



O Efeito do Microfissuramento no Desenvolvimento de Patologias em Rochas Ornamentais: O Exemplo dos Granitos Branco Viena e Branco Itaúnas
The Effect of Microcracks in the Development of Pathologies in Dimension Stones: The Examples of Branco Viena and Branco Itaúnas Granites

Salomão Silva Calegari^{1,2}; Caroline Cibele Vieira Soares²; Marcos Eduardo Hartwig²; Edgar Batista de Medeiros Júnior³; Rodson de Abreu Marques² & Mariana Pontello²

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha, Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia,

Avenida Antônio Carlos, 6627, 31270-901, Pampulha, Belo Horizonte, MG, Brasil

²Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, Departamento de Geologia,

Alto Universitário, s/n, 29500-000, Guararema, Alegre, ES, Brasil

³Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia, Campus Morro do Cruzeiro, s/n, 35400-000, Bauxita, Ouro Preto, MG, Brasil

E-mails: salomaocalegari@hotmail.com; carolinecvsoares@gmail.com;

marcos.hartwig@ufes.br; edgarjr@ymail.com; rodsonabreu@gmail.com; marianapontello@hotmail.com

Recebido em: 02/11/2018 Aprovado em: 01/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_514_524

Resumo

O objetivo do presente estudo foi o de investigar as causas das patologias (pequenos pontos acastanhados) que surgem nos granitos Branco Viena e Branco Itaúnas durante ou logo após o seu desdobramento em chapas, o que afeta a sua comercialização. Para tanto, estes materiais foram analisados quanto a suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas. Os resultados revelaram diferenças marcantes na densidade, abertura e padrão de distribuição de microfissuras entre os dois materiais, bem como na porosidade aparente, absorção d'água e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas. Os dados revelaram que as patologias são causadas pelo microfissuramento dos materiais, sendo este efeito mais pronunciado no granito Branco Itaúnas. Os pontos acastanhados (óxido de Fe) são o produto da alteração química (acelerada) de cristais de granada (Almandina).

Palavras-chave: Rochas ornamentais; Microfissuramento; Patologias.

Abstract

The goal of this study was to investigate the causes of pathologies (small brownish spots) that appear in the Branco Viena and Branco Itaúnas granites during or shortly after its sawing into plates, which affects their commercialization as dimension stones. To do so, these materials were analyzed for their physical, chemical and mineralogical properties. The results showed remarkable differences in the density, aperture and distribution pattern of microcracks between the two materials, as well as in the apparent porosity, water absorption and ultrasonic wave propagation velocity. The data revealed that the pathologies are caused by the microcracking of both materials, being this effect more pronounced in Branco Itaúnas granite. The brownish spots (Fe oxide) are the product of accelerated chemical weathering of garnet crystals (Almandine).

keywords: Dimension stones; Microcracks; Pathologies.

1 Introdução

Dentre os fatores que comandam o mercado de rochas ornamentais, destacam-se o padrão estético, associado diretamente à aceitação de mercado, e a funcionalidade do material (Frasca, 2014). No campo da funcionalidade, as especificações tecnológicas da rocha e o tipo de finalidade empregada são características determinantes para a comercialização do material. Características essas estabelecidas pela natureza geológica e o modo de ocorrência da rocha.

Atualmente são conhecidos mais de dez centenas de nomes comerciais ou tipos de rochas ornamentais exploradas no Brasil. Alguns desses materiais apesar de possuírem padrões estéticos semelhantes, apresentam características tecnológicas e petrológicas distintas, resultando em comportamen-

tos diferentes frente ao tipo de aplicação (e.g., pisos, fachadas, pias, etc.).

Neste contexto, o presente estudo foi concebido a partir da necessidade de se investigar o potencial de alteração natural das rochas ornamentais comercialmente conhecidas como granitos Branco Viena e Branco Itaúnas. Essas ocorrências estão localizadas no sul do estado da Bahia, próximo aos limites estaduais de Minas Gerais e do Espírito Santo (Figura 1).

Esses materiais são de cores claras e de mineralogia semelhante (Figura 2) mas possuem diferentes padrões de alteração após a sua extração e desdobramento em chapas brutas. No granito Branco Itaúnas, essa patologia ocorre como pontos, localizados sobre ou próximos a granadas (Figura 2A),

