

CORRELAÇÃO ENTRE COMPORTAMENTO TECNOLÓGICO E PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS SILICÁTICAS BRANCO GALAXY, OCRE ITABIRA E DIAMANTE NEGRO

Abiliane de Andrade PAZETO¹ & Antonio Carlos ARTUR²

- (1) Pós-graduação em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/IGCE, Universidade Estadual Paulista/UNESP - Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: apazeto@gmail.com.
- (2) Departamento de Petrologia e Metalogenia/DPM, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/IGCE, Universidade Estadual Paulista/ UNESP/Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: acartur@rc.unesp.br.

Introdução

Materiais e métodos de estudo

Petrografia

Diamante Negro (Floresta Azul – BA)

Ocre Itabira (Venda Nova- ES)

Branco Galaxy (Colatina – ES)

Resultados tecnológicos e correlação com propriedades petrográficas

Índices físicos

Resistência à compressão uniaxial

Resistência à compressão uniaxial após ciclos de congelamento e degelo

Resistência à esforços flexores pelos métodos 3 e 4 pontos

Resistência ao desgaste abrasivo Amsler

Resistência ao impacto de corpo duro

Propagação de ondas ultrassônicas

Coefficiente de dilatação térmica linear

Indicações de uso

Conclusões

Agradecimentos

Referências bibliográficas

RESUMO - O Brasil é mundialmente conhecido como um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais e para revestimento, permanecendo desde os anos 90 entre os seis principais produtores mundiais. Estimativas da Abirochas indicam que em 2013 a produção brasileira atingiu 10,5 milhões de toneladas, com cerca de 3,6 milhões de t destinadas ao mercado externo e 6,9 milhões de t ao mercado interno, sendo que as exportações teriam totalizado US\$ 1.302,11 milhões. Dentre os materiais explorados as rochas silicáticas, incluindo granitos e rochas afins, representam mais de 50% do total da produção brasileira. O uso destes materiais na construção civil tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, o que tem se refletido numa crescente produção com consequente incremento de atividades em toda a cadeia produtiva brasileira. Entretanto, apesar desse crescente consumo, não há na maioria das vezes um adequado conhecimento das propriedades tecnológicas do material rochoso, tornando sua aplicação empírica, o que pode ocasionar degradações diversas no material. O objetivo desse trabalho foi averiguar a influência das propriedades petrográficas no comportamento tecnológico de três rochas ornamentais graníticas com distintos aspectos mineralógicos, texturais e estruturais visando, com isso, o estabelecimento de parâmetros petrográficos capazes de explicar e/ou prever o comportamento físico-mecânico dessas rochas. Neste contexto, os resultados obtidos permitiram a constatação de boas correlações entre o comportamento tecnológico e as respectivas propriedades petrográficas intrínsecas a cada rocha estudada, permitindo o entendimento dos fatores causais dos resultados obtidos. Os resultados tecnológicos revelam que as três rochas apresentaram valores físico-mecânicos satisfatórios, qualificando-as na utilização como rochas ornamentais e para revestimento.

Palavras-chave: rochas ornamentais, rochas graníticas, propriedades petrográficas, caracterização tecnológica.

ABSTRACT - A. de A. Pazeto & A. C. Artur - *Correlation between technological behavior and petrographic properties of Branco Galaxy, Ocre Itabira and Diamante Negro silicatic dimension stones.* Brazil is globally known as one of the biggest producer and exporter of dimension stones, remaining since the 1990s among the six major producers. According to Abirochas estimates, the Brazilian production reached 10.5 million tons in 2013, comprising about 3.6 million tons for the foreign market and 6.9 million tons for the domestic one. The Brazilian exportation of dimension stones would have amounted US \$ 1,302.11 million in 2013. It is noteworthy that the silicate rocks, involving granites and related rocks, represent almost 50% of the total Brazilian production. The use of these materials in civil construction has expanded every year, as a result of the increase in the national production levels and diversity of stones available on the market. However, despite these aspects, the technological properties of the rocky materials are poorly known, making their application empirical, thus, favoring the materials degradation. This paper evaluates the influence of the petrographic properties in the technological behavior of three granitic rocks of different mineralogical, textural and structural aspects. It has been established petrographic parameters for explaining and/or predicting the physical and mechanical behavior linked to the use of these rocks in building and masonry. In this context, the results showed a good correlation between the technological behavior and the petrographic properties intrinsic to each studied rock. They also allowed to determine the factors causing them, indicating that the three analyzed rocks are satisfactory, in terms of the physical-mechanical parameters, which favor their use as dimension stones.

Keywords: dimension stones, granitic rocks, petrographical properties, technological characterization.

INTRODUÇÃO

O Brasil é mundialmente conhecido como um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais e para revestimento, permanecendo desde os anos 90 entre os seis principais produtores mundiais. Estimativas apresentadas pelo Informe 01/2014 da Abirochas (Abirochas, 2014) indicam que no ano de 2013 a produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento teria atingido o patamar de 10,5 milhões de toneladas, com cerca de 3,6 milhões de t destinadas ao mercado externo, totalizando US\$ 1.302,11 milhões em divisas, e 6,9 milhões de t destinadas ao atendimento do mercado interno. Ainda segundo o mesmo Informe Abirochas as rochas silicáticas, envolvendo granitos e rochas afins, representam praticamente 50% do total da produção brasileira, seguindo-se os mármore e travertinos, com cerca de 19%, além de quartzitos maciços e foliados, ardósias e outros.

O acentuado incremento na utilização global de rochas ornamentais a partir dos anos 1990, período conhecido como “Nova Idade da Pedra”, levou o Brasil a experimentar um notável crescimento na produção e exportação de rochas ornamentais com aumento de atividades em toda a cadeia produtiva, liderada por significativos avanços nos processos extrativos e de beneficiamento.

Apesar desse crescente consumo e nos níveis produtivos, com a introdução de centenas de novos tipos de rochas no mercado consumidor, não há na maioria das vezes o adequado conhecimento das propriedades tecnológicas do material rochoso, tornando sua aplicação empírica. Na esfera comercial, a qualificação das rochas ornamentais baseia-se essencialmente nas suas características estéticas, sendo a cor o principal atributo para inserção e manutenção de um material pétreo no mercado.

Apesar do parâmetro estético ser determinante na escolha de um material pétreo por parte de seus consumidores e especificadores, estudos indicam que este é um critério subjetivo e pouco eficaz (Frasca, 2004), pois os materiais rochosos tendem a se

modificar e deteriorar naturalmente com o tempo, de formas diferenciadas, variando de acordo suas propriedades petrográficas intrínsecas e com as solicitações do ambiente no qual foi empregado.

Pode-se dizer que apesar da obtenção de dados tecnológicos já ser uma rotina em alguns laboratórios nacionais, ainda existe uma grande lacuna no que concerne à explicação causal dos resultados físicos-mecânicos obtidos, através de sua amarração com dados petrográficos gerais, tais como composição mineralógica, aspectos texturais e estruturais, entre outros. Publicações referentes a essa área são escassas, principalmente tratando das rochas silicatadas (as quais refletem o forte da produção brasileira e os principais materiais destinados à exportação), sendo que os estudos desenvolvidos pelo grupo de pesquisadores da linha de rochas ornamentais do IGCE/UNESP (Artur et al., 2002, 2005; Mattos et al., 2005; Navarro & Artur 2002a, b; Navarro et al., 2005) podem ser considerados como os pioneiros a abordar as várias relações entre aspectos petrográficos e tecnológicos de granitos ornamentais brasileiros.

Neste contexto, a ocorrência de diversos casos de alterações em materiais rochosos remete à necessidade de estudos mais aprofundados e dirigidos para essa problemática, uma vez que grande parcela dos casos ocorre devido à falta de reconhecimento prévio das propriedades petrográficas da rocha. Por sua vez, o melhor conhecimento das propriedades tecnológicas desses materiais significa fortalecer o setor brasileiro de rochas ornamentais nos mercados interno e exterior.

O objetivo desse trabalho foi o de se avaliar a influência das propriedades petrográficas no comportamento tecnológico de três rochas ornamentais silicáticas detentoras de diferentes aspectos mineralógicos, texturais e estruturais, visando, com isso, o estabelecimento de parâmetros petrográficos capazes de explicar e/ou prever o comportamento físico-mecânico dessas rochas.

MATERIAIS E MÉTODOS DE ESTUDO

Os materiais estudados correspondem a três rochas ornamentais representadas por um granito pegmatóide, um sienito e um microgabro, comercialmente denominados de Branco Galaxy, Ocre Itabira e Diamante Negro, respectivamente.

O granito pegmatóide Branco Galaxy, associado ao magmatismo intrusivo do Complexo Paraíba do Sul/Domínio Cambuci (PLGB, 1993), provém do município de Colatina, estado do Espírito Santo. O sienito Ocre Itabira, também do estado do Espírito Santo, é extraído do Maciço Venda Nova (Mendes et al., 2002), no município homônimo. O tipo Diamante Negro, um microgabro associado à sequência alcalina da Suíte Intrusiva Itabuna (RADAMBRASIL, 1981), é explorado no município de Floresta Azul - BA.

A análise petrográfica envolveu a caracterização mineralógica, textural e estrutural das rochas, tendo-se por base as diretrizes da norma ABNT NBR 12.768 (ABNT, 1992a) e as orientações expressas em Rodrigues et al. (1997) e Navarro (1998). Foram consideradas a composição modal, granulação média, avaliação da densidade de microfissuras com e sem materiais de

preenchimento, grau de alteração mineral e contagem e determinação dos tipos de contato da trama mineral.

Após a análise petrográfica, as três rochas foram submetidas a ensaios de caracterização tecnológica, compreendendo determinações dos índices físicos (massa específica seca e saturada aparentes, porosidade aparente e absorção d'água) (ABNT NBR 12766; ABNT, 1992b), resistência à compressão uniaxial (ABNT NBR 12767; ABNT, 1992c), resistência à compressão uniaxial conjugada a congelamento e degelo (ABNT NBR 12769; ABNT, 1992d), resistência à flexão pelo método dos 3 Pontos (ABNT NBR 12763; ABNT, 1992e), resistência à flexão 4 pontos (C 880; ASTM, 2009), desgaste abrasivo Amsler (ABNT NBR 12042; ABNT, 1992f), resistência ao impacto de corpo duro (ABNT NBR 15845 - Anexo H (ABNT, 2010a), propagação de ondas ultrassônicas (D 2845; ASTM, 2008) e coeficiente de dilatação térmica linear (ABNT NBR 12765; ABNT, 1992g). Os ensaios tecnológicos foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP - Campus de Rio Claro

PETROGRAFIA

As propriedades petrográficas inerentes a cada rocha são posteriormente correlacionadas com os dados tecnológicos visando uma avaliação da influência dos aspectos composicionais, texturais e estruturais no comportamento físico e mecânico das respectivas rochas ornamentais. A síntese das principais características petrográficas dos materiais estudados é apresentada na Tabela 1.

Diamante negro (Floresta Azul – BA)

Corresponde a um microgabro de coloração preta com estrutura isotrópica e textura fanerítica fina, de granulação milimétrica a submilimétrica, predominantemente inferior a 1,0 mm, e detentor de padrão estético homogêneo (Figura 1A). A textura é intergranular, localmente subofítica (Figura 1B).

