMMONS, G. Thermal expansion behavior of igneous rocks. **Internation journal of**

- rocks mechanics and mining sciences**. New York, v. 11, n. 10, p. 403-411, 1974.
29. RIVAS, T.; PRIETO, B.; SILVA, B. **Influence of rift and bedding plane on the physico-mechanical properties of granitic rocks. Implications for the deterioration of granitic monuments**. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/buildenv>. Acessado em: 11jun2011.
30. RODRIGUES, E.P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J.J.M. Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. Lisboa: **Rochas e Equipamentos**, v. 47, 2 p., 1997.
31. PERES-RODRIGUES, F. & SOUZA, M.R. Correlação entre as anisotropias de deformabilidade, de rotura e de dilatação térmica de um granito. **Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia**, Lisboa, n. 39, p 23-35, 1983.
32. RZHEVSKY, V. & NOVIK, G. **The physics of rocks**. Moscou, MIR Publishers, 320 p., 1971.
33. TAVARES JR., S. S. **Caracterização litoquímica e geocronologia Rb/Sr das rochas granitóides e ortognaisses da região de Santa Quitéria-Sobral, NW do Ceará**. Belém, 1992. 143 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia). Universidade Federal do Pará.
34. WHITTAKER B.N.; SINGH, R.N.; SUN, G. **Rock Fracture Mechanics - Principles, Design and Applications**. Elsevier Science Publisher, 570p., 1992.

*Manuscrito recebido em: 19 de agosto de 2011
Revisado e Aceito em: 19 de agosto de 2013*