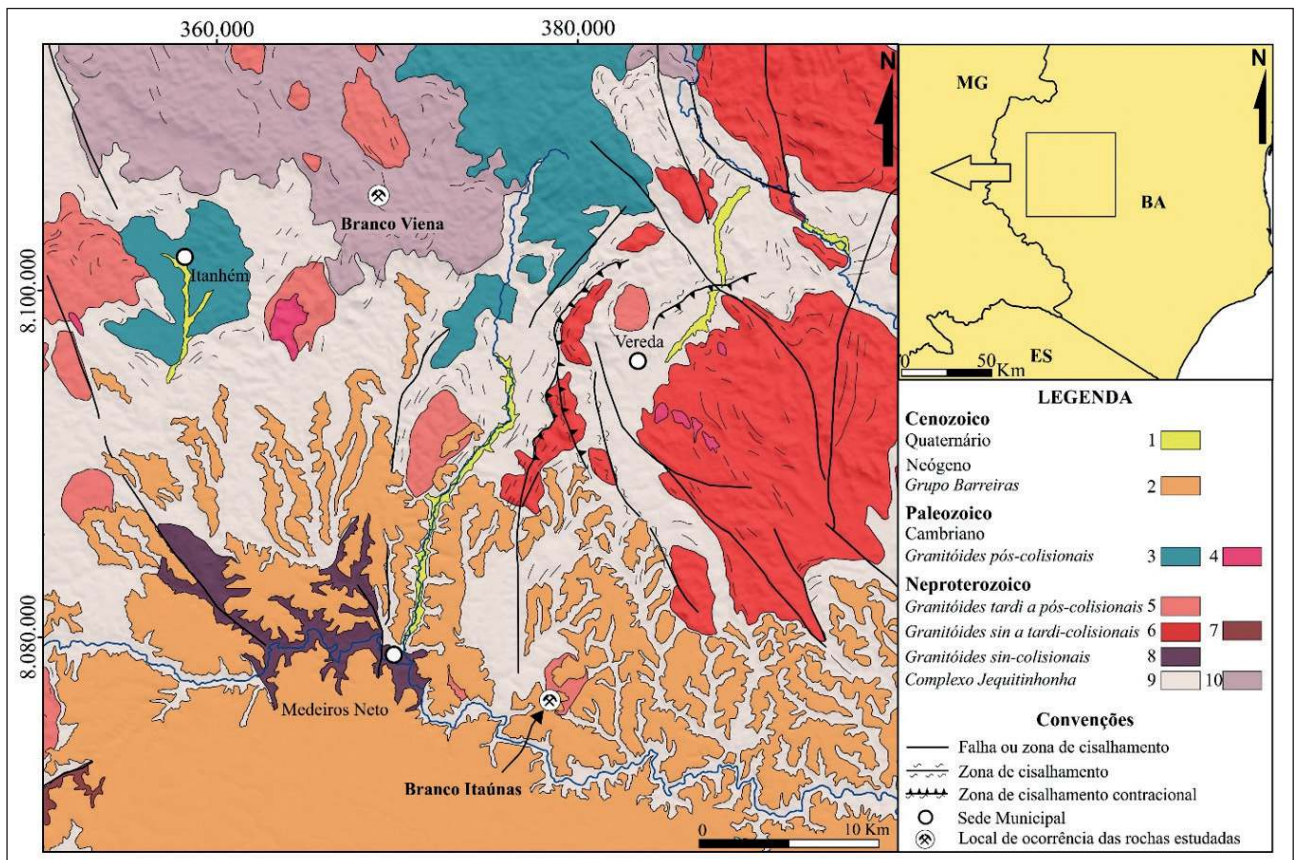


Figura 1 Mapa geológico da região estudada (Modificado de Sampaio *et al.*, 2004). Legenda: 1 = depósitos e terraços aluviais; 2 = arenito imaturo, com intercalações de níveis argilosos e conglomeráticos; 3 = enderbita a charnoenderbita e mangerito; 4 = sienito a monzogranito; 5 = sienogranito; 6 = granito; 7 = granito a granodiorito porfirítico; 8 = granodiorito a tonalito milonitizados; 9 = gnaisses kinzigíticos migmatíticos bandados com bandas entre 0,2 m e 2 m.; 10 = gnaisses kinzigíticos migmatíticos bandados com bandamento milimétrico a centimétrico. Estados: MG = Minas Gerais; ES = Espírito Santo; BA = Bahia.

enquanto no granito Branco Viena, por vezes, ocorre como uma sutil mudança na tonalidade do material – manchas (Figura 2B). Neste sentido, o objetivo deste trabalho é o de investigar os elementos geológicos que controlam o aparecimento destas manchas ainda durante o processo de desdobramento em chapas. Para tanto, os materiais foram analisados quanto as suas características físicas e químicas, a partir de ensaios físicos, análises petrográficas, microestruturais e de química mineral, além de ensaios de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

2 Aspectos Geológicos

Os granitos Branco Viena e Branco Itaúnas são explotados na região sul do estado da Bahia, inseridos geologicamente no contexto do Orógeno Araçuai, porção setentrional da Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1977; 1981; Heilbron *et al.*, 2004) (Figura 1).

Na região estudada afloram litotipos incluídos no Complexo Jequitinhonha (Almeida & Litwinski, 1984), intrudido por várias gerações de granitoides brasileiros, recobertos por sedimentos terciários do Grupo Barreiras (Figura 1). O Complexo Jequitinhonha, no qual o Branco Viena está inserido, é composto por um conjunto de paragneisses kinzigiti-

cos (aluminosos a peraluminosos) em graus variados de migmatização, com intercalações de grafita gnaiss e subordinadamente quartzito, rocha calcissilicática e quartzo-feldspato gnaiss (Sampaio *et al.*, 2004; Pedrosa-Soares *et al.*, 2008). As unidades graníticas foram agrupadas quanto à evolução do Orógeno Araçuai em: pré-colisional (ca. 630 - 580 Ma), sin-colisional (ca. 580 - 560 Ma), tardi-colisional (ca. 560 - 530 Ma) e pós-colisional (ca. 530 - 490 Ma) (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000; Pedrosa-Soares *et al.*, 2008). O granito Branco Itaúnas está inserido nas unidades tardi a pós-tectônicas (Figura 1). Os granitoides tardi a pós-tectônicos exibem superfícies de fluidez magmática e planos de foliação tectônica, com aumento de intensidade nas bordas. Correspondem a sienogranitos cinza-claro a brancos, médios a grossos, foliados nas áreas próximas aos contatos, com granada, cordierita e sillimanita (Sampaio *et al.*, 2004).

3 Materiais e Métodos

A metodologia consistiu na extração de blocos de rocha representativos (30x20x20 cm) de cada litotipo, para a realização dos seguintes ensaios: (a) índices físicos; (b) análise petrográfica; (c) micro estruturais e de química mineral semi-quantitativa e (d) velocidade de propagação de ondas sônicas. Os ensaios de índices físicos compreenderam a determi-

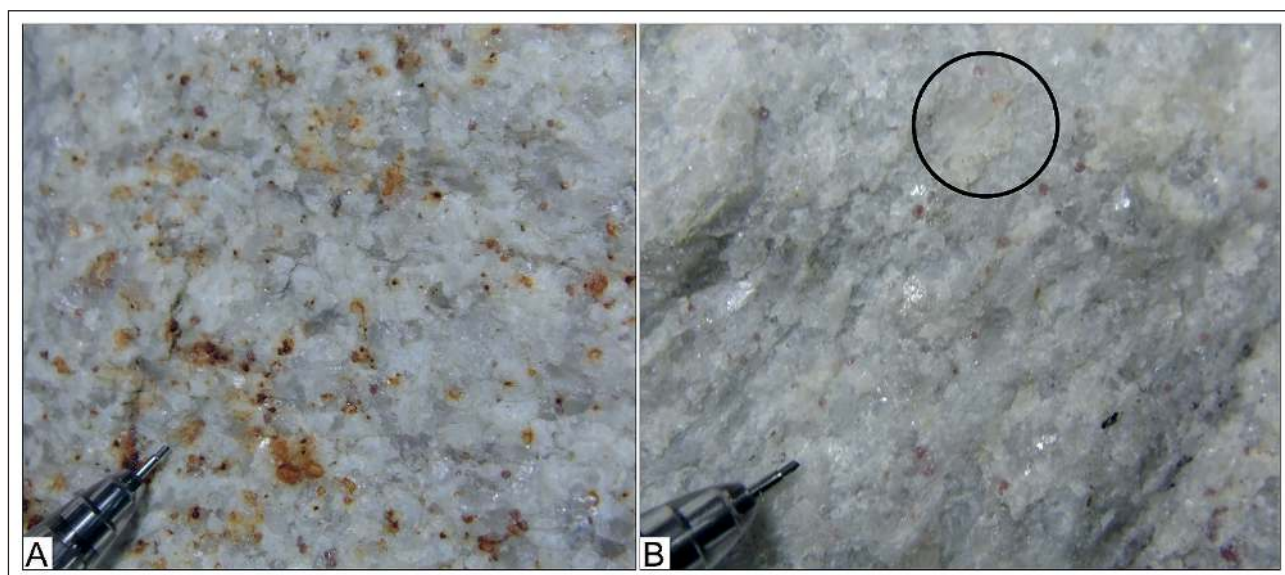


Figura 2 Fotografia ilustrando a patologia encontrada no Branco Itaúnas (A) e no Branco Viena (B). O círculo preto indica um ponto de alteração no Branco Viena.

nação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água, conforme norma da ABNT NBR 15845-2:2015 (ABNT, 2015a). Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais, do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), núcleo regional do Espírito Santo.