Os minerais máficos perfazem ao redor de 52%, representados por augita (36%), opacos (5,5%), hornblenda (6,5%), actinolita (3%) e biotita (1%), sendo os três últimos secundários. Os minerais félsicos estão representados basicamente pelo plagioclásio e por traços de quartzo intersticial. A alteração, apesar de incipiente, apresenta-se bastante evidente, principalmente pela uralitização dos piroxênios. No plagioclásio é possível observar apenas sutil efeito de sericitização.

O microfissuramento, em sua maioria com planos abertos, é demarcado pelo intenso fraturamento dos piroxênios, exibindo baixa comunicabilidade entre si. O entrelaçamento mineral se dá basicamente por intercalações entre contatos engrenados (cerca de 40%) e planares (45%), e menos comumente côncavo-convexos (15%), dado o formato ripiforme do plagioclásio.

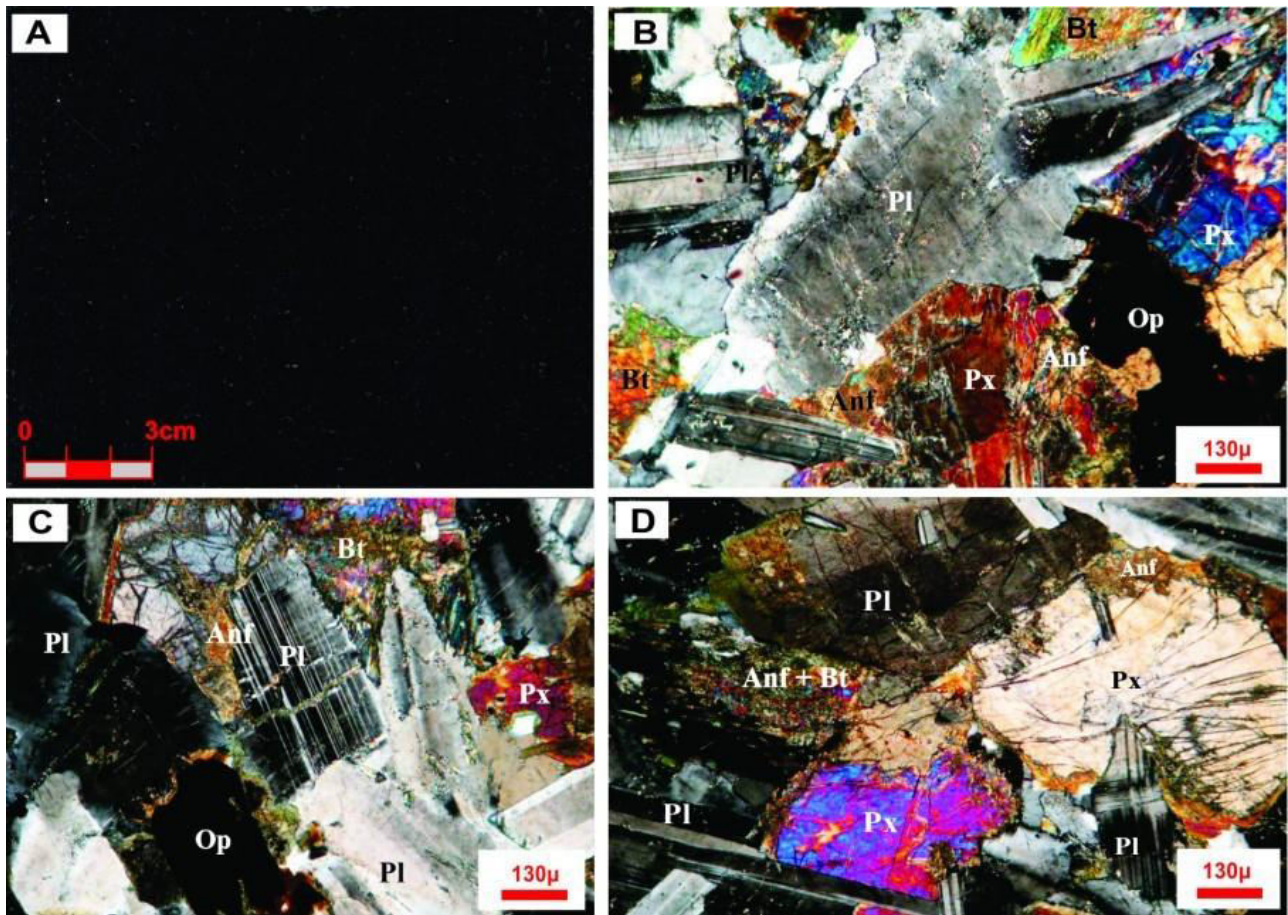


Figura 1. Aspecto macroscópico (A) e microscópicos (B, C e D) do microgabro Diamante Negro. Textura local subofítica (B); microfissura em cristal de plagioclásio preenchida por anfibólio (C); alteração hidrotermal em cristais de piroxênio (D). Anf: anfibólio; Bt: biotita; Op: opaco; Pl: plagioclásio; Px: piroxênio.

O plagioclásio apresenta dimensões entre 0,6 e 2 mm, com predominância ao redor de 1 mm, caracterizado por evidente zonamento composicional, com núcleos de labradorita e bordas mais sódicas (andesina a oligoclásio). Apresenta formatos subedrais a anedrais, sendo os menores cristais idiomórficos ripiformes. Os cristais exibem baixo grau de microfissuramento, praticamente sem comunicabilidade entre si, e alteração incipiente denotada por sutil sericitização. Planos de microfissuras podem mostrar preenchimentos por sericita e anfibólio (Figuras 1B e 1D).

O clinopiroxênio (augita) ocorre como cristais tabulares, com dimensões médias ao redor de 1 mm, configurando textura intergranular a localmente subofítica com o plagioclásio. Seu fraturamento é moderado, com média de 0,13 microfissuras/mm², estando cerca de 80% sem preenchimento. A alteração do piroxênio é moderada, parcial a totalmente transformado para anfibólios (hornblenda e actinolita) e localmente para biotita (Figura 1D).

O mineral opaco, representado pela magnetita, constitui cristais submilimétricos a milimétricos, quase sempre esqueléticos, disseminados pela lâmina. Os de maiores dimensões atingem em média 1,5 mm. É possível observar bordas oxidadas, com liberação de hidróxidos de ferro que se infiltram nas microfissuras e planos de clivagem dos minerais circunvizinhos.

Ocre Itabira (Venda Nova- ES)

É representado por um hornblenda sienito acastanhado com estrutura isotrópica a discretamente orientada, de granulação grossa, inequigranular, com aspecto estético homogêneo (Figura 2A).

Apresenta textura do tipo pórfiro serial, provavelmente devida a processos de fracionamento magmático do tipo cumulático ou de filtragem por compressão, responsáveis pela concentração de megacristais de feldspato potássico imersos em matriz volumetricamente menos expressiva, de granulação submilimétrica a poucos milímetros. No geral a

rocha exibe certa oscilação na proporção entre matriz e os referidos agregados feldspáticos,

bem como nos teores de megacristais de feldspato potássico coalescentes.

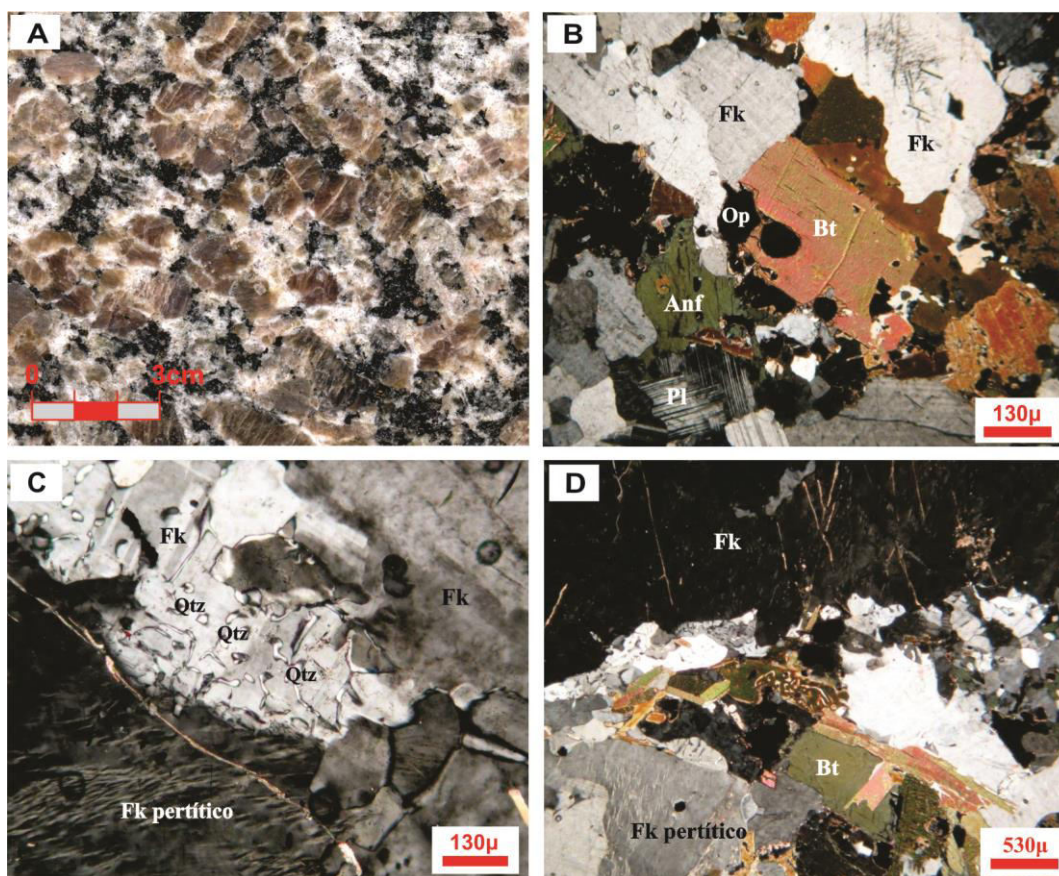


Figura 2. Aspecto macroscópico (A) e microscópicos (B, C e D) do sienito Ocre Itabira. Aspecto textural da rocha (B); Plagioclásio com geminação polissintética (B); Pertitas em cristal de ortoclásio (C; D); Textura gráfica (C); Microfissuras em cristal de ortoclásio preenchidas por sericita (D). Anf: anfibólio; Fk: ortoclásio; Bt: biotita; Op: opaco; Pl: plagioclásio; Px: piroxênio; Qtz: quartzo.

Os megacristais de feldspato potássico representam em média 50% ou mais do volume da rocha, predominantemente formando agregados coalescentes com dimensões até decimétricas. Apresentam formas ovaladas a prismáticas, quadráticas ou ainda irregulares, com dimensões seriadas entre 2,5 a 3 cm, na média entre 1,5 e 2 cm.

Os megacristais coalescentes apresentam coloração relativamente homogênea, amarronzada a levemente rosada, com bordas normalmente desprovidas de zoneamento mineral. Os megacristais isolados ou constituindo agregados menores, englobados por matriz intersticial pouco mais pronunciada, exibem discretos zoneamentos marginais de coloração pouco mais clara ou parcialmente envoltos por delgados anéis de plagioclásio (oligoclásio) esbranquiçados.

