

FABIANO JERÔNIMO MOREIRA SOSSAI

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS
ORNAMENTAIS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S715c
2006

Sossai, Fabiano Jerônimo Moreira, 1980-
Caracterização tecnológica de rochas ornamentais
/ Fabiano Jerônimo Moreira Sossai. – Viçosa : UFV,
2006.
xii, 87f. : il. col. ; 29cm.

Orientador: Eduardo Antônio Gomes Marques.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 83-87.

1. Revestimentos. 2. Rochas ornamentais - Análise.
3. Pedras para construção - Brasil. 4. Materiais de
construção. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

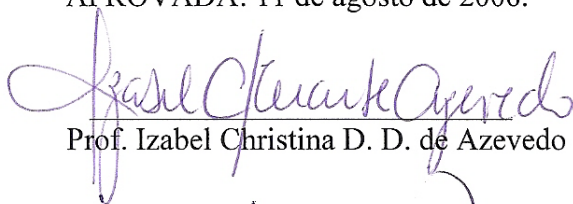
CDD 22.ed. 624.1832

FABIANO JERÔNIMO MOREIRA SOSSAI

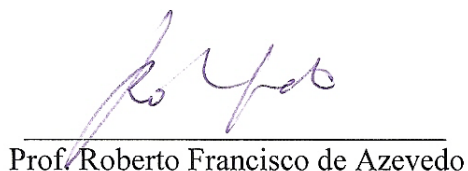
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

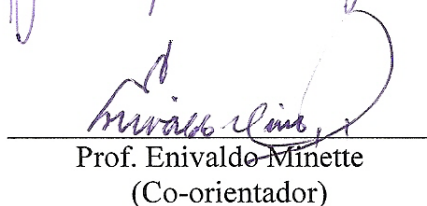
APROVADA: 11 de agosto de 2006.



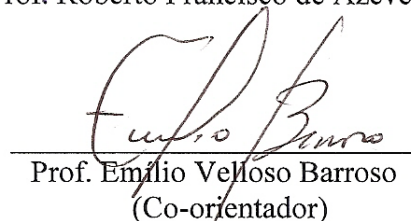
Prof. Izabel Christina D. D. de Azevedo



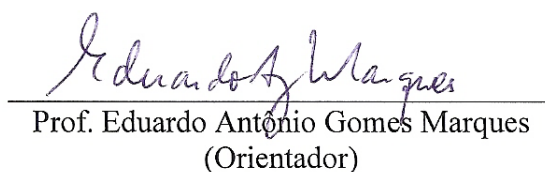
Prof. Roberto Francisco de Azevedo



Prof. Enivaldo Minette
(Co-orientador)



Prof. Emilio Velloso Barroso
(Co-orientador)



Prof. Eduardo Antônio Gomes Marques
(Orientador)

Este trabalho é dedicado à minha família, e à Fernanda.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida.

À minha família, pela ajuda impagável.

À Fernanda, que sempre esteve ao meu lado.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade.

Ao meu orientador e professor, Dr. Eduardo Antônio Gomes Marques, pela amizade, pela paciência, pelas brincadeiras e pelo profissionalismo que sempre apresentou em todos os trabalhos, desde a minha época de iniciação científica.

Ao meu co-orientador, o professor Dr. Emílio Veloso Barroso, juntamente com o Departamento de Geologia da UFRJ, pela ajuda com as descrições das lâminas petrográficas, por ceder o PUNDIT, e por ser um prestativo conselheiro.

Ao Professor Lauro e aos funcionários do Laboratório de Materiais de Construção, pela pronta ajuda nos ensaios e pelos equipamentos utilizados, em especial, ao Tarcísio, ao Antônio e ao José Carlos.

Ao professor Dr. Enivaldo Minette por ter aceitado oferecer seus conhecimentos para engrandecer o trabalho.

À GRAMAFAL, por ter cedido as amostras para a realização dos trabalhos.

Aos estagiários e bolsistas que ajudaram na realização dos ensaios e enriqueceram as discussões sobre as dúvidas encontradas neste caminho, em especial, Messias e Henrique.

Aos meus amigos.

“Aquele, pois, que ouve estas minhas palavras e as põe em prática é semelhante a um homem prudente, que edificou sua casa sobre a rocha. Caiu a chuva, vieram as enchentes, sopraram os ventos e investiram contra aquela casa; ela, porém, não caiu, porque estava edificada na rocha.”

Mateus, 7: 24-25

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 O BRASIL E O COMÉRCIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	4
2.1.1 <i>Os Principais Estados Brasileiros na Produção e Comercialização de Rochas Ornamentais</i>	9
2.1.2 <i>O Consumo Interno de Rochas Ornamentais</i>	11
2.2 ORIGEM DAS ROCHAS ORNAMENTAIS	12
2.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS	13
2.4 ESTUDOS SOBRE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	26
3.1.1 <i>Índices Físicos</i>	26
3.1.2 <i>Resistência à Flexão</i>	27
3.1.3 <i>Resistência ao Impacto</i>	28

3.1.4	<i>Resistência à Compressão Uniaxial</i>	30
3.1.5	<i>Perda de Resistência após Congelamento e Degelo</i>	32
3.1.6	<i>Ataque Químico</i>	32
3.1.7	<i>Resistência à Compressão Puntiforme</i>	33
3.1.8	<i>Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais</i>	35
3.1.9	<i>Análise Petrográfica</i>	37
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	ÍNDICES FÍSICOS	38
4.2	RESISTÊNCIA À FLEXÃO	40
4.3	RESISTÊNCIA AO IMPACTO	41
4.4	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAxIAL	42
4.5	CONGELAMENTO E DEGELO	44
4.6	ATAQUE QUÍMICO	45
4.6.1	<i>Variação dos Índices Físicos</i>	45
4.6.1.1	Massa Específica Seca	45
4.6.1.2	Massa Específica Saturada.....	47
4.6.1.3	Porosidade Aparente	49
4.6.1.4	Absorção Aparente.....	52
4.6.2	<i>Variação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais</i>	54
4.6.3	<i>Variação da Resistência à Compressão Puntiforme</i>	57
4.7	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PUNTIFORME	60
4.8	VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA-SÔNICAS LONGITUDINAIS 62	
4.9	ANÁLISE PETROGRÁFICA	63
4.9.1	<i>Amarelo Verniz</i>	63
4.9.2	<i>Giallo Firenze</i>	65
4.9.3	<i>Ocre Itabira</i>	67
4.9.4	<i>Verde Ubatuba</i>	70
4.9.5	<i>Vermelho Brasília</i>	73
4.10	CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS ROCHAS	77
5.	CONCLUSÕES	81
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil da produção de rochas ornamentais brasileira para o ano de 2002. Nota-se a supremacia das rochas silicáticas, que abrangem os granitos, quartzitos e a pedra Miracema (MELLO et. al., 2004).	6
Figura 2 – Previsão feita pela ABIROCHAS em 1999 para as exportações de rochas brasileiras e os valores reais do montante alcançado. (CHIODI FILHO et. al., 2001)	7
Figura 3 – Evolução da participação nas exportações de Rochas Brutas e processadas, dos pontos de vistas do faturamento e do peso.	8
Figura 4 – Consumo mundial de revestimentos cerâmicos e pétreos e a relação entre o consumo dos dois tipos de revestimentos. Adaptado de MELLO et. al. (2004)..	9
Figura 5 – Participação, em valor, dos principais estados exportadores de rochas ornamentais para o período 2001-2003.....	11
Figura 6 – Rampa de acesso ao Congresso Nacional (Brasília/DF). Pode-se observar a ação do tempo no piso, com consequente surgimento de trincas.....	14
Figura 7 - Distribuição dos valores de massa específica aparente seca de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).....	20
Figura 8 - Distribuição dos valores de porosidade aparente de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).	20
Figura 9 - Distribuição dos valores de absorção d'água de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).....	20
Figura 10 - Distribuição dos valores referentes a resistência à compressão uniaxial de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).	21
Figura 11 - Representação gráfica da distribuição dos valores de resistência à flexão de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).	21
Figura 12 - Representação gráfica dos valores obtidos para a resistência ao impacto do corpo duro de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999). (Verificar as unidades)	21
Figura 13 - Representação gráfica dos valores obtidos para resistência ao desgaste Amsler de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).....	22
Figura 14 – Equipamento utilizado para o ensaio de flexão.	28
Figura 15 – Equipamento utilizado para o ensaio de impacto de corpo duro.	29
Figura 16 – Equipamento utilizado para o ensaio de compressão uniaxial, com uma capacidade de carregamento de até 100 toneladas.	30