A análise petrográfica, realizada em 6 lâminas petrográficas, compreendeu a classificação conforme a norma ABNT NBR 15845-1:2015 (ABNT, 2015b). As lâminas foram descritas em microscópio Nikon (modelo Eclipse E200), Laboratório de Microscopia do DGEL/UFES, com o objetivo de caracterizar petrograficamente as rochas quanto à estrutura, aspectos texturais, composição mineralógica e classificação modal. A estimativa dos espaços vazios foi obtida por meio da impregnação de 2 lâminas com o corante azul de metileno. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Microanálises do Departamento de Geologia/Escola de Minas da UFOP (Laboratório integrante da RMIC, Rede de Microscopia e Microanálises de Minas Gerais, FAPEMIG). A obtenção de análises micro estruturais e de química mineral semi-quantitativa de 2 lâminas, ocorreu através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), no equipamento da marca JEOL (modelo JSM-6510), com EDS (OXFORD X-MaxN) acoplado, operando sob condições analíticas de 20 kV, com largura de feixe de 10 µm e 2000 contagens. Os dados foram processados com o auxílio do programa Minpet 2.0 (Richard, 1995).

Os ensaios para a determinação de propagação de onda ultrassônica foram realizados conforme a norma ABNT NBR 8802 (ABNT, 1994), no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro de Tecnologia de Obras de Infraestrutura do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em São Paulo. Uma forma de caracterizar o tipo de porosidade da matriz rochosa é por meio do Índice de Microfissuramento - IQ (Fourmaintraux, 1976 *apud* Goodman, 1980), conforme a equação:

$$IQ = \left(\frac{v_l}{v_t} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

onde v_l é a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas medida em laboratório e v_t é a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas teórica, tendo como base de cálculo a média ponderada das velocidades de propagação dos minerais que constituem a amostra.

O valor de velocidade de propagação dos minerais individuais pode ser obtido a partir de tabelas padronizadas (Fourmaintraux, 1976 *apud* Goodman, 1980), e a proporção relativa dos minerais constituintes da amostra, a partir de descrições petrográficas. O resultado da aplicação da fórmula é projetado em um gráfico que relaciona os valores de IQ e de porosidade, ambos expressos em porcentagem. Neste gráfico é possível identificar cinco campos, que indicam diferentes graus de microfissuramento. O termo microfissura (ou microfratura) aqui utilizado de forma intercambiável ao longo do texto, está baseado em Davis & Reynolds (1996), que a define como feições microscópicas ou sub-microscópicas, que possuem comprimento entre 100 e 1000 µm e aberturas de até 1 µm. Devido ao fato de não existir uma lâmina petrográfica específica para cada corpo de prova ensaiado, consideraram-se as médias dos valores de velocidade e de concentração relativa de minerais determinados para os granitos Branco Viena e Branco Itaúnas. Deve-se destacar que são escassas na literatura tabelas indicativas contendo as velocidades longitudinais dos principais minerais formadores de rocha. Como os minerais quartzo, plagioclásio e feldspato perfazem mais de 80% das amostras dos granitos Branco Viena e Branco Itaúnas, o cálculo do índice IQ se baseou nesses minerais. Além desses, a granada é o quarto mineral mais abundante nessas rochas. Contudo, ocorre em proporções similares nos dois conjuntos de amostras (6-11%). Dessa forma, os demais minerais identificados em lâmina não devem influenciar significativamente o valor do IQ, uma vez que representariam menos de 10% do volume total da rocha.

4 Resultados

4.1 Análise Petrográfica

O Branco Itaúnas é uma rocha magmática plutônica, de textura inequigranular, holocristalina, com granulação variando de fina a grossa, de grãos anédricos a subédricos (Figura 3A e Figura 3B). A composição mineralógica consiste em quartzo, plagioclásio, ortoclásio perítico, granada, muscovita, carbonato, sericita (Tabela 1), podendo ser classificada como monzogranito segundo Le Maitre (1989). O Branco Viena é uma rocha inequigranular, com

O Efeito do Microfissuramento no Desenvolvimento de Patologias em Rochas Ornamentais: O Exemplo dos Granitos Branco Viena e Branco Itaúnas
Salomão Silva Calegari; Caroline Cibele Vieira Soares; Marcos Eduardo Hartwig; Edgar Batista de Medeiros Júnior; Rodson de Abreu Marques & Mariana Pontello

granulação variando de fina a média. A geometria dos agregados é granoblástica com grãos anédricos a subédricos (Figura 3C e Figura 3D). A composição mineralógica consiste de quartzo, plagioclásio, ortoclásio, granada, zircão, apatita, sericita, sillimanita, podendo ser classificada como um sillimanita-granada meta-granitóide.

A análise das microfissuras por meio da técnica de impregnação com azul de metileno revelaram diferentes padrões de distribuição e formas de ocorrência. O Branco Itaúnas exibe padrão aleatório, com a presença de microfissuras inter, intra e transgranulares (Figura 4). As Figuras 4A e 4B revelam concentração elevada de corante nas microfissuras, com destaque para o microfaturamento intergranular e transgranular. Nota-se também que microfissuras intergranulares próximas às granadas possuem concentração de corante mais elevada, indicando vazios maiores. No granito Branco Itaúnas as microfissuras também estão associadas ao processo de

Mineralogia	Branco Itaúnas	Branco Viena
Quartzo	24 a 26%	46 a 60%
Plagioclásio	21 a 26%	7 a 9%
Ortoclásio	33 a 39%	20 a 23%
Granada	6 a 8%	6 a 11%
Sillimanita	0%	3 a 8%
Muscovita/sericita	4%	2%
Carbonato	1%	1%

Tabela 1 Classificação petrográfica dos granitos Branco Itaúnas e Branco Viena baseado em valores médios.

turas intergranulares próximas às granadas possuem concentração de corante mais elevada, indicando vazios maiores. No granito Branco Itaúnas as microfissuras também estão associadas ao processo de