A matriz é inequigranular hipidiomórfica a localmente poligonizada e enriquecida em

agregados mimerquíticos (Figura 2B), com granulação média entre 1 e 2 mm, podendo, entretanto, apresentar gradações para porções com cristais de feldspato potássico com dimensões ao redor de 1 cm e que se confundem com os megacristais. É composta por plagioclásio (14%), feldspato potássico (11%), biotita (4%) e hornblenda (6%), além de quartzo (2%) e dos acessórios opacos (2,5%), apatita (1,5%), titanita (2%), zircão e allanita na qualidade de traços.

O microfissuramento é pronunciado, classificado como moderado (média de 0,18 microfissuras/mm²), sendo mais evidente nos megacristais de feldspato potássico. Cerca de 85% dessas microfissuras são do tipo intragrãos, com mais de 80% delas preenchidas por material filossilicático microcristalino. A alteração mineral é incipiente, com discretos processos de sericitização e argilomineralização de feldspatos.

A trama mineral é bastante coesa, em sua maioria com contatos lobulados (45%) e engrenados (40%) (Figura 2B). O tipo plano também está presente, sendo mais frequentemente na relação entre cristais submilimétricos com textura poligonizada.

Microscopicamente os megacristais de feldspato potássico, representado pelo ortoclásio mesopertítico, exibem contornos irregulares de aspecto corroído que se caracteriza pelo intercrescimento com os demais minerais da matriz e/ou com anéis de plagioclásio que os envolvem, imprimindo ao conjunto um bom engrenamento mineral. Feições pertíticas em fios e filmes são comuns e marcantes, uniformemente disseminadas pelos cristais (Figura 2C). Os cristais maiores de feldspato potássico são os mais intensamente microfissurados, predominantemente do tipo intragrãos, com microfissuras dispostas ortogonalmente ao plano de maior alongação dos cristais. Predominam as microfissuras fechadas, com cerca de 70% preenchidas por sericita e as 30% restantes vazias (Figura 2D). Bordas mimerquíticas são comuns, bem como inclusões de biotitas submilimétricas.

Os cristais de ortoclásio da matriz são anedrais a localmente subedrais, tabulares. Exibem dimensões desde submilimétricas a 1 cm, com contatos lobulados com o plagioclásio e minerais máficos da matriz. Nas porções de granulação mais fina há a predominância de contatos planos, tipicamente poligonizados.

O plagioclásio (oligoclásio) ocorre tanto disperso pela matriz, podendo desenvolver pequenos agregados, quanto formando delgados anéis nas bordas dos megacristais de feldspato potássico. No primeiro caso predominam cristais subedrais, ripiformes, além de pequenas concentrações poligonizadas, no geral com dimensões submilimétricas a no máximo 2 cm. Os anéis que envolvem total ou parcialmente os megacristais são constituídos por agregados de minúsculos cristais anedrais, muitas vezes poligonizados. A alteração do plagioclásio é discreta, dada por fraca argilomineralização.

A hornblenda e a biotita encontram-se intimamente associadas, formando agregados alongados a estirados com dimensões entre 1 e 2 mm e mais raramente atingindo cerca de 1 cm. O anfibólio apresenta hábito prismático, cristais entre 0,03 e 2 mm.

O quartzo é pouco frequente (2%), intersticial, com dimensões no intervalo de 0,02 e 1,5 mm. A apatita é um acessório bastante comum (1,5%), com predomínio de cristais arredondados a pouco alongados e com dimensões entre 0,3 e 1 mm, basicamente associada ao feldspato potássico. Ocorre tanto como grãos isolados quanto em pequenos agregados com formatos irregulares.

Branco Galaxy (Colatina – ES)

Refere-se a um granito de coloração branca com aspecto geral pegmatóide, ligeiramente movimentado (Figura 3A). Apresenta estrutura isotrópica a levemente gnaissificada marcada pelo alinhamento de algumas concentrações de minerais máficos lineares pouco encurvados (biotita; sillimanita) e certo estiramento mineral.

Corresponde a um granito peraluminoso crustal tipo-S, grosseiramente gnaissificado, gerado em condições de fácies granulítica caracterizado pelos minerais índices ortoclásio mesopertítico, granada, sillimanita e traços de turmalina, além de biotita, quartzo e plagioclásio.

Apresenta textura bastante heterogênea, granulação média a média-grossa com gradações para porções tipicamente pegmatóides com cristais de feldspato potássico que chegam a superar 6 cm de extensão, localmente exibindo texturas granofíricas. A massa rochosa predominante, envolvente das porções de aspecto pegmatóide, é marcadamente inequigranular com granulação variando de alguns milímetros a mais de 2 cm. Destaca-se, ainda, que localmente a rocha exhibe manchas difusas de coloração acastanhada dada pela presença de hidróxidos de ferro que se infiltram ao longo de planos de microfissuras e de clivagens e em interfácies minerais.

O microfissuramento é alto, com média de 0,56 microfissuras/mm², representado principalmente por fissuras intragrãos (77%), na maioria das vezes sem preenchimento mineral. O quartzo representa o mineral com maior número de microfraturas, seguido pelos cristais de feldspato potássico. A comunicabilidade entre as microfissuras é variável, sendo que as porções graníticas de menor granulação apresentam baixa conexão entre si, tornando-se consideravelmente mais

elevada nas frações de granulação grossa a pegmatóide. Também cabe destacar que os cristais de feldspato potássico com as maiores dimensões, os das frações pegmatóides,

apresentam planos de clivagens bem mais evidentes e mais frouxos comparativamente aos grãos menores.

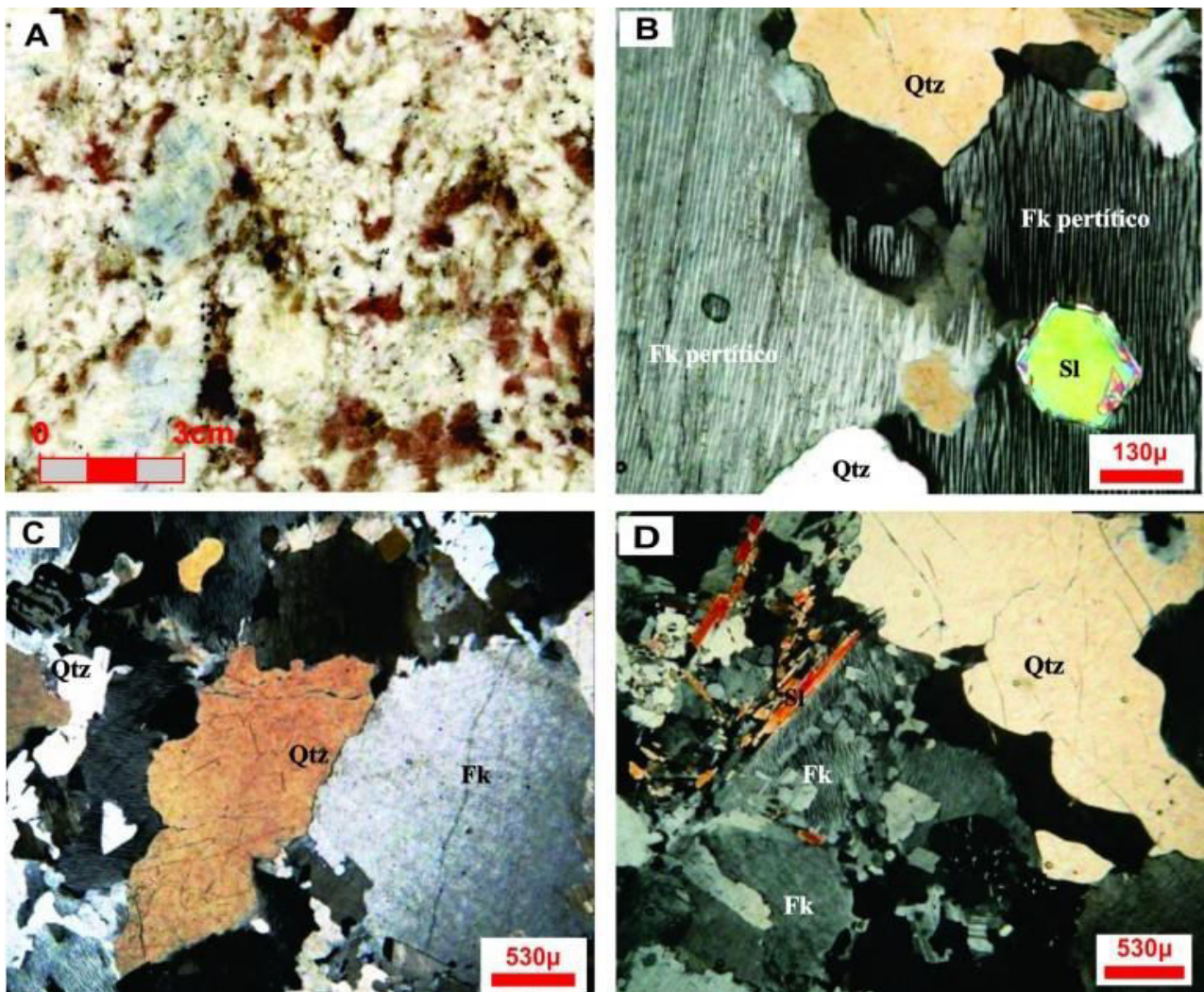


Figura 3. Aspecto macroscópico (A) e microscópicos (B, C e D) do granito pegmatóide Branco Galaxy. Feldspato potássico mesoperítico com inclusão de sillimanita (B); Contatos interminerais (C); Cristais de sillimanita fobrolítica (D). Fk: feldspato potássico (microclínio); Qtz: quartzo; Sl: sillimanita.

O contato entre os minerais é basicamente o tipo côncavo-convexo (aproximadamente 60%), aparecendo também o tipo engrenado (cerca de 35%) entre os cristais maiores de feldspato potássico e quartzo, e apenas localmente o tipo reto (5%) (Figuras 3C e 3D). A alteração mineral é incipiente, principalmente por discreta sericitização dos cristais de feldspato potássico.

A granada, acessório mais comum (3,5%), forma cristais com dimensões submilimétricas a alguns milímetros, raramente atingindo 5 mm. Ocorre predominantemente como grãos isolados, podendo, entretanto, desenvolver concentrações alinhadas sob forma de trilhas

descontínuas localizadas no interior de microfaixas cisalhadas e com granulação mais fina que a média da rocha. Nestes locais a textura é de recuperação, tipicamente granoblástica. A sillimanita (Figura 3B) só é visível sob o microscópio e ocorre como porções restíticas alongadas a contorcidas, de dimensões subcentimétricas.

O feldspato potássico corresponde ao ortoclásio mesoperítico (Figura 3B) e representa, no geral, o mineral com as maiores dimensões quer da massa granítica, usualmente entre 3,0 a 8,0 mm, quer nas frações pegmatóides, quando podem ultrapassar a 6,0 cm de extensão. Na fração pegmatóide pode

apresentar texturas gráficas diversas, caracterizadas por teores variáveis de quartzo vermicular. Os contatos com os cristais de quartzo e plagioclásio são em sua maioria lobulados, mas podendo aparecer também o tipo reto, denotando, no conjunto, bom engrenamento mineral. A alteração do feldspato potássico é incipiente, predominando tênue sericitização.