Figura 17 – Relação experimental entre a resistência e o tamanho da aresta de amostras cúbicas de carvão (Bieniawski, 1968, apud SANTOS & BARROSO, 2002).	31
Figura 18 – Equipamento utilizado para o ensaio de resistência à compressão puntiforme.	34
Figura 19 – Equipamento utilizado para a propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais, gentilmente cedido pelo Departamento de Geologia da UFRJ.	36
Figura 20 - Distribuição dos valores referentes à massa específica aparente seca.	39
Figura 21 - Distribuição dos valores referentes à massa específica aparente saturada.	39
Figura 22 - Distribuição dos valores referentes à porosidade aparente.	40
Figura 23 - Distribuição dos valores referentes à absorção d'água aparente.	40
Figura 244 - Variação da massa específica seca mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.	47
Figura 25 - Variação da massa específica saturada mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.	49
Figura 26 - Variação da porosidade aparente mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.	52
Figura 27 - Variação da absorção aparente mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.	54
Figura 28 - Variação da velocidade de propagação de ondas mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.	56
Figura 29 – Litotipo Amarelo Verniz após 40 ciclos.	57
Figura 30 – Litotipo Giallo Firenze após 40 ciclos.	58
Figura 31 – Litotipo Ocre Itabira após 40 ciclos.	58
Figura 32 – Litotipo Verde Ubatuba após 40 ciclos.	58
Figura 33 – Litotipo Vermelho Brasília após 40 ciclos.	59
Figura 34 - Variação da resistência à compressão puntiforme das amostras mediante ataque com ácido clorídrico.	59
Figura 35 - Variação da resistência à compressão puntiforme das amostras mediante ataque com hidróxido de potássio.	59
Figura 36 - Variação da resistência à compressão puntiforme das amostras mediante ataque com detergente.	60
Figura 37 - Nicóis paralelos. Aspecto de manchamento causado, possivelmente por óxido de ferro.	63
Figura 38 - Nicóis cruzados. Sericitização da superfície dos plagioclásios (P).	64
Figura 39 - Nicóis cruzados. Detalhe dos plagioclásios alterados.	64
Figura 40 - Nicóis cruzados. Grão de álcali feldspato fissurado e com alteração (sericita) em sua superfície.	65
Figura 41 - Nicóis paralelos. Alteração e manchamento da rocha.	66

Figura 42 - Nicóis cruzados. Mesma posição na lâmina da foto anterior. Nota-se um plagioclásio com a superfície alterada.	66
Figura 43 - Nicóis cruzados. Textura de intercrescimento entre álcali-feldspato e quartzo.....	67
Figura 44 - Nicóis cruzados. Notar aspecto textural fortemente inequigranular. Pode-se observar também a alteração desenvolvida na superfície dos álcali-feldspatos (KF).....	68
Figura 45 - Nicóis paralelos. Traços da clivagem na superfície do anfibólio (A) bem delineados por material de preenchimento (possivelmente óxido de ferro precipitado).	68
Figura 46 - Nicóis paralelos. Aspecto semelhante ao da Figura 67 verificado para os traços da clivagem na superfície das biotitas (B).....	69
Figura 47 - Nicóis paralelos. Pode-se observar o contato entre os grãos manchados (cor ocre - setas azuis) e também algumas fissuras dentro de grãos (setas vermelhas).	70
Figura 48 - Nicóis Cruzados. Mesma imagem da foto anterior. O mineral cortado pelas fissuras (ou micro-fraturas) é um álcali-feldspato (feldspato potássico – KF). Pode-se observar que um dos conjuntos de fissuras parece estar relacionado com a clivagem mineral (setas azuis) e o outro se dispõe ortogonalmente (setas vermelhas).	70
Figura 49 - Nicóis paralelos. Pode-se observar manchamentos (setas azuis) que talvez estejam relacionados a liberação de ferro em minerais como a biotita (B), o anfibólio (A) e o piroxênio (Px).....	71
Figura 50 - Nicóis paralelos. Detalhe da superfície de um piroxênio e suas fissuras preenchidas por material (possivelmente Ferro). Isso comprova que o manchamento da superfície da rocha, visto nas imagens anteriores deve estar relacionado com a alteração das biotitas, anfibólios e piroxênios.....	71
Figura 51 - Nicóis Cruzados. Observa-se a superfície bastante límpida dos plagioclásios (P), denotando que esses minerais ainda se encontram muito bem preservados, não alterados.	72
Figura 52 - Nicóis paralelos. Alteração das biotitas (B), onde se nota a clivagem realçada possivelmente por óxido de ferro.....	73
Figura 53 - Nicóis cruzados. Mesma imagem da figura anterior. Pode-se observar a superfície alterada dos álcali-feldspatos (KF).....	73
Figura 54 - Nicóis cruzados. Pode-se observar que a alteração da superfície também afeta os plagioclásios (P).....	74
Figura 55 - Nicóis paralelos. Detalhe da transformação da biotita(B) em clorita (C). Apenas com a análise petrográfica não é possível afirmar se esse processo é resultado de alteração intempérica. Pode ser produto de alteração hidrotermal.....	74
Figura 56 - Nicóis cruzados. Idem Figura 55.....	75
Figura 57 - Diagrama ternário das amostras e suas respectivas classificações. STRECKHEISEN (1979) e IUGS (International Union of Geological Sciences) (1973) apud SIAL & McREATH (1984).....	76
Figura 58 - Correlação entre a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais e resistência à compressão uniaxial.....	77
Figura 59 - Correlação entre a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais e resistência à compressão pontiforme.....	78

Figura 60 - Correlação entre porosidade aparente e absorção d'água aparente para os litotipos estudados.....	79
Figura 61 – Correlação entre velocidade de propagação de ondas longitudinais e resistência à flexão das amostras estudadas.....	80
Figura 62 – Correlação entre flexão e compressão uniaxial.	80

RESUMO

SOSSAI, Fabiano Jerônimo Moreira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2006. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais.** Orientador: Eduardo Antônio Gomes Marques. Co-orientadores: Emílio Velloso Barroso e Enivaldo Minette.