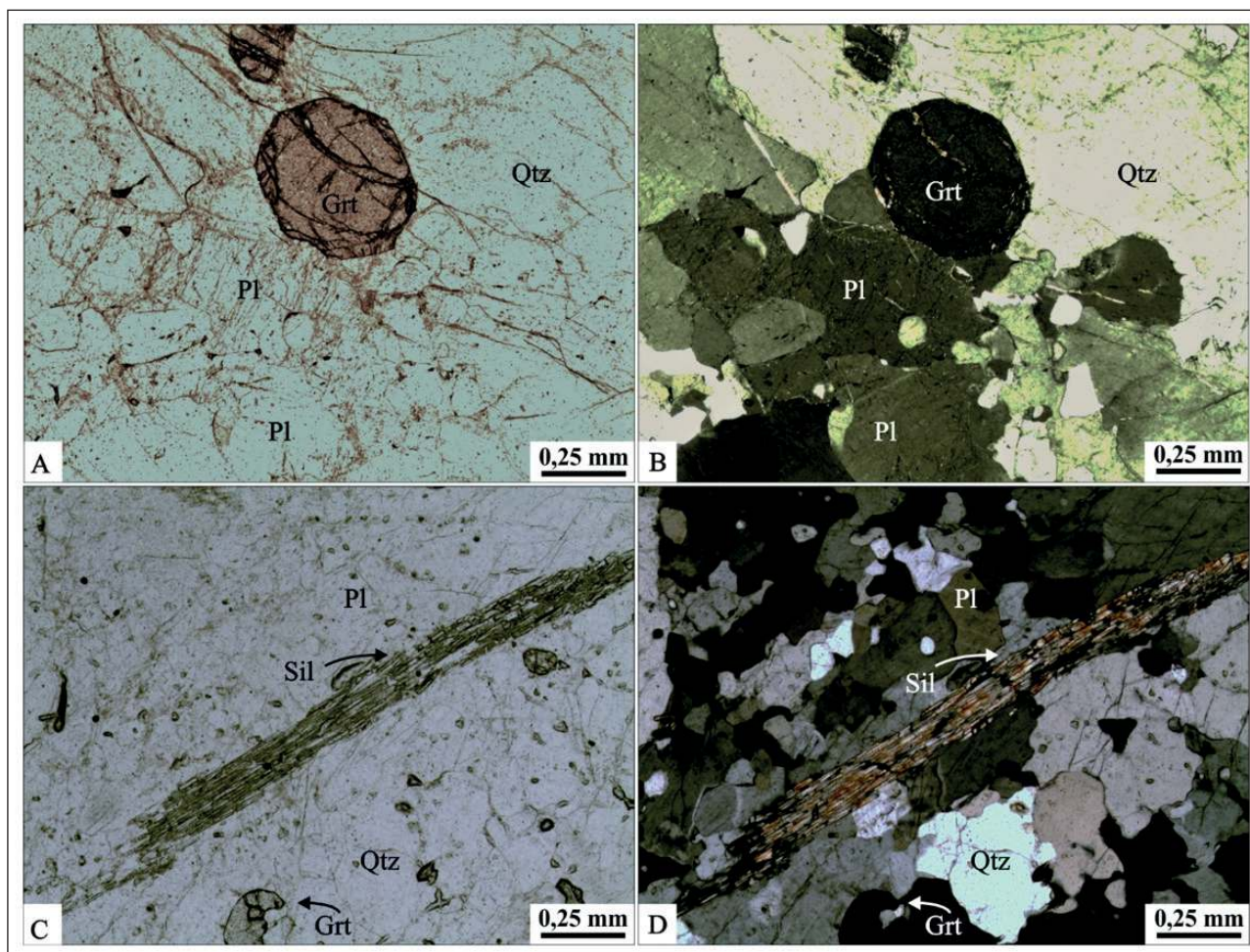


Figura 3 Monzogranito (Branco Itaúnas) caracterizado pela presença marcante de quartzo, ortoclásio pertítico e granada: nicóis descruzados (A) e nicóis cruzados (B). Metagranitóide (Branco Viena) caracterizado pela presença marcante de sillimanita e granadas orientadas: nicóis descruzados (C) e nicóis cruzados (D). Legenda: Grt = Granada, Pl = Plagioclásio, Qtz = Quartzo e Sil = Sillimanita.

**O Efeito do Microfissuramento no Desenvolvimento de Patologias em
Rochas Ornamentais: O Exemplo dos Granitos Branco Viena e Branco Itaúnas**
Salomão Silva Calegari; Caroline Cibele Vieira Soares; Marcos Eduardo Hartwig;
Edgar Batista de Medeiros Júnior; Rodson de Abreu Marques & Mariana Pontello

sericitização dos plagioclásios (Figura 4C e Figura 4D). O granito Branco Viena exibe menor quantidade, persistência e abertura de microfaturas em comparação ao Branco Itaúnas (Figura 5A e Figura 5B).

A concentração do corante se dá principalmente em microfaturas alinhadas na foliação (incipiente) da rocha, sobretudo nos planos onde ocorrem as acículas de sillimanita.

Figura 4 Fotomicrografias do Branco Itaúnas exibindo diferentes padrões de microfaturas: nicóis descruzados (A) e (C) e nicóis cruzados (B) e (D). Legenda: microfaturas intergranulares (setas verdes); microfaturas intragranulares (setas amarelas); microfaturas transgranulares (círculos pretos).