Os cristais de quartzo apresentam, na média, tamanhos inferiores aos do feldspato potássico, embora localmente sejam similares e até pouco maiores. São anedrais, podendo ser arredondados,

irregulares a achatados e vermicular nas inclusões granofíricas. Nas faixas de granulação mais finas, normalmente microgranuladas, apresentam aspecto poligonizado. No geral são tanto mais microfraturados quanto maiores suas dimensões.

O plagioclásio (oligoclásio) aparece apenas na fração mais fina, possuindo até 4 mm de comprimento. O microfissuramento e alteração são praticamente ausentes, sendo esta marcada por sutil sericitização dispersa por toda extensão dos cristais.

Tabela 1. Síntese das propriedades petrográficas das rochas estudadas.

Características Petrográficas		Diamante Negro		Ocre Itabira		Branco Galaxy	
Coloração		Preta		Acastanhada		Branca	
Estrutura		Isotrópica		Isotrópica a discretamente orientada		Fracamente Anisotrópica	
Textura		Fanerítica equigranular		Porfirítica (cumulática?)		Granoblástica Inequi- a Pegmatóide	
Granulação relativa		Fina		Média a Grossa		Média a Muito Grossa	
Mineralogia (%)	Quartzo	tr		2,5		29,5	
	Feldspato potássico	tr		66 (megacristais 55)		50,5	
	Plagioclásio	48		14		13	
	Biotita	1		4		1,5	
	Anfibólio	6,5		6		--	
	Piroxênio	36		--		--	
	Opacos	5,5		2,5		--	
	Sillimanita	--		--		1,5	
	Granada	--		--		3,5	
	Apatita	tr		1,5		--	
	Titanita	--		2		--	
	Zircão	tr		tr		--	
	Allanita	--		tr		--	
	Leucóxênio	--		0,5		--	
	Turmalina	--		--		tr	
	Sericita/Muscovita	tr		0,5		0,3	
	Epidoto	--		tr		--	
Actinolita	3		--		--		
Carbonatos	tr		0,5		0,2		
Total minerais máficos		52		16,5		7	
Granulação (mm)	Variação	0,5 a 2		0,3 a 25		0,8 a 60	
	Predominância	0,6 a 1		5 a 15		3 a 20	
Total/mm ²		0,13		0,18		0,56	
Microfissura		Abertas	Preenchidas	Abertas	Preenchidas	Abertas	Preenchidas
	Intragrão (%)	80	5	15	70	51	26
	Intergrão (%)	13	2	4,5	10,5	10	13
Comunicabilidade		Baixa		Média		Média	
Contato Mineral (%)	Engrenado	40		40		35	
	Côncavo-convexo	15		45		60	
	Plano	45		15		5	
Alteração Mineral	Feldspato potássico	--		Incipiente		Ausente a Incipiente	
	Plagioclásio	Incipiente		Ausente a Incipiente		Ausente	
	Biotita	Ausente		Ausente		Ausente	
	Piroxênio	Moderado		--		--	
Classificação Petrográfica		Microgabro		Hornblenda Sienito com Quartzo		Granito Pegmatóide com Granada e Sillimanita	

RESULTADOS TECNOLÓGICOS E CORRELAÇÃO COM PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS

As médias dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica encontram-se na Tabela 2. Os resultados fornecidos pelas rochas foram correlacionados com os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais intrínsecos de cada rocha, visando o melhor entendimento do comportamento físico-mecânico diante das diversas solicitações inerentes aos ensaios.

A avaliação da qualificação tecnológica dos materiais estudados é, na medida do possível, efetuada através da análise comparativa entre os resultados obtidos nos respectivos ensaios com os valores especificados pelas normas C 615 (ASTM, 2005) e ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b), representados na Tabela 3.

Tabela 2. Valores médios dos resultados dos ensaios físico-mecânicos.

Propriedades Físico-mecânicas		Diamante Negro	DP	CV	Ocre Itabira	DP	CV	Branco Galaxy	DP	CV
Índices Físicos	Massa Específica Seca (kg/m ³)	3.100	0,01	3,25E-06	2.705	0,01	3,60E-06	2.641	0,024	9,09E-06
	Massa Específica Saturada (kg/m ³)	3.103	0,01	3,26E-06	2.712	0,01	3,60E-06	2.649	0,024	9,06E-06
	Porosidade Aparente (%)	0,26	0,03	1,15E-01	0,73	0,24	3,28E-01	0,80	0,19	2,38E-01
	Absorção d'água (%)	0,08	0,01	1,25E-01	0,27	0,09	3,33E-01	0,30	0,07	2,33E-01
Compressão Uniaxial (MPa)		196	15,8	8,06E-02	137	11,6	8,47E-02	135	4,84	3,59E-02
Compressão Uniaxial após Ciclos de Congelamento e Degelo (MPa)		194	15,5	7,99E-02	134	9,02	6,73E-02	119	46,08	3,87E-01
Coeficiente K		0,99			0,97			0,88		
Flexão 3 Pontos (MPa)		22	1,5	6,82E-02	12	0,85	7,08E-02	9	1,36	1,51E-01
Flexão 4 Pontos (MPa)		21	2,95	1,40E-01	8	0,58	7,25E-02	8	1,24	1,55E-01
Vp (m/s)	Compressão Uniaxial	6.189	393,4	6,36E-02	4.161	182,3	4,38E-02	3.693	385,4	10,4E-02
	Compressão Uniaxial após Ciclos Congelamento/Degelo	6.290	336,5	5,35E-02	4.243	67,95	1,60E-02	3.275	75,65	2,31E-02
	Flexão 3 Pontos	6.198	614,5	9,91E-02	4.390	56,13	1,28E-02	3.017	80,13	2,66E-02
	Flexão 4 Pontos	6.381	29,4	4,61E-03	4.359	33,5	7,69E-03	3.668	70,3	1,92E-02
Desgaste Abrasivo Amsler (mm)		0,76	0,07	9,21E-02	0,99	0,11	1,11E-01	0,48	0,12	2,50E-01
Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m°C)		5,8	0,49	8,45E-02	5,2	0,42	8,08E-02	6,8	0,42	6,18E-02
Impacto Corpo Duro	Espessura placas (cm)	2,6			3,0			3,2		
	Energia de Ruptura (J)	3,9	0,42	1,08E-01	4,6	0,27	5,87E-02	5,4	0,35	6,49E-02
	Altura de Ruptura (m)	0,39	0,04	1,03E-01	0,47	0,03	6,38E-02	0,55	0,04	7,27E-02

Tabela 3. Valores referenciais conforme especificado pelas normas ASTM C 615 (2005) e ABNT NBR 15844 (2010b).

Propriedades	ASTM C615	ABNT NBR 15844
	(2005)	(2010b)
Densidade Aparente (kg/m ³)	≥ 2560	≥ 2550
Porosidade Aparente (%)	n.e.	≤ 1,0
Absorção d'água (%)	≤ 0,4	≤ 0,4
Coeficiente de Dilatação Térmica (10 ⁻³ mm/m°C)	n.e.	≤ 8,0
Resistência ao Desgaste (mm/1.000m)	n.e.	≤ 1,0
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	≥ 131	≥ 100
Módulo de Ruptura (Flexão 3 Pontos) (MPa)	≥ 10,34	≥ 10,0
Resistência à Flexão 4 Pontos (MPa)	≥ 8,27	≥ 8,0
Resistência ao Impacto de Corpo Duro (m)	n.e.	≥ 0,3

Índices físicos

Para melhor visualização e interpretação dos resultados fornecidos pelas rochas estudadas foram efetuadas correlações entre a massa específica seca com o teor de minerais máficos e

da porosidade e absorção d'água com o grau de microfissuramento, conforme apresentado nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

Os valores de massa específica aparente (Figura 4) são substancialmente diferentes entre

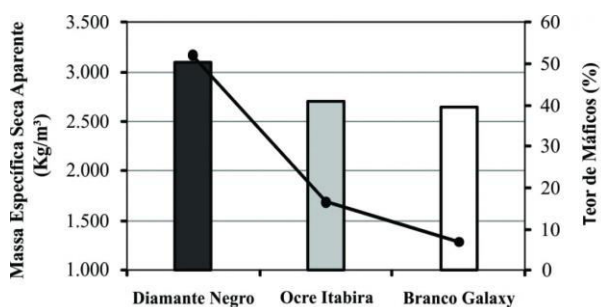


Figura 4. Correlação entre massa específica seca aparente (colunas) e teor de máficos (linha cheia).

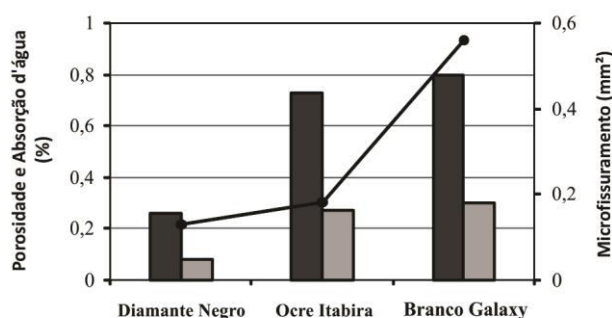


Figura 5. Correlação entre porosidade (colunas escuras), absorção d'água (colunas claras) e grau de microfissuramento (linha cheia).

as variedades de rochas estudadas e refletem a natureza composicional e a heterogeneidade textural entre os referidos tipos petrográficos, sendo que a massa específica mais elevada para o microgabro Diamante Negro (3.100 kg/m^3) deve-se ao seu maior teor de minerais máficos (52%), em contrapartida ao hornblenda sienito Ocre Itabira (2.705 kg/m^3) e ao pegmatito granítico Branco Galaxy (2.641 kg/m^3), respectivamente com 16,5% e 7% de minerais máficos. As três rochas apresentam massa específica superiores aos valores mínimos estipulados pelas normas C 615 (ASTM, 2005) e ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b), respectivamente de 2.560 kg/m^3 e 2.550 kg/m^3 .

A porosidade aparente e a absorção d'água dos três tipos analisados são, no geral, baixas, atendendo o especificado nas normas C 615 (ASTM, 2005) e NBR 15844 (ABNT, 2010), ou seja, respectivamente inferiores a 1% e 0,4%. O Branco Galaxy apresenta coerentemente os maiores valores de porosidade (0,80%) e absorção d'água (0,30%) justificados pela sua relativa anisotropia, heterogeneidade textural dada por granulação grossa a pegmatóide, com cristais de feldspato potássico e de quartzo que podem atingir 6 cm de dimensões, e elevado grau de microfissuramento (cerca de $0,56 \text{ microfissuras/mm}^2$), em sua maioria dada por

microfissuras abertas. Cabe, também, ressaltar a natural relação direta entre granulação da rocha e grau de microfissuramento mineral, no sentido dos minerais mais desenvolvidos apresentarem maior tendência ao microfraturamento, além de exibirem interfaces minerais relativamente mais frouxas. Estes fatores se evidenciam como variáveis de significativa importância quando se compara as diferenças dos índices de porosidade, absorção d'água e microfissuramento entre as rochas analisadas.