Com a crescente utilização das rochas como materiais de revestimento na construção civil e as exigências do mercado consumidor, da segurança e durabilidade das construções, tem aumentado a necessidade de se caracterizar adequadamente as propriedades tecnológicas de rochas ornamentais. Neste trabalho, fez-se a caracterização tecnológica de dezoito tipos de rochas utilizadas como rochas ornamentais, de acordo com normas brasileiras e métodos de ensaios norte-americanos, tendo sido realizados ensaios de caracterização física, compressão uniaxial, resistência ao impacto de corpo duro, tração na flexão, congelamento e degelo conjugado com resistência à compressão uniaxial, velocidade de propagação de ondas longitudinais. Além disso, em cinco dessas amostras, foram executados ensaios adicionais de ataque químico com três substâncias, ácido clorídrico, hidróxido de potássio e detergente, e análise petrográfica. Em relação às características das rochas, considerando todas as prescrições da ASTM C 615 (1999) e as sugestões propostas por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996), para os ensaios realizados, apenas o litotipo “*Piracema White*” satisfaz plenamente os valores sugeridos. Isso significa que as outras dezessete amostras estudadas podem apresentar alguns problemas, dependendo do uso a ser dado. O ataque químico provou que as rochas sofrem variações, tanto esteticamente quanto em relação às suas características físicas e mecânicas. Os minerais máficos foram os mais atacados pelo ácido clorídrico. Portanto, rochas com alto teor de minerais escuros, como biotita, por exemplo, sofrem mais com a ação de produtos de limpeza ácidos.

ABSTRACT

SOSSAI, Fabiano Jerônimo Moreira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, August of 2006. **Technological characterization of dimension stones.** Adviser: Eduardo Antônio Gomes Marques. Co-advisers: Emílio Velloso Barroso e Enivaldo Minette.

With the increasing use of the rocks as dimension stones, the necessity of an adequate technological characterization of these materials becomes necessary. This work presents the results of a technological characterization of eighteen Brazilian rock types commonly used as dimension stones. The test were carried out according to Brazilian and American standards (ASTM) and encompass physical characterization; uniaxial compression strength; impact strength; traction strength determination at bending tests; uniaxial compressive strength after freezing and thawing cycling; wave velocity. For five rock types previously selected, rock samples were submitted to chemical attack, with three different substances. Thin sections of these rock types were also analyzed. Only the results obtained for the rock type named “*Piracema White*” satisfy the suggestions by ASTM (1999) and FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996). Chemical attack for all rock types tested has shown changes both into physical appearance and into mechanical and physical properties. Dark minerals (biotite) were the most attacked during cycling with acid solutions.

1. INTRODUÇÃO

Segundo AIRES-BARROS (2001), as rochas são sistemas químicos, em equilíbrio natural, constituídos por minerais, nas suas variadas “espécies”. Estas “espécies” podem encontrar-se, na natureza, associadas umas com outras – rocha polifásica, tendo em conta as suas compatibilidades, nomeadamente em termos térmicos, ou sozinhas. Neste último caso, está-se perante uma situação monomineral – rocha monomineral, onde apenas se encontra uma “espécie” que mesmo assim pode apresentar diferentes orientações.

Por mais que uma rocha seja “homogênea” quimicamente, ela poderá apresentar propriedades físicas diferentes em determinadas porções do corpo rochoso, dependendo das suas condições de formação (profundidade, pressão, velocidade de resfriamento, entre outras).

Geralmente, o uso de uma rocha se faz pela sua beleza, que é dada pelo arranjo e coloração dos minerais. Porém, a propriedade específica de cada mineral determina, por exemplo, sua dureza, alterabilidade, cor e estrutura que irão apontar qual o uso mais adequado da rocha para fins ornamentais.

O conhecimento das propriedades físico-mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas utilizadas como revestimento são fatores técnicos que podem afetar o preço do produto, nas opções de uso e na valorização do material mediante as exigências do mercado. O valor comercial da rocha é consequência direta das características técnicas da rocha ornamental, bem como das características estéticas. A utilização mais adequada para uma dada rocha deve ser aquela que apresente o valor técnico, estético e comercial mais elevado (MOURA, et. al., 2000).

Sugere-se que a caracterização tecnológica das rochas seja feita logo na etapa de pesquisa mineral, ou seja, antes de começar a exploração comercial do material, para se ter uma idéia de qual será o seu melhor uso. Como estas exigências de conhecimento das propriedades do material são relativamente novas, o que se observa é a procura para a caracterização tecnológica de materiais que já estão sendo explorados há anos. Isto ocorre devido ao aumento das exportações e do próprio

mercado interno, que está cada vez mais exigente com os materiais que utilizam na construção.

A determinação das características mais importantes das rochas ornamentais obriga a realização de estudos e ensaios técnicos específicos, de modo a definir a qualidade, e por consequência a sua finalidade mais adequada, em termos de utilização. Assim, além da descrição macroscópica (cor e textura) e estudo petrográfico aprofundado, se faz necessária a realização de ensaios físico-mecânicos.

As principais características físico-mecânicas das rochas estão intimamente ligadas à textura e à estrutura da rocha, em particular com a dimensão média dos grãos, que influencia na resistência e na alterabilidade, entre outras. Do mesmo modo, o estado de alteração dos minerais constituintes vai condicionar fortemente a aptidão de cada rocha ao polimento, e determinar a durabilidade.

Desta maneira, deve-se escolher uma rocha para revestimento, não apenas baseado no seu padrão estético, mas também, observando-se suas propriedades físicas e mecânicas para que estejam de acordo com os esforços e intempéries para os quais a rocha estará sujeita durante a vida útil do empreendimento.

Quanto à organização do trabalho, no Capítulo 3 apresenta-se uma revisão bibliográfica, com uma descrição do cenário mundial e nacional do mercado de rochas ornamentais da importância de sua caracterização físico-mecânica e a apresentação de alguns resultados de estudos realizados em rochas ornamentais.

No Capítulo 4 apresentam-se os materiais utilizados, e uma breve descrição dos métodos utilizados em todos os ensaios realizados neste trabalho.

No Capítulo 5 apresenta-se um resumo dos resultados dos ensaios realizados, uma comparação entre os resultados obtidos e os limites sugeridos e propostos em normas e publicações na área e algumas correlações entre as características físicas e mecânicas.

No Capítulo 6 estão apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, o Capítulo 7 contempla as referências bibliográficas utilizadas.

1.1 **Objetivos e Justificativas**

Este trabalho tem como objetivo caracterizar, do ponto de vista tecnológico, 18 litotipos utilizados na construção civil como rocha ornamental e determinar as correlações existentes entre suas características físicas e mecânicas. Discutem-se ainda, os limites propostos e sugeridos por órgãos regulamentadores e entidades de pesquisa para algumas características, tais como resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, etc.