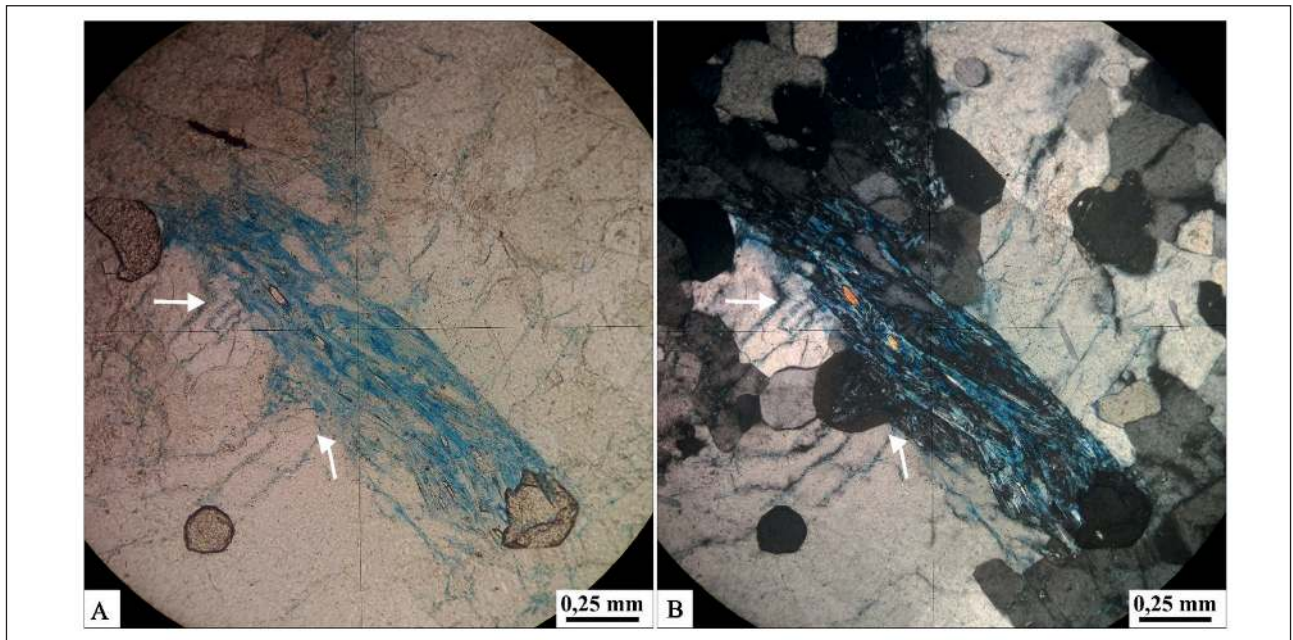
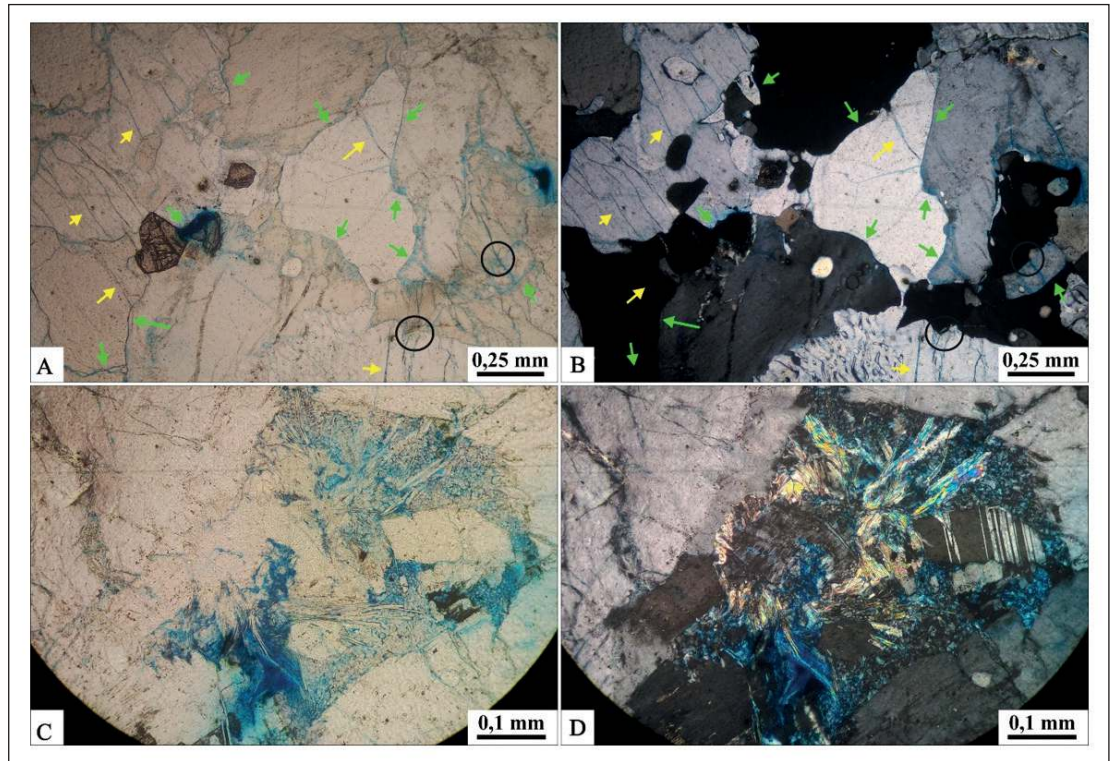


Figura 5 Fotomicrografias do Branco Viena exibindo microfissuramento associado aos cristais de sillimanita: nicóis descruzados (A) e nicóis cruzados (B). Legenda: microfaturas intragranulares com presença de corante próximo às sillimanitas (setas brancas).

4.2 Microscópio Eletrônico de Varredura

4.2.1 Química Mineral

Grãos de granada e plagioclásio foram analisados nos litotipos granodiorito (Branco Itaúnas) e meta-granitoide (Branco Viena) a fim de se verificar semelhanças e/ou diferenças composicionais nesses minerais nos dois litotipos estudados.

A granada do Branco Itaúnas possui composição química desse mineral essencialmente ferrosa (membro almandina variando entre 83% e 85%). O componente piropo varia de 11% a 12% e grossulária entre 2 a 3%. O Branco Viena também possui granada essencialmente ferrosa (membro almandina variando de 79% a 80%). O componente piropo perfaz de 12% a 13% e grossulária de 1,3% a 1,4%.

Os cristais de plagioclásio contidos nos dois litotipos têm composições praticamente idênticas e são classificados como oligoclásio (Ab_{71} a Ab_{74}) (Figura 6). Os cristais de feldspato potássico que compõe o Branco Viena possuem conteúdo de componente ortoclásio ao redor de 90%, com quantidades do membro albita variando entre 8 a 11% (Figura 6). Na amostra correspondente ao Branco Itaúnas, por sua vez, o feldspato potássico pode conter até 25% de componente albita.

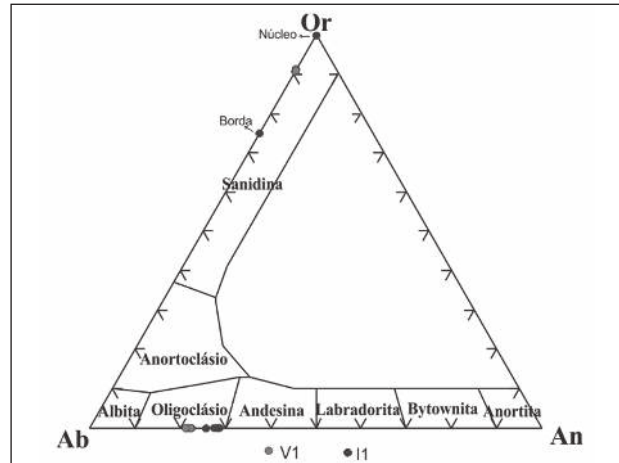


Figura 6 Diagrama de classificação dos feldspatos com base na análise do MEV. Legenda: I1 = Branco Itaúnas; V1 = Branco Viena.

4.2.2 Imageamento Eletrônico

As imagens ESB obtidas para as granadas do Branco Itaúnas (Figura 7A e Figura 7B) exibem maior número de microfaturas, com abertura de até 105 μm . O padrão de fraturamento pode ocorrer de maneira aleatória (Figura 7A) ou em ângulos de 90° (Figura 7B). Para as imagens ESB das granadas do Branco Viena o fraturamento ocorre em menor número de maneira aleatória (Figura 7C) ou com arranjo paralelo (Figura 7D). As microfaturas são fechadas com até 10 μm de abertura.