Já o melhor desempenho exibido pelo microgabro Diamante Negro, com 0,26% de porosidade e (0,08%) de absorção d'água, relaciona-se a homogeneidade petrográfica da rocha caracterizada pela estrutura isotrópica, textura equigranular de granulação fina (predominância entre 0,5 e 1,0 mm), baixo grau de microfissuramento ($0,13 \text{ microfissuras/mm}^2$) com incipiente comunicabilidade entre si e detentora de excelente imbricamento mineral.

O sienito Ocre Itabira, por sua vez, apresenta índices de porosidade (0,73%) e absorção d'água (0,27%) bem mais elevados que o tipo Diamante Negro e próximos aos exibidos pelo granito pegmatóide Branco Galaxy. Este comportamento do Ocre Itabira também se mostra coerente com sua textura inequigranular tipo pórfiro, com matriz de granulação média-grossa envolvendo megacristais de feldspato potássico com dimensões médias entre 5 e 15 mm, e com grau de microfissuramento intragrãos relativamente elevado, mas com cerca de 70% delas preenchidas por material filossilicático microcristalino.

Resistência à compressão uniaxial

Os valores de resistência à compressão uniaxial (Tabela 2) dos três tipos petrográficos situam-se acima dos 131 MPa estabelecido pela norma C 615 (ASTM, 2005) e dos 100 MPa considerado como requisito mínimo para granitos de acordo com a norma ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b).

A Figura 6 correlaciona os valores de resistência à compressão uniaxial dos três tipos rochosos com a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas. A velocidade de propagação de ondas ultrassônicas é um teste não destrutivo que permite de forma indireta conhecer a integridade da rocha, o que

influencia diretamente em sua resistência mecânica. Por sua vez, este parâmetro está intimamente relacionado aos aspectos físicos e petrográficos dos materiais, demonstrando uma interdependência complexa.

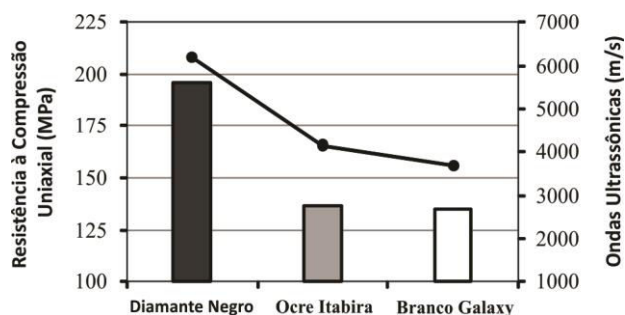


Figura 6. Correlação entre resistência à compressão uniaxial (colunas) e propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (linha cheia).

O Diamante Negro é a rocha que apresenta a maior tensão de resistência à compressão uniaxial (196 MPa), destacando-se dos outros dois materiais estudados (137 MPa para o Ocre Itabira e 135 MPa para o Branco Galaxy). Seu resultado tecnológico justifica-se pelo seu caráter isotrópico, excelente engrenamento mineral, granulação fina e incipiente estado microfissural, condições estas que conduzem às altas resistências mecânicas. O tamanho dos grãos minerais exerce influência primordial na resistência mecânica de uma rocha, de modo que quanto mais diminuto for, maior será o imbricamento mineral e conseqüentemente maior tendência à resistência mecânica.

O Ocre Itabira e o Branco Galaxy apresentam resultados bastante semelhantes entre si, com o primeiro fornecendo valor médio de resistência sutilmente maior que o outro. Ambos os materiais apresentam granulação mais grossa que o Diamante Negro. O sienito Ocre Itabira caracteriza-se por sua textura inequigranular, de matriz média-grossa com megacristais de ortoclásio e maioria dos contatos minerais lobulados, enquanto que o Branco Galaxy apresenta discreta anisotropia, elevada heterogeneidade textural dada por granulação grossa a pegmatóide, além de um maior grau de microfissuramento, em sua maior parte com planos aberto, evidenciado pela menor velocidade de seu pulso ultrassônico, o que justificaria sua resistência mecânica menor dentre os três materiais.

Resistência à compressão uniaxial após ciclos de congelamento e degelo

Os resultados obtidos para o ensaio de congelamento e degelo conjugado à compressão uniaxial são correlacionados com os resultados da resistência à compressão uniaxial ao natural e o respectivo coeficiente de enfraquecimento hidráulico (K) das rochas estudadas (Figura 7). O coeficiente de enfraquecimento K , segundo a norma ABNT NBR 12767 (ABNT, 1992d), é obtido pela relação entre o valor médio da resistência mecânica dos corpos-de-prova após 25 ciclos de congelamento e degelo e o valor médio da resistência mecânica dos corpos-de-prova ao natural ($K = \sigma_{cd}/\sigma_{nat}$).

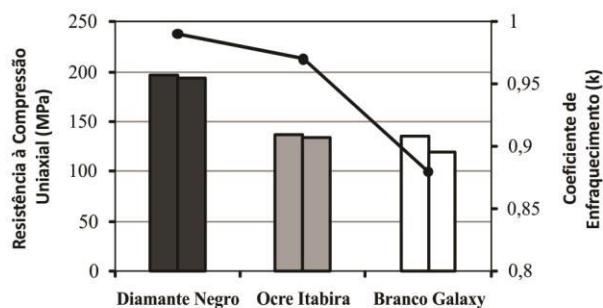


Figura 7. Correlação entre resistência à compressão uniaxial (colunas à esquerda), resistência à compressão uniaxial após congelamento e degelo (colunas à direita) e coeficiente de enfraquecimento (linha cheia).

O Diamante Negro apresentou um coeficiente de enfraquecimento K de apenas 0,99, ou seja, enfraqueceu apenas 1%, o que significa que sua integridade mecânica foi mantida mesmo após os 25 ciclos de congelamento e degelo. Este comportamento teria como fatores determinantes a sua baixíssima absorção d'água (0,08%) decorrente do baixo grau de microfissuramento (0,13 microfissuras/mm²), predominantemente do tipo intragrãos (85%), bem como de sua estrutura isotrópica com granulação fina e bom engrenamento mineral.

O Ocre Itabira, uma rocha de granulação média a grossa, também apresentou baixo coeficiente de enfraquecimento K (0,97), muito próximo ao do Diamante Negro, de 0,99. A justificativa estaria no fato do Ocre Itabira exibir cerca de 85% de microfissuras intragrão, com pelo menos 70% delas preenchidas, bem como por se tratar de uma rocha com estrutura homogênea e detentora de bom engrenamento

mineral, que no conjunto lhe proporciona a manutenção da resistência mecânica.

A variedade petrográfica Branco Galaxy é a que apresenta a maior queda da resistência mecânica após as ciclagens, com um coeficiente de enfraquecimento **K** de 0,88, que se destaca em relação às variedades Diamante Negro e Ocre Itabira. Sua maior degradação dentre as três rochas encontra respaldo nas suas características petrográficas dadas por discreta anisotropia estrutural, aspecto textural heterogêneo típico de rochas pegmatíticas e elevado grau de microfissuramento (0,56 microfissuras/mm²), cerca de três vezes superior ao do Ocre Itabira, com 0,18 microfissuras/mm².

Resistência à esforços flexores pelos métodos 3 e 4 pontos

Os resultados para o ensaio de resistência à flexão 3 e 4 Pontos, também denominados módulo de ruptura e tração na flexão, respectivamente, são ilustrados nas Figuras 8 e 9, correlacionados também com suas respectivas velocidades de propagação de ondas ultrassônicas.

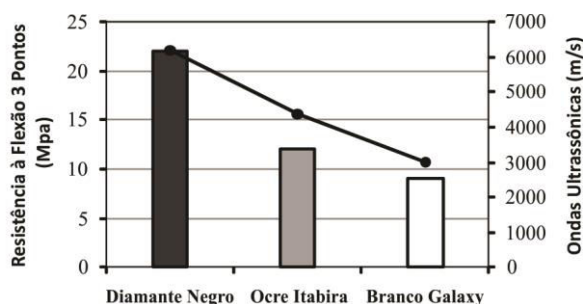


Figura 8. Correlação entre resistência à flexão 3 pontos (colunas) e propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (linha cheia).

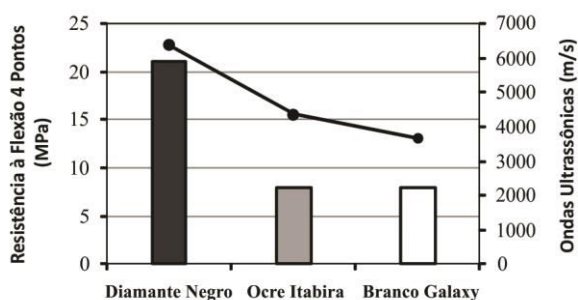


Figura 9. Correlação entre resistência à flexão 4 pontos (colunas) e propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (linha cheia).

Do ponto de vista qualitativo, o microgabro Diamante Negro é destacadamente a rocha mais resistente com tensão de ruptura equivalente a 22 MPa para flexão 3 Pontos e 21 MPa para flexão 4 Pontos, superando com larga margem os valores mínimos de 10 MPa para a flexão 3 Pontos e de 8 MPa para flexão 4 Pontos referidos pelas normas C 615 (ASTM, 2005) e ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b). Já o sienito Ocre Itabira com valores de tensão de 12 MPa para flexão 3 Pontos e 8 MPa para flexão 4 Pontos e o pegmatito Branco Galaxy com 9 MPa para flexão 3 Pontos e 8 MPa para flexão 4 Pontos se situam nos limites estabelecidos pelas referidas normas. Os valores das resistências oferecidos pelos materiais relacionam-se, similarmente ao que foi comentado para o caso da resistência à compressão uniaxial, às respectivas propriedades petrográficas intrínsecas inerentes a cada rocha. Assim, a maior resistência mecânica do microgabro está diretamente relacionada a sua estrutura isotrópica, granulação fina e grau de microfissuramento extremamente baixo, refletindo-se em excelente engrenamento mineral. Por outro lado, a menor resistência oferecida pelo Branco Galaxy é corroborada pela somatória de vários fatores como sua estrutura ligeiramente gnaissificada, textura fortemente inequigranular, de granulação grossa a pegmatóide que naturalmente conduz a interfácies minerais mais frouxas, elevado grau de microfissuramento caracterizado por fissuras inter- e transgranulares frequentemente desprovidas de preenchimentos, bem como pela presença de planos de clivagens bem mais evidentes e melhores desenvolvidos inerentes aos cristais de feldspato potássico das frações pegmatóides.