Outro ponto importante deste trabalho é apresentar dados sobre alteração de rochas submetidas a ação de compostos químicos, presentes em produtos de limpeza e detergentes, ainda escassos nos trabalhos publicados sobre o assunto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tecer comentários sobre caracterização tecnológica de rochas ornamentais é difícil, principalmente pelo fato desses materiais não se comportarem idealmente, o que dificulta a interpretação dos próprios ensaios tecnológicos.

No Brasil, o estudo de rochas ornamentais começou a se difundir após a percepção da necessidade de se valorizar a matéria-prima exportada e devido às exigências do mercado consumidor externo. Atualmente, o mercado interno também necessita de informações mais detalhadas das características das rochas utilizadas como material de construção, não se atendo apenas às características estéticas.

Outro fator importante para o crescimento nas investigações das propriedades físico-químicas das rochas ornamentais foi o avanço das tecnologias de beneficiamento que, na atualidade, fez com que, por exemplo, a espessura das placas pudesse ser calculada em função da rocha (resistência à flexão) e não é mais função das debilidades dos equipamentos utilizados no beneficiamento. Outro ponto positivo trazido pelo avanço das tecnologias utilizadas no beneficiamento foi o melhor aproveitamento da matéria-prima resultando em redução no volume dos resíduos de corte e dos outros processos utilizados para o tratamento estético dado à rocha.

2.1 O Brasil e o Comércio de Rochas Ornamentais

Segundo MELLO et. al. (2004), no Brasil, a despeito de enfrentar desafios consideráveis e muito ter a evoluir, já que se trata de segmento da indústria mineral nacional com apenas 30 a 40 anos de atividade mais intensa e disseminada. A atuação do setor produtivo de rochas ornamentais tem possibilitado ao país participar de forma significativa do mercado mundial, prática favorecida pela singular diversidade e ótima aceitação das matérias-primas brasileiras, especialmente os granitos, que para o setor de rochas ornamentais e de revestimento, designa um amplo conjunto de rochas silicatadas, abrangendo monzonitos, granodioritos, sienitos, dioritos, basaltos, os próprios granitos, entre outros.

O Brasil encontra-se entre os seis principais países produtores mundiais de rochas ornamentais. O principal tipo de rocha exportado pelo Brasil é a silicática, que compreende a maioria das rochas ígneas, e em 2003 chegou a um valor de aproximadamente um milhão de toneladas. A Tabela 1 mostra um quadro geral da situação mundial das exportações de rochas ornamentais.

Tabela 1 – Situação das exportações mundiais de rochas ornamentais para o ano de 2003. (MONTANI, 2003).

Países	RCB		RSB		RPS		RPE		Ardósias		Total	
	Mil t	%	Mil t	%	Mil t	%	Mil t	%	Mil t	%	Mil t	%
China	55	1,4	801	9,5	591	22,2	4.167	43,4	86	9,8	5.700	22,5
Itália	706	18,5	155	1,8	223	8,4	2.073	21,6	31	3,5	3.188	12,6
Índia	138	3,6	1.812	21,5	145	5,5	266	2,8	70	8,0	2.431	9,6
Espanha	598	15,7	298	3,5	28	1,1	456	4,7	463	52,6	1.843	7,3
Turquia	624	16,4	165	2,0	137	5,2	543	5,7	1	0,1	1.470	5,8
Brasil	10	0,3	1.012	12,0	62	2,3	240	2,5	88	10,0	1.412	5,6
Portugal	80	2,1	370	4,4	353	13,3	248	2,6	3	0,3	1.054	4,2
África do Sul	-	-	905	10,7	-	-	12	0,1	19	2,2	936	3,7
Bélgica	99	2,6	79	0,9	330	12,4	113	1,2	7	0,8	628	2,5
Alemanha	54	1,4	183	2,2	113	4,2	60	0,6	10	1,1	420	1,7
Noruega	3	0,1	323	3,8	7	0,3	2	0,0	17	1,9	352	1,4
Canadá	-	-	88	1,0	3	0,1	223	2,3	28	3,2	342	1,3
Outros	1.439	37,8	2.235	26,5	667	25,1	1.204	12,5	57	6,5	5.602	22,1
Total	3.806	100,0	8.426	100,0	2.659	100,0	9.607	100,0	880	100,0	25.378	100,0

RCB - Rocha Carbonática Bruta (blocos de mármore); RSB - Rocha Silicática Bruta (blocos de granito); RPS - Rocha Processada Simples (quartzitos, pedra Miracema e etc.); RPE - Rocha Processada Especial (chapas e ladrilhos polidos de mármore e granitos).

A extração de rochas brasileiras chega a seiscentas variedades comerciais de rochas, como granitos, mármore, ardósias, quartzitos, travertinos, pedra sabão, basaltos, serpentinitos, conglomerados, pedra talco e materiais do tipo pedra Miracema, pedra Cariri e pedra Morisca, dentre outras rochas dos mais diversos padrões de texturas e cores provenientes de cerca de 1.300 jazidas. Estima-se a existência de 11.100 empresas do setor atuantes no Brasil, responsáveis pela geração de 114.000 empregos diretos. Os principais Estados produtores de rochas ornamentais são, em ordem de produção, Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Ceará, Rio de Janeiro e Paraná, (CHIODI FILHO, 2004).

Na Figura 1 apresentam-se os valores, em toneladas, da produção de rochas ornamentais do Brasil para o ano de 2002.

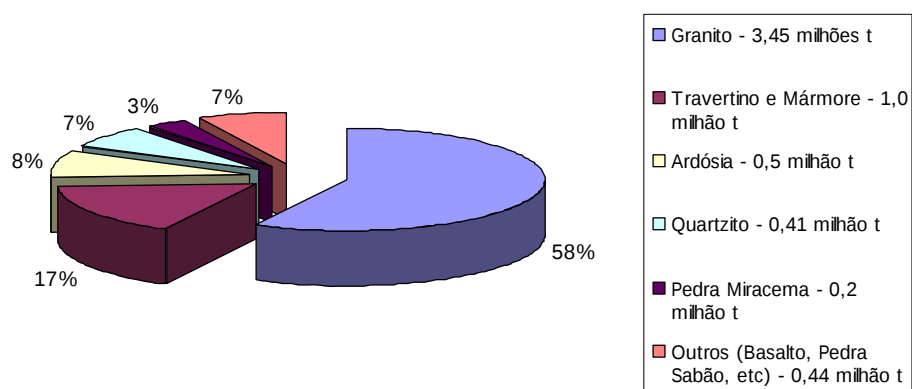


Figura 1 – Perfil da produção de rochas ornamentais brasileira para o ano de 2002. Nota-se a supremacia das rochas silicáticas, que abrangem os granitos, quartzitos e a pedra Miracema (MELLO et. al., 2004).

Os principais países de destino das rochas ornamentais brasileiras e seus respectivos percentuais em valor (US\$) foram, em 2001, os Estados Unidos (44%) a Itália (18%), Espanha (10%) e Chile (4%) (CHIODI FILHO et. al., 2001).

Trabalhando com dados mais atuais, observa-se a boa fase do mercado brasileiro de rochas ornamentais, que vêm batendo recordes de crescimento a cada ano. Pode-se notar este feito através de uma previsão feita pela ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais) em 1999 e citada por CHIODI FILHO et. al. (2001), baseada na taxa de crescimento de 15% fundada na taxa experimentada nos três anos anteriores. Com esta taxa média, fez-se uma projeção de crescimento até o ano de 2006. A Figura 2, a seguir, apresenta os valores da previsão feita em 1999 e os valores reais das exportações de rochas ornamentais no período.