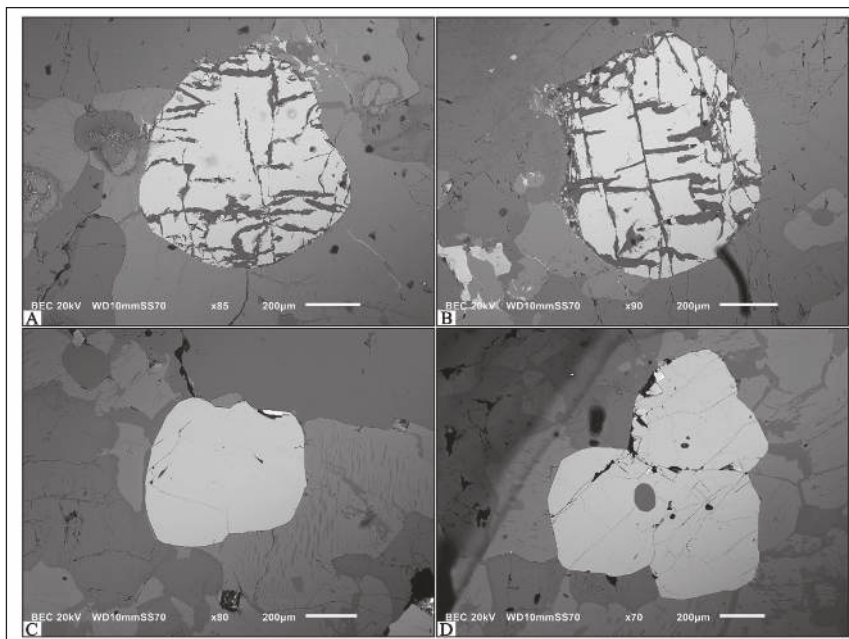


Figura 7 Imagens ESB das granadas do Branco Itaúnas (A) e (B) e do Branco Viena (C) e (D).

4.3 Índices Físicos

Os ensaios físicos realizados para o Branco Itaúnas e o Branco Viena (Tabela 2 e Tabela 3), revelaram diferenças marcantes, sobretudo nos valores de porosidade e absorção d'água. O Branco Itaúnas apresentou valores de densidade que variam de 2,573 a 2,620 kg/m³, valores de porosidade de 1,05 a 1,38 %, e valores de absorção d'água de 0,41 a 0,53%. Já o Branco Viena apresentou valores de densidade entre 2,627 e 2,639 kg/m³, valores de porosidade entre 0,37 e 0,59%, e valores de absorção d'água entre 0,14 e 0,22 %.

4.4 Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas

As Tabelas 4 e 5 sintetizam os resultados dos ensaios de propagação de ondas ultrassônicas. Conforme estas tabelas, verifica-se que a média dos valores de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas para o Branco Viena é igual a 4.664 m/s e a média dos valores para o granito Branco Itaúnas é igual a 3.552 m/s. Os dados mostram, portanto, que, em média, a velocidade registrada para o Branco Viena é aproximadamente 24% superior à média da velocidade registrada para o Branco Itaúnas. Em am-

bos os casos, observa-se que a dispersão dos dados em relação à média é pequena (< 7%), o que revela a homogeneidade dos dados e a baixa influência de anisotropias na rocha. O cálculo do índice IQ para os granitos Branco Viena e Branco Itaúnas resultaram em valores iguais a 64 e 51%, respectivamente. Esses valores indicam que ambos os materiais são classificados segundo Fourmaintraux (1976 *apud* Goodman, 1980), como fortemente fissurados. Contudo, o primeiro (Branco Viena) encontra-se no limite superior do campo definido pelo autor, enquanto o último (Branco Itaúnas), no limite inferior.

5 Discussão

Foram investigadas neste estudo algumas das principais características dos granitos Branco Itaúnas e Branco Viena, a saber: 1) análise petrográfica (macro e microscópica); 2) química mineral; 3) imageamento eletrônico; 4) índices físicos; e 5) velocidade de propagação de ondas ultrassônicas.

A análise macroscópica visual revelou que o Branco Itaúnas é uma rocha ígnea de textura granoblástica, enquanto que o Branco Viena é uma rocha metamórfica, com foliação incipiente, e de textura

Corpo de Prova	Massa (g)			Densidade Aparente (Kg/m ³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)
	Seca	Submersa	Saturada			
1	505,62	314,44	507,84	2614	1,15	0,44
2	445,46	276,80	447,30	2613	1,08	0,41
3	567,79	353,39	570,07	2620	1,05	0,40
4	437,91	272,04	439,82	2610	1,14	0,44
5	441,97	274,47	444,20	2604	1,31	0,50
6	413,89	257,00	416,00	2603	1,33	0,51
7	461,72	286,41	464,18	2597	1,38	0,53
8	393,83	244,33	395,68	2602	1,22	0,47
9	495,67	305,65	498,30	2573	1,37	0,53
10	589,16	366,25	591,74	2613	1,14	0,44
Média				2605	1,2	0,47
Desvio Padrão				13	0,1	0,05
Coefficiente de Variação (%)				0,5	10,0	10,43

Tabela 2 Índices físicos calculados para o Branco Itaúnas.

Corpo de Prova	Massa (g)			Densidade Aparente (Kg/m ³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)
	Seca	Submersa	Saturada			
1	320,89	199,42	321,56	2627	0,55	0,21
2	369,42	229,64	370,17	2629	0,53	0,20
3	373,16	232,21	373,81	2635	0,46	0,17
4	566,8	352,94	567,72	2639	0,44	0,17
5	550,47	342,71	551,57	2636	0,53	0,20
6	588,81	366,23	589,63	2636	0,37	0,14
7	542,75	337,72	543,80	2634	0,51	0,19
8	451,81	281,33	452,77	2635	0,56	0,21
9	279,20	173,88	279,82	2635	0,59	0,22
10	210,62	130,95	211,08	2628	0,57	0,22
Média				2633	0,5	0,19
Desvio Padrão				4	0,1	0,03
Coefficiente de Variação (%)				0,1	13,0	13,05

Tabela 3 Índices físicos calculados para o Branco Viena.

O Efeito do Microfissuramento no Desenvolvimento de Patologias em Rochas Ornamentais: O Exemplo dos Granitos Branco Viena e Branco Itaúnas
Salomão Silva Calegari; Caroline Cibele Vieira Soares; Marcos Eduardo Hartwig; Edgar Batista de Medeiros Júnior; Rodson de Abreu Marques & Mariana Pontello

Corpo de Prova	Distância (mm)	Tempo (10 ⁻⁶ s)	Velocidade (m/s)
1	53,0	11,0	4.818
2	60,7	12,0	5.058
3	60,6	13,4	4.522
4	59,1	12,6	4.690
5	60,7	12,6	4.817
6	46,1	11,1	4.153
7	51,6	12,5	4.128
8	52,4	11,1	4.721
9	58,9	11,6	5.078
10	51,2	11,0	4.655
Mínimo			4.128
Máximo			5.078
Média			4.664
Desvio Padrão			324
Coefficiente de Variação (%)			6,95

Tabela 4 Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas calculados para o Branco Viena.