Destaca-se, entretanto, que os valores de tensão apresentados pelo pegmatito Branco Galaxy e pelo sienito Ocre Itabira não impedem que estes materiais sejam utilizados em revestimentos, sendo necessária a avaliação de outras propriedades relevantes, como a porosidade e o grau de alteração mineral, já que a resistência à flexão do material pode alcançar valores de tensão superiores aumentando-se a espessura da placa (MESONES, 2003). Além disso, ambas as normas estabelecem que o valor de resistência a ser considerado deva ser a média

mínima entre as quatro condições de ensaio possíveis: seco ou saturado e paralelo ou perpendicular à estrutura por ventura existente em determinada rocha, o que não ocorreu neste trabalho, já que o ensaio foi executado somente com amostras em estado seco. Assim, dada a heterogeneidade petrográfica do pegmatito Branco Galaxy, a condição ideal para que se conhecesse com precisão sua resistência à flexão seria realizar o ensaio sob as quatro formas mencionadas.

Resistência ao desgaste abrasivo Amsler

Os resultados do ensaio de resistência à abrasão pelo método Amsler (Tabela 2) estão representados graficamente na Figura 10, onde são correlacionados com os teores de quartzo de cada rocha analisada.

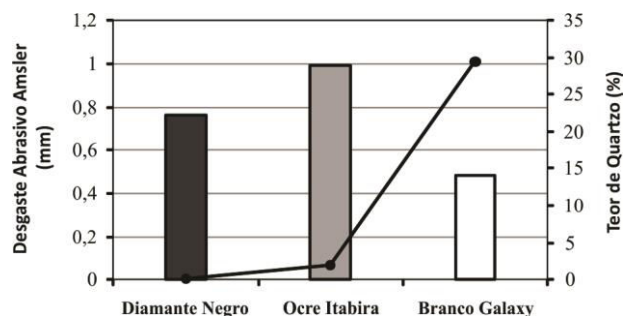


Figura 10. Correlação entre desgaste abrasivo Amsler (colunas) e teor de quartzo (linha cheia).

De forma geral, os valores de desgastes abrasivos obtidos apresentam bons resultados do ponto de vista tecnológico, próximos ao máximo sugerido pela norma ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b), de $\leq 1,0$ mm.

Para interpretação dos dados referentes ao desgaste abrasivo tem-se que os aspectos petrográficos mais influentes para os materiais são: dureza dos minerais presentes, textura (arranjo e granulação dos constituintes minerais), teor e dimensão dos cristais de quartzo, anisotropia do material rochoso, estado e tipo de microfissuramento e grau de alteração mineral.

O microgabro Diamante Negro, com desgaste abrasivo intermediário dentre os três materiais (0,76 mm), justifica seu resultado tecnológico pela combinação de determinadas propriedades petrográficas intrínsecas tais como granulação fina, bom engrenamento mineral, baixo grau de microfissuramento intergrãos e boa sanidade da rocha. Quanto à composição

mineralógica, apesar do quartzo estar praticamente ausente, apresenta plagioclásio e clinopiroxênio em grandes quantidades, minerais de dureza entre 5 e 6. Contudo, numa situação prática, a percepção visual empírica da perda de lustro devido ao desgaste abrasivo seria mais notada neste material do que nos outros, dada a coloração marcadamente preta.

O sienito Ocre Itabira, também com baixo teor de quartzo (apenas 2,5%), apresenta o maior desgaste dentre os tipos estudados (0,99 mm). Apesar de conter 66% de feldspato potássico, mineral de dureza 6, sua granulação é média a grossa, com elevado teor de megacristais de ortoclásio, os quais apresentam contatos minerais mais frouxos e microfissuramento pronunciado, facilitando assim a remoção de partículas durante a solitação de desgaste. Além disso, os megacristais de ortoclásio são mesopertíticos com frequentes bordas mimerquíticas imersos em matriz com discreta presença de quartzo intersticial, o que conduz a marcante descontinuidade física do conjunto mineral com consequente diminuição da resistência abrasiva da rocha.

Em relação ao pegmatito Branco Galaxy, com a maior resistência ao desgaste abrasivo dentre as três rochas (0,48 mm), a justificativa reside essencialmente na sua composição mineralógica com cerca de 30% de quartzo (de dureza 7 na escala de Mohs) em dimensões consideráveis, com cristais entre 5 e 30 mm, além de 50% de microclínio (dureza 6), onde tais cristais representariam então pontos de resistência. No entanto, por se tratar de uma rocha essencialmente quartzo-feldspática, o desgaste obtido ainda pode ser considerado elevado. Dessa forma, conclui-se que a anisotropia do material, dada pelos agregados estirados de biotitas, e em menor escala pelos leitos de sillimanita, o elevado grau de microfissuramento (0,56 microfissuras/mm²), além da granulação grossa a pegmatóide que conduz a um engrenamento mineral menos coeso, foram características petrográficas que também influenciaram no desgaste relativamente elevado para uma rocha quartzo-feldspática.

Resistência ao impacto de corpo duro

A determinação da resistência ao Impacto de Corpo Duro foi realizada segundo as diretrizes

da norma ABNT NBR 15845 - Anexo H (ABNT, 2010a), cujos resultados da resistência ao impacto (altura em metros) e para a energia de ruptura em Joule encontram-se expressos na Tabela 2. Os resultados médios de resistência ao impacto fornecidos pelas três rochas, entre 0,39 m e 0,55 m de altura, superam o valor referencial de 0,3 m de altura para a ruptura considerado pela norma ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b).

A Figura 11 ilustra os valores de resistência ao impacto de corpo duro e a Figura 12 apresenta a energia de ruptura correlacionada à espessura dos corpos-de-prova utilizados. Tais correlações é, em parte, prejudicada pelo fato das placas utilizadas no presente ensaio apresentarem diferentes espessuras, com médias de 2,6 cm para o microgabro Diamante Negro, de 3 cm para sienito Ocre Itabira e de 3,2 cm para o granito Branco Galaxy (Tabela 2), o que dificulta uma comparação mais acurada das resistências ao impacto entre as três rochas analisadas.

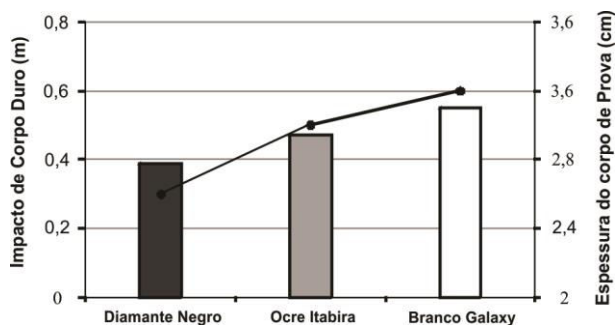


Figura 11. Resistência ao impacto de corpo duro (colunas) e espessura do corpo de prova (linha cheia).

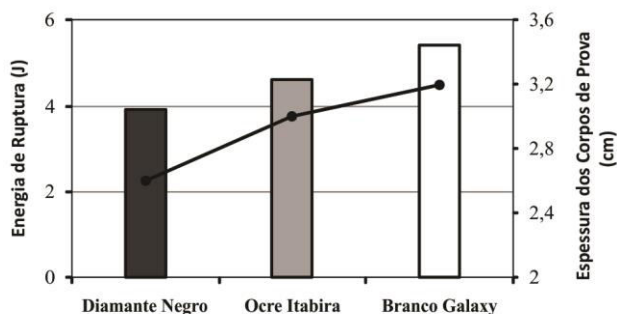


Figura 12. Correlação entre energia de ruptura (colunas) e espessura dos corpos de prova utilizados (linha cheia).

As propriedades petrográficas que mais diretamente influenciam no controle da resistência ao impacto das rochas são a natureza composicional e os aspectos texturais e estruturais como anisotropia, dimensões e imbricamento mineral, microfissuramento e

grau de alteração mineral. As rochas anisotrópicas apresentam planos de fraqueza dados pela orientação mineral, foliação metamórfica, bandamento composicional e dobramento estrutural, os quais representam planos de descontinuidade física do material e que as tornam mais frágeis que as rochas isotrópicas frente às sollicitações de impacto. Da mesma forma, materiais de granulação mais grossa e com texturas megaporfíricas tendem a apresentar maior grau microfissural e imbricamento mineral menos coeso, o que também diminui a resistência da rocha. O mesmo pode ser dito de materiais que apresentam grau de alteração mineral considerável, uma vez que os cristais deteriorados são conseqüentemente mais porosos e friáveis, exercendo assim influência direta na fragilização, perda de coesão e resistência ao impacto da rocha.

Dentre as rochas analisadas, apesar do microgabro Diamante Negro ter se comportado como a rocha com as maiores resistência à compressão uniaxial e aos esforços flexores em relação às outras duas rochas, reflexo de sua granulação fina e caráter isotrópico, apresentou, em virtude da menor espessura das placas utilizadas no ensaio, os menores valores de energia (3,9 J) e altura de ruptura (0,39 m). Destaca-se, entretanto, que sua resistência ao impacto superou o valor referencial de 0,3 m de altura para a ruptura considerado pela norma ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b) para corpos-de-prova com espessura padrão de 3 cm, o que vem a confirmar a boa resistência mecânica da rocha.

O sienito Ocre Itabira apresentou resistência ao impacto intermediária dentre os três materiais, tanto para a energia (4,6 J) quanto para a altura de ruptura (0,47 m). Seguindo-se a lógica do caso anterior, a resistência ao impacto encontrada condiz com as espessuras dos ladrilhos utilizados (3,0 cm), também medianas dentre os corpos de prova dos outros dois materiais.

Por sua vez, o Branco Galaxy é o material detentor da maior resistência ao impacto (0,55 m) e energia média de ruptura (5,4 J). Pela perspectiva da espessura, o resultado encontrado também é coerente, dado que as placas utilizadas para este material possuíam espessuras maiores (3,2 cm) que as outras duas

rochas estudadas, requerendo assim uma maior energia para ruptura. Tais resultados evidenciam a influência da espessura da placa na resistência de ruptura de um determinado material rochoso. Este fato se torna evidente tomando-se como exemplo o caso do granito Branco Galaxy que exibe resistência à flexão 4 Pontos (de 8MPa) bem inferior ao fornecido pelo microgabro Diamante Negro (21MPa), reflexo de suas propriedades petrográficas inerentes a sua textura inequigranular de granulação média-grossa a pegmatóide com elevado grau de microfissuramento, predominantemente do tipo intergrão, mas que se mostra mais resistente à ruptura pelo impacto de uma esfera padrão ao se utilizar para o ensaio uma placa com apenas 0,6 cm mais espessa que a empregada nos testes com o microgabro Diamante Negro.

Propagação de ondas ultrassônicas

As Figuras 13 a 15 representam os resultados de determinação das velocidades médias de propagação de ondas ultrassônicas para os corpos-de-prova utilizados nos ensaios de compressão uniaxial e flexores, os quais são correlacionados com o microfissuramento das rochas estudadas.

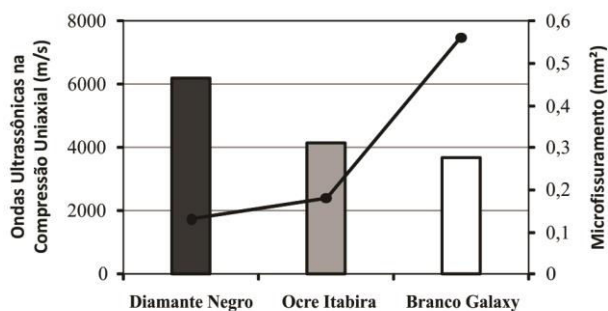


Figura 13. Correlação entre propagação de ondas ultrassônicas na compressão uniaxial (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia).