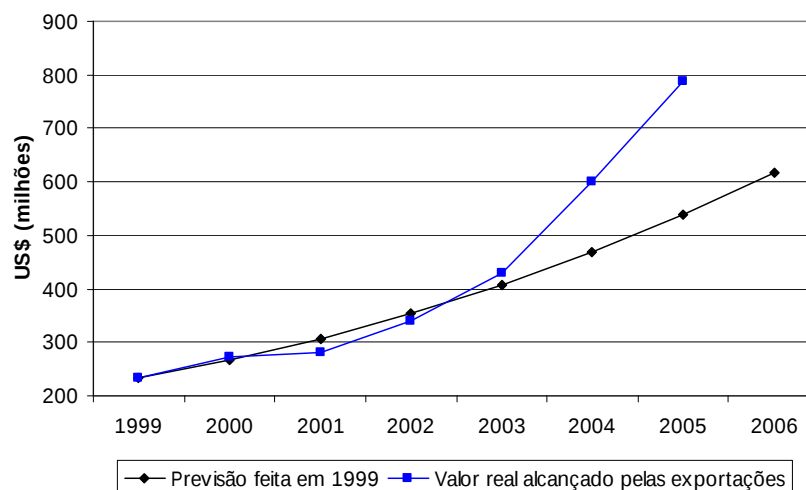


Figura 2 – Previsão feita pela ABIROCHAS em 1999 para as exportações de rochas brasileiras e os valores reais do montante alcançado. (CHIODI FILHO et. al., 2001)

Um fator importante a ser exposto neste trabalho é a valorização da matéria-prima, a partir do beneficiamento das rochas ornamentais. É interessante observar a questão de valor agregado. Enquanto as rochas processadas compuseram 50,96% do volume físico e representaram 78,33% do faturamento das exportações, as rochas silicáticas brutas compuseram 48,40% do volume físico e apenas 21,21% do faturamento. A agregação de valor, pelo beneficiamento da matéria-prima, é assim superior a 3,5 vezes, considerando-se o preço médio apurado para as rochas brutas e processadas em 2005 (CHIODI FILHO, 2006).

Na Figura 3, a seguir, pode-se observar a importância do beneficiamento das rochas a serem exportadas. Além do aumento do preço final aumenta-se a mão-de-obra empregada na indústria de rochas ornamentais, vantajoso para a economia interna brasileira.

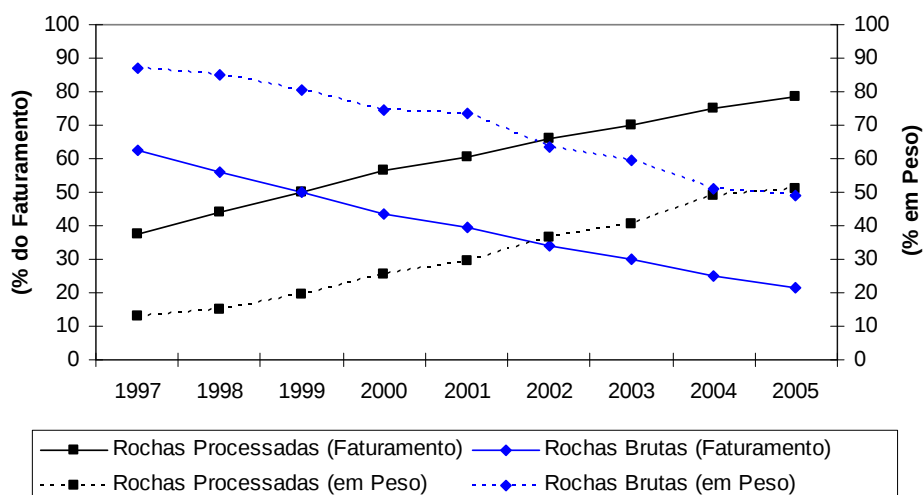


Figura 3 – Evolução da participação nas exportações de Rochas Brutas e processadas, dos pontos de vistas do faturamento e do peso.

Pode-se observar na Figura 3, que as exportações de rochas processadas, tanto acabadas quanto semi-acabadas representaram 78,33% do total exportado em 2005. Em volume físico, as rochas processadas somaram 1.099.479,59 toneladas e representaram 50,96% do total das exportações. Com estes números, o ano de 2005 entra para a história como sendo o ano em que as exportações de rochas processadas superaram a marca de 1 milhão de toneladas e, o mais importante, excederam a participação das rochas brutas no total do volume físico exportado.

Os preços médios praticados pelos principais países produtores nas vendas internacionais de blocos variam entre US\$ 300/m³ e US\$ 700/m³, tratando-se de granitos; e de US\$ 500/m³ a US\$ 1.300/m³, no caso de mármore. Tratando-se de produtos finais (peças padronizadas, peças sob medida ou personalizadas), o valor agregado é ainda maior, com preços atingindo de seis a dez vezes mais que os dos materiais in natura.

Segundo o MELLO et. al. (2004), nas vendas internacionais, os negócios com produtos processados, em especial o comércio internacional de chapas e produtos padronizados de mármore e granitos, têm mostrado crescimento mais constante, a ponto de superar as transações com produtos brutos desde meados da última década. Por outro lado, e para efeito comparativo, a Figura 4 mostra a evolução do consumo mundial de revestimentos pétreos e cerâmicos a partir dos anos 90 e a relação de consumo entre os dois tipos de revestimentos. Nota-se que seu consumo vem aumentando a taxas maiores que o dos revestimentos pétreos, havendo uma relação

de 1 m² para cada 7 m² comercializado, desfavorável às pedras naturais, cujas vendas ressentem-se, mais ainda, da concorrência direta, nos últimos anos, do grés porcelanato.