Corpo de Prova	Distância (mm)	Tempo (10 ⁻⁶ s)	Velocidade (m/s)
1	60,3	17,0	3.547
2	47,7	12,8	3.727
3	59,9	15,8	3.791
4	50,4	14,3	3.524
5	50,5	14,0	3.607
6	49,6	13,1	3.786
7	52,2	15,6	3.346
8	53,2	15,4	3.455
9	60,3	17,2	3.506
10	60,8	18,8	3.234
Mínimo			3.234
Máximo			3.791
Média			3.552
Desvio Padrão			183
Coefficiente de Variação (%)			5,15

Tabela 5 Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas calculados para o Branco Itaúnas.

granonematoblástica. Ambas são classificadas quanto a sua cor como hololeucocráticas (rochas muito pobres em minerais escuros). A análise microscópica revelou que mais de 80% destas rochas está constituída por quartzo e feldspatos (plagioclásio e feldspato potássico). Contudo, nota-se que o granito Branco Viena possui aproximadamente 30% do conteúdo de plagioclásio presente no granito Branco Itaúnas e cerca de duas vezes o seu conteúdo de

quartzo. O quarto mineral mais abundante nestas rochas é a granada (almandina), que ocorre em proporções semelhantes em ambos os materiais (7-8%). Entretanto, no Branco Itaúnas, esse mineral mostra-se com maior dimensão e mais microfraturado. Os demais minerais presentes são bem pouco expressivos, com exceção da sillimanita, que pode atingir cerca de 3-8% no Branco Viena. A sericitização é um processo importante, que afeta tanto o feldspato potássico como o plagioclásio em ambos os materiais, e que resulta em perda de resistência ao longo do tempo (Hencher, 2012). A sericita é mais abundante no Branco Itaúnas.

As observações petrográficas revelam, portanto, que o Branco Viena é uma rocha quartzosa, com menor teor em feldspatos (feldspato potássico e plagioclásio) e, logo, com menor tendência ao intemperismo químico, já que os plagioclásios e os feldspatos se alteram com maior facilidade que o quartzo (Goldich, 1938). A química mineral revelou que os cristais de plagioclásio (oligoclásio) e feldspato potássico presentes nos dois materiais possuem aproximadamente a mesma composição. Porém, os cristais de feldspato potássico do Branco Itaúnas são zonados, com o aumento de Na nas bordas. Essa variação química poderia facilitar a formação de fraturas intercrystalinas pela dissolução das bordas. As microfraturas ocorrem de forma aleatória no Branco Itaúnas, enquanto no Branco Viena elas estão associadas à foliação (em particular à sillimanita). Ademais, as microfraturas no Branco Viena são, em geral, menos frequentes e menos extensas do que as microfraturas do Branco Itaúnas. O imageamento eletrônico das granadas revelou que as microfraturas são bem mais abertas no Branco Itaúnas (105 ηm) do que no Branco Viena (10 ηm). O tamanho das granadas (maiores para o Branco Itaúnas) e as microfraturas internas facilitam sua alteração (formação de óxidos de Fe), pois aumentam sua superfície de contato com possíveis fluidos circulantes na rocha.

Os ensaios físicos mostraram que existem diferenças significativas na porosidade aparente e na absorção d'água entre os granitos Branco Itaúnas (1,2 e 0,5%, respectivamente) e Branco Viena (0,5 e 0,2%, respectivamente). O ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas demonstrou

que a velocidade para o Branco Viena foi em média 24% superior que para o Granito Branco Itaúnas. Os gráficos da Figura 8 relacionam as medidas de porosidade aparente e as medidas de velocidade ultrassônica para esses dois materiais. Embora o coeficiente de determinação seja baixo ($R^2 < 0,3913$), ambos os materiais apresentam uma correlação negativa, fato este mais evidente para o Branco Itaúnas. A relação entre a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e a porosidade aparente torna-se mais evidente quando se analisam os valores médios de ambas as variáveis. Apesar dos baixos valores de porosidade ($< 1,2\%$), observa-se que o Branco Itaúnas é em média 140% mais poroso que o Branco Viena. Os coeficientes de variação ($< 13\%$) revelam a baixa dispersão desses dados em relação à média, o que indica sua alta homogeneidade. A partir dos resultados dos índices físicos e da velocidade de propagação de ondas, é esperado que o Branco Itaúnas apresente menor resistência mecânica que o Branco Viena. Segundo Frazão & Farjallat (1996), o Granito Branco Itaúnas está inapto para ser utilizado como revestimento, uma vez que apresentou velocidade de propagação ultrassônica inferior a 4.000 m/s. Analogamente, de acordo com as normas ABNT NBR 15844 (ABNT, 2010) e ASTM C 615 (ASTM, 1999), o granito Branco Itaúnas também está inapto para ser utilizado em ambientes com umidade elevada.

O índice IQ, calculado a partir da velocidade de propagação de ondas e da proporção relativa dos minerais, indicou que o Branco Itaúnas se apresenta ligeiramente mais microfaturado que o Branco Viena.

6 Conclusões

As rochas analisadas no presente estudo, apesar de esteticamente semelhantes, possuem algumas diferenças importantes, que podem explicar algumas de suas características peculiares, como manchas escuras acastanhadas que aparecem na superfície da rocha após a sua exposição às intempéries.

O Branco Itaúnas é constituído por quartzo (24 a 26%), plagioclásio (21 a 26%), ortoclásio (33 a 39%), granada (6 a 8%), muscovita/sericita (4%) e carbonato (1%), enquanto o Branco Viena por quartzo (46 a 60%), plagioclásio (7 a 9%), ortoclásio (20 a 23%), granada (6 a 11%), sillimanita (3 a 8%), muscovita/sericita (2%) e carbonato (1%).

Nos dois litotipos as manchas escuras correspondem a óxidos de Fe, produtos de alteração das granadas (almandina), único mineral que contém esse elemento químico nessas rochas. As granadas do Branco Itaúnas e a do Branco Viena são muito semelhantes em relação a composição, porém no Branco Itaúnas encontram-se em média com maior dimensão e mais microfaturadas que as granadas observadas no Branco Viena. Adicionalmente, a abertura das microfaturas nas granadas no Branco Itaúnas é significativamente maior do que nas granadas do Branco Viena. No Branco Itaúnas além das fraturas das granadas, fraturas intracristalinas (em todos os minerais) e intercristalinas são mais evidentes que no Branco Viena. Nesse último a maioria das fraturas estão alinhadas na foliação da rocha, sobretudo nos planos onde ocorrem as acículas de sillimanita. Apesar dessas superfícies serem expressivas, a menor concentração de feldspatos inviabiliza a formação de fraturas inter a intracristalinas que poderiam