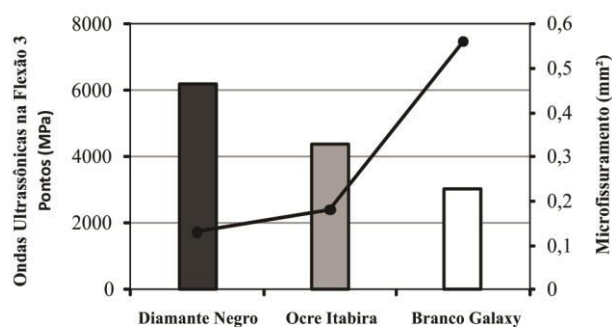


Figura 14. Correlação entre propagação de ondas ultrassônicas na flexão 3 pontos (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia).

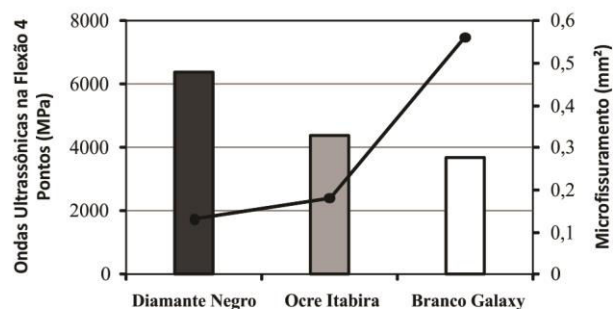


Figura 15. Correlação entre propagação de ondas ultrassônicas na flexão 4 pontos (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia).

Considerando-se que a ABNT não apresenta valores referenciais para a propagação de ondas ultrassônicas, os resultados fornecidos pelas rochas foram comparados com o valor da média das rochas silicáticas brasileiras obtido por Frazão & Farjallat (1995), ou seja, ≥ 4.000 m/s.

Dentro deste contexto, as variedades comerciais Ocre Itabira e Diamante Negro apresentam valores de propagação de ondas ultrassônicas (Tabela 2) acima do obtido por Frazão e Farjallat (1995), condizentes com suas resistências mecânicas e propriedades petrográficas intrínsecas. Já o pegmatito Branco Galaxy apresentou valores inferiores às outras duas rochas para os três formatos de corpos-de-prova estudados (3.693 m/s para a compressão uniaxial; 3.017 m/s para a flexão 3 Pontos e 3.668 m/s para a flexão 4 Pontos).

No que diz respeito à correlação com os aspectos petrográficos, as velocidades fornecidas pelas rochas estudadas mostram boa coerência com as características petrográficas inerentes a cada rocha, principalmente em relação à composição mineralógica, granulação e microfissuramento dos materiais. Assim, dentre o conjunto estudado o microgabro Diamante Negro é a rocha que apresenta as maiores velocidades de propagação de ondas (6.189 m/s para a compressão uniaxial; 6.198 m/s para a flexão 3 Pontos e 6.381 m/s para a flexão 4 Pontos) refletindo, além de sua granulação fina, seu baixo grau de microfissuramento e sua composição mineralógica rica em minerais máficos, como o clinopiroxênio (augita), o qual, segundo Rzhovsky & Novik (1971), possui velocidades de propagação de ondas ao redor de $7,1 \cdot 10^3$ m/s.

O sienito Ocre Itabira apresentou velocidades intermediárias em relação às outras

duas rochas (4.161 m/s para a compressão uniaxial; 4.390 m/s para a flexão 3 Pontos e 4.359 m/s para a flexão 4 Pontos). Apesar de sua estrutura isotrópica e bom engrenamento mineral, a rocha apresenta textura tipo pórfiro e granulação média a grossa, além do elevado microfissuramento intragrão e a riqueza em filetes de pertita nos cristais de ortoclásio, características petrográficas que contribuem para diminuir a velocidade de propagação das ondas. Também sua composição mineral representada por 66% de ortoclásio (entre matriz e fenocristais), que segundo Rzhovsky & Novik (1971) apresenta velocidade média de $5,68 \cdot 10^3$ m/s, contribui para uma menor velocidade das ondas ultrassônicas em relação ao microgabro de natureza máfica. Ainda há de se considerar que no presente caso os cristais maiores de ortoclásio são mesopertíticos.

O Branco Galaxy, rocha quartzo-feldspática de elevada heterogeneidade textural, caracterizada por granulação geral grossa a pegmatóide, é a que apresenta as menores velocidades de ondas ultrassônicas dentre o conjunto estudado. Apesar do quartzo apresentar propagação ultrassônica ainda maiores que a do ortoclásio, com $6,32 \cdot 10^3$ m/s segundo o eixo *c* e $5,71 \cdot 10^3$ m/s ao longo do eixo *b* (Rzhovsky & Novik, 1971), tanto o quartzo quanto o próprio ortoclásio se apresentam bastante microfissurados, responsáveis praticamente pelo 0,56 microfissuras/mm² da rocha, contra os 0,13 microfissuras/mm² do Diamante Negro e 0,18 microfissuras/mm² do Ocre Itabira. Além disso, os megacristais de ortoclásio apresentam planos de clivagens e relações de contatos minerais mais frouxos, os quais também configuram descontinuidades físicas que no conjunto contribuem para atenuar a velocidade de propagação de ondas da rocha.

Coefficiente de dilatação térmica linear

Os coeficientes de dilatação térmica linear dos três materiais analisados situam-se abaixo do valor referencial estabelecido pela ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b), demonstrando boa correlação com os aspectos petrográficos inerentes a cada um dos três tipos.

Os valores do coeficiente de dilatação térmica para as rochas estudadas encontram-se correlacionados com os teores de quartzo e microfissuramento nas Figuras 16 e 17.

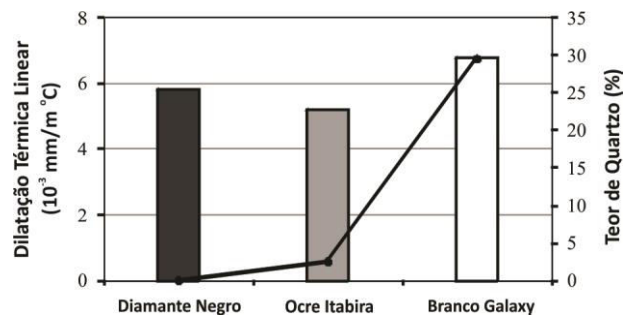


Figura 16. Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear (colunas) e teor de quartzo (linha cheia).

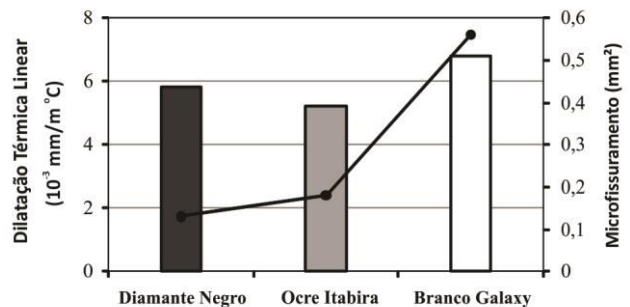


Figura 17. Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear (colunas) e grau de microfissuramento (linha cheia).

As duas rochas com menores coeficientes de dilatação são o Diamante Negro ($5,8 \times 10^{-3}$ mm/m °C) e o Ocre Itabira ($5,2 \times 10^{-3}$ mm/m °C), já que são rochas com pouco ou praticamente isentas de quartzo (Tabela 1), mineral que exibe grande expansão. O valor do coeficiente de dilatação fornecido pelo material Diamante Negro é considerado coerente com seus aspectos petrográficos. Segundo dados de Rzhovsky & Novik (1971), rochas de composição básica como basaltos, diabásios e gabros apresentam valores de dilatação na ordem de $5,4 \times 10^{-3}$ mm/m °C. Comparativamente, o Diamante Negro deveria apresentar um coeficiente de dilatação menor que o Ocre Itabira, porém, como este material apresenta grau mais elevado de microfissuramento, com cerca de 20% das microfissuras abertas, acaba por sofrer um amortecimento (redução) na dilatação. Por outro lado, o Diamante Negro com granulação mais fina e praticamente desprovido de microfissuramento apresenta maior expansão.

O Branco Galaxy, em função do seu teor de quartzo (30%) com dimensões avantajadas, deveria apresentar um coeficiente de dilatação pouco superior ao $6,8 \times 10^{-3}$ mm/m °C então fornecido. Este valor pouco inferior ao

esperado provavelmente esteja relacionado ao elevado grau de microfissuramento geral da rocha, em muitos casos visíveis mesmo a olho nu, e pela frequente presença de planos de

clivagens relativamente abertos do feldspato potássico, responsáveis pelo amortecimento na dilatação, cuja expansão estaria na dependência do fechamento das microfissuras.

INDICAÇÕES DE USO

As indicações de uso estão fundamentadas basicamente no comportamento físico-mecânico das rochas estudadas. Não estão sendo considerados aspectos de alterabilidade sob ação de agentes quimicamente ativos, os quais também podem influenciar, ou mesmo alterar as sugestões de uso.

De forma geral, o resultado tecnológico fornecido pelas rochas estudadas permite considerar que todos os materiais são indicados para utilização como rochas ornamentais e para revestimento em obras civis. No entanto, por se tratar de tipos petrográficos distintos, o que obviamente configura comportamentos tecnológicos também distintos, as indicações de uso de cada um dos materiais é diferenciada, principalmente quanto ao local da aplicação e às solicitações mecânicas a que estarão sujeitas durante uso.

Assim, de posse de todas as informações de caracterização tecnológica apresentadas ao longo deste trabalho é possível sugerir algumas aplicações para as rochas estudadas, levando-se em consideração suas propriedades petrográficas intrínsecas.

O microgabro Diamante Negro com sua elevada resistência mecânica e os menores índices de absorção d'água e de porosidade pode ser utilizado como material estrutural, para aplicação em fachadas, em revestimentos verticais e horizontais de interiores, balcões e tampos de mesa em geral. Devido à quase ausência de quartzo e ao resultado de desgaste abrasivo (0,76 mm), sugere-se que a aplicação como revestimento de áreas de exteriores deve restringir-se à ambientes de baixo a médio tráfego, embora este tipo de recomendação requeira estudos mais aprofundados, como o de desempenho tecnológico, para se afirmar com precisão.

O sienito Ocre Itabira também apresenta boas características físico-mecânicas. Considerando suas elevadas resistências mecânicas, é coerente designar o material para aplicações em

revestimentos de interiores (vertical e horizontal) em ambientes domésticos e revestimentos externos em áreas de baixo tráfego, haja vista seu elevado desgaste abrasivo (0,99 mm) em relação aos outros materiais. Nesse sentido, e levando-se em consideração os índices de porosidade e de absorção d'água obtidos, pode-se inferir possíveis problemas de manchamentos em função de certa facilidade na percolação da água. Por outro lado, a confecção de peças isoladas como colunas, pilares e tampos de mesa também são indicadas.