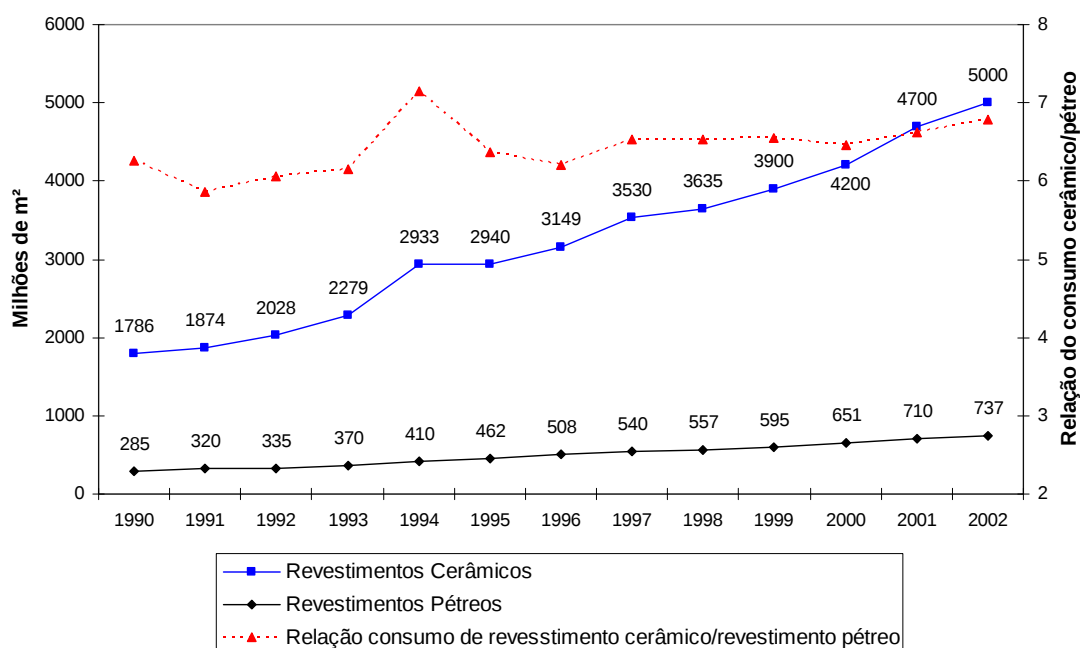


Figura 4 – Consumo mundial de revestimentos cerâmicos e péticos e a relação entre o consumo dos dois tipos de revestimentos. Adaptado de MELLO et. al. (2004).

2.1.1 Os Principais Estados Brasileiros na Produção e Comercialização de Rochas Ornamentais

Os principais estados brasileiros produtores de rochas ornamentais, para o ano de 2002 foram o Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Paraná, Rio de Janeiro e Ceará. Nestes estados, a soma de suas produções chega a mais de 5,3 milhões de toneladas. Na Tabela 2 estão listados os valores das produções de cada estado, em toneladas, e o tipo de rocha.

Tabela 2 – Produção de rochas ornamentais para as regiões e estados brasileiros, para o ano de 2002 (CHIODI FILHO, 2003).

<i>Região</i>	<i>Estado</i>	<i>Produção (toneladas)</i>	<i>Tipo de Rocha</i>
Sudeste	Espírito Santo	2.850.000	Granito e mármore
	Minas Gerais	1.200.000	Granito, ardósia, quartzito foliado, pedra sabão, pedra talco, serpentinito, mármore e basalto
	Rio de Janeiro	260.000	Granito, mármore e pedra miracema
	São Paulo	80.000	Granito, quartzito foliado e ardósia
Nordeste	Bahia	500.000	Granito, mármore, travertino, arenito e quartzito
	Ceará	250.000	Granito e pedra cariri
	Paraíba	62.000	Granito e conglomerado
	Pernambuco	50.000	Granito
	Alagoas	15.000	Granito
	Rio Grande do Norte	15.000	Mármore e granito
	Piauí	10.000	Pedra morisca
Norte	Rondônia	15.000	Granito
	Pará	3.000	Granito
Sul	Paraná	320.000	Granito, mármore e outros
	Rio Grande do Sul	140.000	Granito e basalto
	Santa Catarina	80.000	Granito e ardósia
Centro-Oeste	Goiás	150.000	Granito e quartzo foliado
Total		6.000.000	

O Espírito Santo é responsável por mais de 40% da mineração brasileira de rochas ornamentais, pelo menos a metade da extração nacional de granitos e dois terços da extração de mármore, e mais da metade das exportações brasileiras. Tal assimetria, em relação aos demais estados, possivelmente, levará o setor, em futuro não muito distante, a ter que discutir alternativas para manutenção, o quanto possível, do admirável desempenho capixaba e sua importância no cenário brasileiro das rochas ornamentais, sem que isto se traduza em um forte inibidor da atuação dos demais estados produtores, como muitas vezes já acontece. Talvez seja então possível uma maior aproximação entre os indicadores produtivos dos vários Estados, estando mais bem harmonizadas as vantagens competitivas desses atores (MELLO et. al., 2004).

A participação dos principais estados exportadores no valor das vendas brasileiras ao exterior, de 2001 a 2003, pode ser vista na Figura 5. Nota-se a atuação do Espírito Santo, que comercializou um total de US\$ 224,5 milhões, equivalente a 52,3% do total exportado pelo país e 31,9% maior que o exportado pelo estado em 2002.

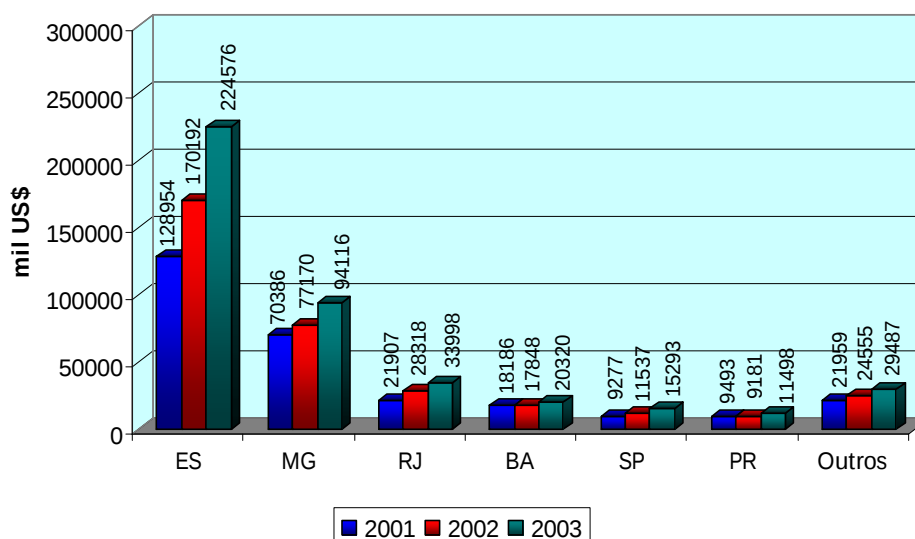


Figura 5 – Participação, em valor, dos principais estados exportadores de rochas ornamentais para o período 2001-2003.

2.1.2 O Consumo Interno de Rochas Ornamentais

Cerca de 75% da produção brasileira é destinada ao mercado interno, e mais de 70% dela têm origem nos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia (como mostrado na Tabela 2). Pelo menos 75% das marmorarias brasileiras estão localizadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, ou seja, inseridas no maior centro consumidor do país, que é constituído pelos estados do sudeste. A região sudeste responde ainda por, pelo menos, 85% das exportações e importações brasileiras. (MELLO et. al., 2004).

Na Tabela 3 está apresentado o fim dado às rochas ornamentais no Brasil.

Tabela 3 – Estimativa do uso de rochas ornamentais pelo mercado brasileiro (CHIODI FILHO, 2004).