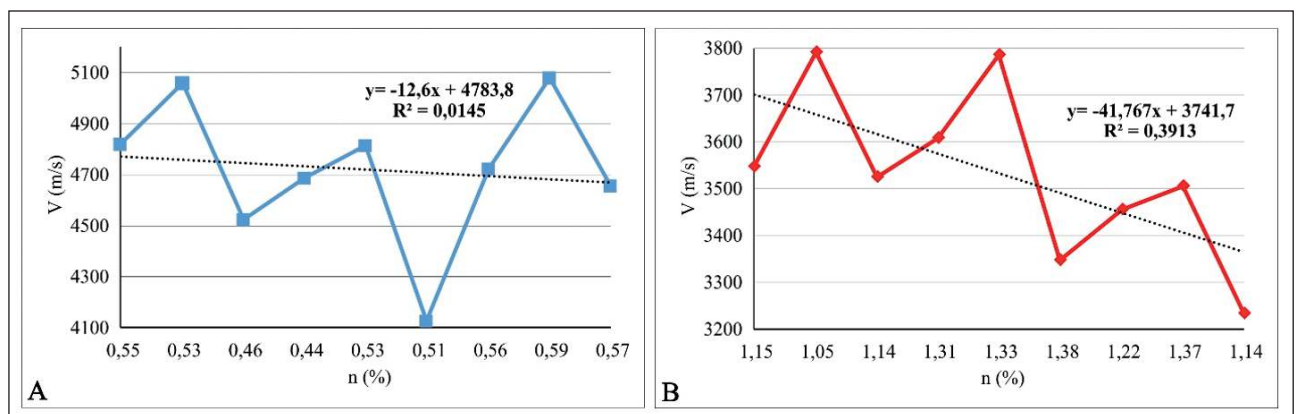


Figura 8 Gráficos de correlação entre a porosidade aparente e a velocidade ultrassônica para o Branco Viena (A) e o Branco Itaúnas (B).

O Efeito do Microfissuramento no Desenvolvimento de Patologias em Rochas Ornamentais: O Exemplo dos Granitos Branco Viena e Branco Itaúnas
Salomão Silva Calegari; Caroline Cibele Vieira Soares; Marcos Eduardo Hartwig;
Edgar Batista de Medeiros Júnior; Rodson de Abreu Marques & Mariana Pontello

se conectar as fraturas dos planos de foliação e carrear fluidos para alterar as granadas que formariam as manchas de óxidos de Fe.

O Branco Itaúnas é mais rico em feldspatos, que lhe confere maior susceptibilidade à alteração química. Esta característica facilitou o surgimento, a abertura das fraturas e o aumento da porosidade, gerando novos caminhos de intemperismo que alcançou as granadas. As granadas dos dois litotipos, embora apareçam quase na mesma proporção e composição, são maiores para o Branco Itaúnas. A principal consequência visual é ao aparecimento de machas acastanhadas pela oxidação do ferro, com maior intensidades e quantidade no Branco Itaúnas. Além disso, a alteração leva a perda de resistência mecânica ao longo do tempo.

Deve-se destacar, contudo, que independentemente dessa “patologia”, o Branco Itaúnas é considerado inapto para utilização como material de revestimento.

7 Agradecimentos

À Empresa Magnitos Magnago Granitos pela disponibilização das amostras deste estudo. À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pela disponibilização da infraestrutura de laboratórios para a realização das análises petrográficas e micro estruturais. Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT-SP) pela realização dos ensaios de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas. Ao Laboratório de Microanálises do DEGEO/EM-Laboratório Integrante da RMIC, Rede de Microscopia e Microanálises de Minas Gerais - FAPEMIG pelas análises de química mineral e imageamento eletrônico. Ao revisor anônimo do Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ que contribuiu para a melhoria deste trabalho.

8 Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1994. Concreto Endurecido - Determinação da Velocidade de propagação da onda ultrassônica. In: ABNT NBR-8802. 8 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2010. Rochas para Revestimento - Requisitos para granitos. In: ABNT NBR 15844. 2 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2015a. Rochas para revestimento, Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. In: ABNT NBR 15845-2. 4 p.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2015b. Rochas para revestimento, Parte 1: Análise petrográfica. In: ABNT NBR 15845-1. 4 p.
- Almeida, F.F.M.; Brito Neves, B.B. & Fuck, R. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17: 1-29.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito-Neves, B.B. & Fuck, R.A. 1977. As províncias estruturais do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977. Bol. Esp., Campina Grande, SBG, p. 12.
- Almeida F.F.M. & Litwinski N. 1984. Província da Mantiqueira. Setor Setentrional. In: ALMEIDA, F. F.M., HASUI, Y. (coords.). *O Pré-Cambriano do Brasil*. Blucher, p. 282-307.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. 1999. Standard specification for granite dimension stone. In: ASTM International C 615-99. 2 p.
- Davis, G.H. & Reynolds, S. J. 1996. *Structural Geology of Rocks and Regions*. New York, John Wiley & Sons, Inc. 776 p.
- Frasca, M.H.B.O. 2014. Tipos de Rochas Ornamentais e Características Tecnológicas. In: VIDAL, F.W.H., AZEVEDO, H.C.A., CASTRO, N.F. (eds.). *Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento*. CETEM/MCTI, p. 45-100.
- Frazão, E.B. & Farjallat, J.E.S. 1996. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, Rio de Janeiro, 1996. Anais, v.1, Rio de Janeiro, ABGE, p. 369-380.
- Goldich, S.S. 1938. A study in rock weathering. *Journal of Geology*, 46: 17-58.
- Goodman, R. E. 1980. *Introduction to rock mechanics*. New York, Wiley & Sons. 478p.
- Heilbron, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Campos Neto, M.; Silva, L.C.; Trouw, R.A.J. & Janasi, V.C. 2004. A Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R. & BRITO NEVES, B.B. (eds.). *O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, p. 203-234.
- Hencher, S. 2012. *Practical Engineering Geology*. Abingdon, Spon Press. 450 p.
- Le Maitre, R.W.; Bateman, P.; Dudek, A.; Keller, J.; Lameyre, J.; Le Bas, M.J.; Sabine, P.A.; Schmid, R.; Sorensen, H.; Streckeisen, A.; Woolley, A.R. & Zanettin, B. 1989. *A Classification of Igneous rocks and Glossary of Term: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Oxford, Blackwell Scientific Publications. 193 p.
- Pedrosa-Soares, A.C.; Alkmim, F.F.; Tack, L.; Noce, C.M.; Babinski, M.; Silva, L.C. & Martins-Neto, M.A. 2008. Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West-Congo Orogen. *Journal of the Geological Society of London*, 294: 153-172.
- Pedrosa-Soares, A.C. & Wiedemann-Leonardos, C.M. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. In: CORDANI, U.; MILANI, E.J.; THOMAZ-FILHO, A. & CAMPOS, D.A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*. Sociedade Brasileira de Geologia, p. 265-285.
- Richard, L.R. 1995. *Minpet for Windows – Version 2.02*. Minpet Geological Software, Quebec.
- Sampaio, A.R.; Martins, A.M.; Loureiro, H.C.; Arcanjo, J.B.; Moraes Filho, J.C.; Souza, J.D.; Pereira, L.H.; Couto, P.A.; Santos, R.A.; Melo, R.C.; Bento, R.V. & Borges, V.P. 2004. Projeto Extremo Sul da Bahia: Geologia e Recursos Minerais, Salvador, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, 52 p. (Série Arquivos Abertos 19).