O Branco Galaxy é o material com as menores resistências mecânicas dentre os materiais estudados. Em virtude da porosidade e absorção d'água pouco mais elevadas, mas dentro dos parâmetros referenciais especificados pelas normas C 615 (ASTM, 2005) e ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b), o material é particularmente indicado para ambientes secos, como revestimentos de interiores, tampos de mesa e bancadas, devendo as condições de uso em ambientes úmidos como pias de cozinha, lavabo e revestimentos de exteriores serem avaliadas previamente à aplicação. Sob o ponto de vista mecânico apresenta resistência à compressão acima dos valores referenciais estabelecido pelas normas C 615 da ASTM (ASTM, 2005) e ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010b) e resistências flexoras no limite ou pouco abaixo dos valores sugeridas pelas referidas normas, indicando que o mesmo pode ser utilizado em fachadas e revestimentos, além do emprego como elemento estrutural, uma vez adaptada sua espessura para o projeto pretendido. Para o desgaste abrasivo Amsler, esta rocha obteve resultado tecnológico adequado, dado o elevado teor de quartzo presente na composição mineralógica. Assim, a utilização do Branco Galaxy em revestimentos horizontais de interiores e exteriores em locais de alto tráfego é permitida, mas recomendada para ambientes secos.

CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou estabelecer correlações entre as propriedades petrográficas e os respectivos comportamentos tecnológicos de três rochas ornamentais de natureza silicática e detentoras de distintos aspectos composicionais, texturais e estruturais, representadas por um microgabro (Diamante Negro), um hornblenda sienito com quartzo (Ocre Itabira) e um granito pegmatóide com granada e sillimanita (Branco Galaxy).

No geral foi constatada uma boa correlação entre os dois conjuntos de dados, onde grande parte das correlações entre propriedades petrográficas e valores físico-mecânicos se mostraram diretas e evidentes. Cabe, neste caso, destacar que as correlações entre os referidos dados na avaliação comparativa do comportamento tecnológico entre os materiais selecionados são favorecidas pela utilização de rochas pertencentes a distintos grupos petrográficos e detentoras de marcantes diferenças texturais, ou seja, um microgabro de granulação fina, um hornblenda sienito de granulação média-grossa e um granito pegmatóide.

Assim, verifica-se uma correlação direta entre o grau de microfissuramento das rochas e suas porosidade e capacidade de absorção d'água (figura 5). O grau de microfissuramento é mais intenso no granito pegmatóide (Branco Galaxy) que nas duas outras rochas (microgabro Diamante Negro). Neste caso as granulações média-grossas do referido granito e do hornblenda sienito (Ocre Itabira) também favorecem a maior porosidade e absorção d'água em relação ao microgabro Diamante Negro, já que o aumento da granulação de uma rocha tende a produzir contatos minerais mais frouxos. Também se verifica relação direta entre o teor de minerais máficos e a massa específica seca (figura 4), maiores para o microgabro, seguido pelo hornblenda sienito e pelo granito.

Uma correlação direta envolvendo resistência mecânica, grau de microfissuramento e correspondentes propagações de ondas ultrassônicas (figuras 6, 8, 9, 13, 14 e 15). Assim, o microgabro Diamante Negro detentor de baixíssimo grau de microfissuramento e granulação fina, o que resulta num imbricamento mineral mais intenso, se destaca como a rocha

com as maiores resistências mecânicas e velocidades das ondas ultrassônicas em relação às outras duas rochas com grau de microfissuramento mais elevado e de maiores granulações.

Uma boa correlação entre o teor de quartzo das rochas e o desgaste abrasivo tipo Amsler (figura 10), o que reflete a maior resistência abrasiva do quartzo em relação à dos feldspatos e demais minerais máficos. A menor resistência ao desgaste abrasivo do hornblenda sienito Ocre Itabira, com cerca de 2,5% de quartzo, em consideração ao microgabro Diamante Negro, isento de quartzo, estaria relacionada ao maior grau de microfissuramento, granulação mais desenvolvida e relações de contatos minerais mais frouxos exibidos da primeira rocha, fatores estes que facilitam a remoção de partículas minerais durante a solicitação de desgaste abrasivo.

Uma correlação relativamente coerente entre teor de quartzo e dilatação térmica linear (figura 16), já que o granito pegmatóide com cerca de 30% de quartzo (o qual exibe grande expansão) apresenta a maior dilatação dentre as três rochas. Entretanto, o hornblenda sienito Ocre Itabira com cerca de 2,5% de quartzo exibe dilatação pouco inferior ao do microgabro Diamante Negro, desprovido de quartzo. Este fato estaria relacionado ao maior grau de microfissuramento da primeira rocha (figura 17), além de sua maior granulação com consequentes interfícies minerais mais frouxas, tendo em vista que em rochas com baixo grau de microfissuramento a dilatação se reflete diretamente num aumento do volume, enquanto em rochas com elevado grau de microfissuramento parte da expansão é absorvida pelo fechamento das fissuras. Tal consideração permitiria, ainda, concluir que a dilatação do granito pegmatóide seria superior caso seu grau de microfissuramento fosse menos pronunciado.

Com relação ao ensaio de resistência ao impacto de corpo duro as possíveis correlações entre as três rochas e respectivas propriedades petrográficas são prejudicadas pelo fato das placas utilizadas nos ensaios apresentarem diferentes espessuras (figuras 11 e 12). Destaca-se, entretanto, que a boa resistência ao impacto apresentada pelo microgabro Diamante Negro

deve-se às suas características petrográficas intrínsecas como granulação fina, excelente imbricamento mineral, estrutura muito compacta e baixíssimo grau de microfissuramento. Já entre o granito pegmatóide Branco Galaxy e o hornblenda sienito Ocre Itabira, com pequenas diferenças nas espessuras médias dos corpos de prova, a resistência bem mais elevada da primeira rocha estaria relacionada à sua natureza composicional granítica caracterizada pelo maior imbricamento mineral, ao passo que o hornblenda sienito exibe textura porfírica, do tipo “cumulática”, o que propicia menor entrelaçamento mineral com consequente redução da resistência do ladrilho submetido ao impacto.

O presente trabalho mostrou que a análise mineralógica-textural-estrutural foi bastante

eficiente na avaliação do comportamento físico-mecânico das rochas estudadas, o que vem confirmar a importância da análise petrográfica na estimativa preliminar e orientativa para o conhecimento das propriedades tecnológicas de rochas, servindo, conseqüentemente, como critério auxiliar para uma correta especificação dos materiais pétreos destinados ao revestimento em obras civis. Ressalta-se, entretanto, que apesar de determinada característica mineralógica, textural ou estrutural ser mais relevante para uma ou mais propriedades físicas ou mecânicas analisadas, a avaliação do conjunto das propriedades tecnológicas de cada rocha está na interdependência dos diversos parâmetros petrográficos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro prestado a esta pesquisa através do processo 132279/2009-6.

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: ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação da resistência à compressão. NBR 12767. Rio de Janeiro, 1992d, 2 p.
5. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento: determinação da resistência à flexão. NBR 12763. Rio de Janeiro, 1992e, 3 p.
6. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais inorgânicos: determinação do desgaste por abrasão. NBR 12042. 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: resistência ao impacto de corpo duro. NBR 15845 - Anexo H. Rio de Janeiro, 2010a, p. 29-32.
9. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para Revestimento - Requisitos para Granitos. NBR 15844. Rio de Janeiro, 2010b, p. 1-2.
10. ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2013**. Informe 01/2014. Disponível em: www.abirochas.com.br. Acesso em: 10/10/2014. 2014.
11. 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 -19.
12. ARTUR, A.C.; H.P. VIGÁRIO; NAVARRO, F.C. Efeito do aumento dos ciclos de gelo/degelo no âmbito da Norma NBR 12769 para avaliação do decaimento da resistência à compressão uniaxial de granitos ornamentais. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, 2005, Recife. **Anais...** Rio de Janeiro: Centro Tecnológico Mineral/MCT, 2005, p. 10-22.
13. ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Granite Dimension Stone. Standard **C 615**. West Conshohocken, 2005, 2p.
14. 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, 2008, 3 p.
15. ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Flexural strength of natural building stone. **C 880**. West Conshohocken, 2009, 3 p.

16. FRASCÁ, M.H.B. de O. Rochas ornamentais e para revestimento: variedade, propriedades, uso e conservação. In: MELLO, I.S.C (Coordenador), **A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo - diretrizes e ações para inovação e competitividade**. São Paulo: IPT, p. 153-191, 2004.
17. 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 – Cimento de Portugal S.A., 1995, p. 47-58.
18. MATTOS, I.C.; ARTUR, A.C.; NOGUEIRA NETO, J.A. Correlação entre propriedades petrográficas e tecnológicas dos granitos ornamentais do *Stock* Serra do Barriga, Sobral/CE. V In: SIMP. ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, Recife. **Anais...** Recife: PPGEMinas/SBG, 2005, p. 47-64.
19. MENDES, J.C.; WIEDEMANN, C. M.; MCREATH, I. Norito e charnoenderbitos da borda do Maciço Intrusivo de Venda Nova, Espírito Santo. **An. Inst. Geo.**, v. 25: 99-124. 2002.
20. MESONES, F.L.G. La interpretación de los ensayos de caracterización de la piedra natural, en el marco de la nueva normativa europea. In: MINI-FORO, **Iberoeka de Mármoles y Granitos**, 2003, Salvador. **Atas...** Rio de Janeiro: CETEM/CYTED/CNPq., 2003, p. 83-98.
21. MEYER, A.P.; ARTUR, A.C.; NAVARRO, F.C. Principais fatores petrográficos condicionantes da resistência ao ataque químico em rochas de revestimento. In: SIMP. ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/BG, 2003, p. 153-164.
22. NAVARRO, F. C. Granitos ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico. In: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2., Punta del Este. **Actas...** Montevideu: Sociedad Uruguaya de Geología; Facultad de Ciências, 1998, p. 103-107.
23. NAVARRO, F.C. & ARTUR, A.C. Correlação entre características petrográficas e propriedades tecnológicas de granitos ornamentais: proposição de equações matemáticas. In: SIMP. BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, I, E SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, II, 2001, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002a, p. 45-52.
24. NAVARRO, F.C. & ARTUR, A.C. Caracterização petrográfica como ferramenta para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais: uma discussão. In: SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/UFPE, 2002b, p. 02-09.
25. NAVARRO, C.N.; FERREIRA, A.F.; ARTUR, A.C.; GALEMBECK, T.M.B. Influence of mineral composition and texture to thermal expansion coefficient of silicatic dimension stones. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1, E SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2, 2005, Guarapari. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/CETEMAG, 2005, CD-ROM (6 páginas), Ref. 064.
26. PLGB - PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL. **Colatina - geologia e metalogenia da Folha SE-24-Y-C-VI (Colatina), Estado do Espírito Santo, Escala 1:100.000**. P. M. Tuller (Organizador). DNPM/CPRM, Brasília, 176 p. 1993.
27. RADAMBRASIL - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha SD-24 Salvador: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, v. 24, 620 p., 1981.
28. 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.
29. RZHEVSKY, V. & NOVIK, G. **The physics of rocks**. Moscow: MIR Publishers, 320 p., 1971.

*Manuscrito recebido em: 06 de Novembro de 2011
Revisado e Aceito em: 11 de Agosto de 2015*