Usos (Milhões m ²)	Granito s	Mármore s	Mármore s Importad os	Ardósia s	Quartzito s	Outros	Total	Percentual de participação
Pisos internos	5,78	2,34	0,12	3,00	1,25	0,87	13,36	23,0
Pisos externos	3,85	1,55	0,08	9,00	3,75	2,30	20,56	35,3
Fachadas	2,60	1,04	0,05	0,40	0,15	0,15	4,39	7,5
Degraus	0,74	0,30	0,02	0,40	0,15	0,12	1,73	3,0
Paredes internas	2,60	1,05	0,05	0,40	0,15	0,18	4,46	7,6
Tampos	5,19	2,10	0,10	0,40	0,15	0,21	8,15	14,0
Obras estruturais	1,25	0,50	0,03	-	-	0,03	1,81	3,1
Arte funerária	1,80	0,72	0,04	-	-	0,04	2,60	4,5
Outros	0,49	0,20	0,01	0,10	0,20	0,21	1,21	2,1
Total	24,30	9,80	0,50	13,7	5,80	4,11	58,21	100,0

Com base nos dados apresentados na Tabela 3, pode-se concluir que, do ponto de vista mercadológico, as rochas ornamentais brasileiras seguem um caminho promissor, que está sendo bem fundado tanto nacionalmente como internacionalmente. Entretanto, outro aspecto fundamental para o sucesso alcançado nas transações de rochas ornamentais, é a caracterização físico-mecânica dos materiais comercializados. Este aspecto torna-se cada vez mais importante à medida que o mercado consumidor se torna mais exigente, pois uma correta aplicação de qualquer material na construção civil só pode ser alcançada com os conhecimentos prévios do comportamento do material mediante as adversidades do local no qual ele será utilizado.

2.2 Origem das Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais mais comumente usadas na construção civil envolvem dois grandes grupos: as rochas carbonáticas, que abrangem os mármore, dolomitos, etc. e as rochas silicáticas, que serão objeto dos estudos realizados no presente trabalho, que abrangem os granitos, sienitos, arenitos, dioritos, etc.

A caracterização tecnológica desses materiais deve ser realizada logo na etapa da pesquisa mineral, e nessa fase já se deve ter conhecimento do tipo de aplicação para o qual os produtos se destinam. Muitos insucessos têm ocorrido com as rochas ornamentais, não só devido à falta de conhecimento das características naturais que o material traz, como também daqueles induzidos pelos métodos de lavras e processos de beneficiamento, bem como aplicação, uso/adequação que podem provocar alterações (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

As rochas ígneas têm origem no resfriamento do magma¹. A grande maioria dos magmas observados possui uma composição silicática, com seus principais componentes sendo o oxigênio e o silício. Há ainda, presentes nos magmas silicatados, os componentes Fe, Ca, Mg, Na, K, Al, Ti, que compõem a grande parte da composição da rocha, e, por isso, são tratados como elementos principais, e outras substâncias, como P e Mn, que são conhecidos como traços. (SIAL & McREATH, 1984).

Outra constatação importante é que, segundo SIAL & McREATH (1984), uma boa parte das rochas ígneas expostas à superfície da Terra sofreu efeitos de metamorfismo e metassomatismo (metamorfismo causado pela adição ou subtração de componentes químicos das rochas e minerais preexistentes).

2.3 Caracterização Físico-Mecânica de Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais, pelo fato de serem aplicadas em locais com características diferentes daquelas onde foram formadas, ficam sujeitas a condições “agressivas”, sejam elas antrópicas (atrito ou desgaste, choques, contacto com produtos de limpeza domésticos e industriais) ou naturais (variações de temperatura, exposição solar, água e gelo) (DUARTE, 2003).

A caracterização tecnológica da rocha (mineralógica, física, química e mecânica) é uma etapa fundamental para sua utilização correta, segura e econômica, devendo-se sobrepor às tendências da moda. Por exemplo, o conhecimento das características tecnológicas das rochas tem importância na seleção e avaliação prévia da qualidade, quando se destinam a pavimentos, em locais de passagem intensiva de

¹ Magma é um líquido de composição complexa, cujas propriedades físicas e história térmica controlam, em grande parte, as texturas das rochas dele derivado (SIAL & McREATH, 1984).

peessoas. A Figura 6 ilustra o resultado da ação das solicitações sob rochas utilizadas em um piso.



Figura 6 – Rampa de acesso ao Congresso Nacional (Brasília/DF). Pode-se observar a ação do tempo no piso, com consequente surgimento de trincas.

Para se poder caracterizar a adequação de uma rocha para um determinado fim, é necessário conhecer e/ou quantificar e qualificar algumas das suas características petrográficas, químicas, físicas e mecânicas.

A descrição petrográfica de uma rocha ornamental é importante para estabelecer a sua classificação petrográfica e destacar uma série de características, tais como, porosidade, descontinuidades, fissuras, estado de alteração, etc. A textura da rocha, nomeadamente as proporções dos diferentes minerais constituintes, assim como a sua natureza, origem, dimensões dos grãos e características dos materiais cimentantes, são importantes para prever o comportamento das rochas mediante determinadas agressões físicas e químicas, como por exemplo, a ação deletéria dos ácidos (no caso deste trabalho, o ácido clorídrico) em minerais máficos.

O conhecimento da composição química de uma rocha serve essencialmente para destacar a presença de alguns compostos que, mesmo em pequenas quantidades, podem afetar a durabilidade da rocha num determinado meio. Também o conhecimento da composição química permite saber quais os elementos que mais facilmente contribuem para a alteração da rocha por reação química.

Dentre as características físicas destacam-se o peso específico aparente, a porosidade e o coeficiente de absorção de água. Uma rocha muito porosa tende a absorver mais água na sua estrutura, acelerando os processos de alteração química dos minerais, e alterações mecânicas como o processo de congelamento e descongelamento da água existente nos poros. Também, uma rocha menos porosa apresenta valores mais altos de resistência aos esforços mecânicos.

As características mecânicas mais usualmente determinadas são a resistência à compressão, a resistência à flexão, a resistência ao choque, a resistência à compressão após os ciclos de gelo-degelo, a resistência ao desgaste, a resistência às amplitudes térmicas, o módulo de elasticidade, o coeficiente de dilatação térmica linear e a micro dureza.

Além das características físicas e mecânicas básicas propostas por órgãos regulamentadores como ABNT, ASTM, etc., neste trabalho será apresentado um estudo de resistência ao ataque químico de alguns tipos de rochas silicáticas, visto que as rochas ornamentais têm uma gama muito extensa de formas de utilizações, que vão desde rodapés de interiores à bancadas de pias e laboratórios. Na Tabela 4, sugerem-se os ensaios a serem realizados para a caracterização das rochas ornamentais, de acordo com normas nacionais e internacionais.

Tabela 4 – Normas para ensaios propostas para a caracterização de materiais rochosos.

Ensaio	ABNT	ASTM	DIN	AFNOR	UNI	AENOR
Análise Petrográfica	12768	C-295		B-0301	9724/1	
Coeficiente de Dilatação Térmica Linear	12765	E-228				
Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão	12769		52104	B-10513		
Desgaste Amsler	6481	C-241	52108	B-10518	2232	23183
Índices Físicos	12766	C-97	52102 52103	B-10503 B-10504	9724/2	22182
Micro Dureza Knoop					9724/6	22188
Módulo de Deformabilidade Estática		D-3148			2234	
Resistência à Compressão	12767	D-2938 C-170	52105	B-10509	9724/4	22185
Resistência à Flexão	12763	C-99 C-880	52112	B-10510	9724/5	22186
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	12764	C-170				22189

Legenda: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; ASTM – American Society for Testing and Materials (Estados Unidos); DIN – Deutsches Institut für Normung (Alemanha); AFNOR – Association Française de Normalisation (França); UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione – (Itália); AENOR – Asociación Española de Normalización y Certificación (Espanha)

A fim de comparar os resultados encontrados no presente trabalho, serão tomados como parâmetros de comparação, a norma ASTM C 615 - Standard specification for granite dimension stone (1999) e os resultados sugeridos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996), obtidos em um trabalho técnico do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), através da análise estatística de 158 amostras de rochas silicáticas ensaiadas pelo IPT.

Na Tabela 5 apresentam-se os valores limites estabelecidos, de um estudo estatístico conduzidas por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996) e os fixados pela norma ASTM C 615.

Tabela 5 – Limites estabelecidos e sugeridos para rochas ornamentais.

Propriedades	Valores fixados pela ASTM (C 615)	Valores sugeridos no estudo (FRAZÃO & FARJALLAT, 1995, 1996)
Massa específica aparente (kg/m ³)	> 2.560	> 2.550
Porosidade aparente (%)	n.e.	< 1,0
Absorção d'água (%)	< 0,4	< 0,4
Compressão uniaxial (MPa)	> 131	> 100
Flexão (MPa)	> 10,4	> 10
Módulo de deformabilidade (GPa)	n.e.	> 30
Impacto de corpo duro (m)	n.e.	> 0,4

Nota: n.e. – não especificado.

2.4 Estudos sobre Rochas Ornamentais

Na Tabela 6, a seguir, propõe-se um roteiro de ensaios de caracterização tecnológica, visando a adequada utilização das rochas ornamentais. Verifica-se, por exemplo, que na fase de extração deve-se conhecer, inicialmente, a natureza da rocha através de sua análise petrográfica, para que se possa avaliar o grau de comprometimento de suas características com a estética, polimento e durabilidade dos produtos finais. Vale salientar que o incremento das solicitações objetivando o conhecimento de tais características deve-se, em grande parte, a imposição do mercado internacional, cada vez mais exigente e competitivo.

A Tabela 7 foi extraída de um manual de aplicação de rochas, com valores de alguns ensaios realizados por CORBELL & ZINI (1997), apud SILVA & MARGUERON (2002) em rochas italianas, que servirão para comparação com os resultados encontrados no presente trabalho.

A seguir, são apresentados resultados de ensaios de caracterização tecnológica de rochas ornamentais de várias localizações, para que se tenha uma noção dos valores das características de alguns litotipos.

Tabela 6 - Ensaios recomendados para a caracterização de rochas ornamentais.

<i>Usos</i>	<i>Ensaios</i>		<i>Resistência</i>				<i>Módulo de Def. Estático</i>	<i>Dilatação Térm. Linear</i>	<i>Alterabilidade</i>
	<i>Análise Petrográfica</i>	<i>Índices Físicos</i>	<i>Desgaste</i>	<i>Impacto</i>	<i>Comp. Uniaxial</i>	<i>Flexão</i>			
Extração	X	X	X					X	
Beneficiamento	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revest. Externo	X	X	X			X		X	X
Revest. Interno	X	X	X			X		X	X
Pisos	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Colunas e Pilares	X	X			X	X	X	X	X
Pedestais	X	X			X	X	X	X	X
Tampas de Mesas e Balcões	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pias	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Soleiras	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Esculturas	X	X	X		X	X	X	X	X
Cilindros p/ Indústria de Alimentos, Papel, etc.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mesas e Aparelho de Desempenho	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: IPT (1993).

Tabela 7 - Resultados de ensaios realizados em rochas ornamentais italianas.

<i>Definição Petrográfica</i>	<i>Classificação comercial</i>	<i>Massa Específica Aparente</i> <i>kg/m³</i>	<i>Absorção D'Água Aparente</i> <i>%</i>	<i>Resistência</i>		
				<i>Compressão</i> <i>MPa</i>	<i>Flexão</i> <i>MPa</i>	<i>Impacto</i> <i>m</i>
Riolito c/ estr. elástica	Pórfido	2555	0,653	221,5	22,5	0,62
Mármore	Mármore	2705	0,060	131	16,9	0,61
Calcário micrítico fossilífero	Mármore	2680	0,160	156	14,2	0,44
Brecha calcária	Mármore	2711	0,088	128	13,0	0,55
Oficalcita brecha serpentínica	Mármore	2725	0,165	162	17,9	0,55
Leucogranito	Granito	2615	0,341	178	12,8	0,77
Diorito	Granito	2805	0,291	219	20,0	0,90
Augen Gnaiss	Granito	2660	0,397	141	19,0	0,89
Tonalito	Granito	2818	0,223	148	22,2	0,95
Calcário com vesículas	Travertino	2409	0,739	82	13,1	0,57
Calcário com ves. e fossilífero	Pedra	2204	12,55	24	3,9	0,34
Arenito Feldspático	Pedra	2600	1,819	102	11,9	0,89
Basalto	Pedra	2262	4,085	58	13,5	0,34

Fonte: CORBELLA & ZINI (1997), apud SILVA & MARGUERON (2002).

MEYER (2003) conclui que os valores de resistência mecânica, de porosidade e absorção d'água apresentados pelas variedades sieníticas estudadas (Tabela 8) situam-se, em geral, dentro ou muito próximos dos valores de referência limítrofes fixados pela ASTM (1999) e sugeridos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996) para rochas silicáticas. Já a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas supera os índices de qualidade sugeridos por estes autores.

Tabela 8 – Resultados dos estudos de MEYER, 2003.

<i>Nome Comercial</i>	<i>Massa Específica Aparente</i> <i>kg/m³</i>	<i>Porosidade Aparente</i> <i>%</i>	<i>Absorção D'Água Aparente</i> <i>%</i>	<i>Velocidade de Ondas Ultrasônicas</i> <i>m/s</i>	<i>Resistência</i>		
					<i>Compressão</i> <i>MPa</i>	<i>Flexão</i> <i>MPa</i>	<i>Impacto</i> <i>m</i>
Marrom Café grosso	2789	1,19	0,43	5966	129,8	13,1	0,39
Marrom Café grosso/médio	2774	1,14	0,41	6054	101,2	13,5	0,32
Marrom Café médio	2766	1,02	0,37	5342	138,7	12,7	0,38
Marrom Caldas	2757	1,08	0,39	5185	179,1	13,6	0,37

Fonte: MEYER (2003).

Na Tabela 9 mostram-se resultados da caracterização de dois gnaisses de granulação média, extraídos no noroeste do Rio de Janeiro.

Tabela 9 – Resultados de ensaios para rochas provenientes do município de Santo Antônio de Pádua/RJ.

<i>Nome Comercial</i>	<i>Massa Específica Aparente</i> <i>kg/m³</i>	<i>Porosidade Aparente</i> <i>%</i>	<i>Absorção D'Água Aparente</i> <i>%</i>	<i>Resistência</i>		
				<i>Compressão</i> <i>MPa</i>	<i>Flexão</i> <i>MPa</i>	<i>Impacto</i> <i>m</i>
Olho-de-Pombo	2700	1,06	0,39	99,63	17,86	0,30
Pinta Rosa	2710	1,72	0,63	160,56	20,51	0,25

Fonte: SILVA & MARGUERON (2002).

VIDAL, BESSA & LIMA (1999) realizaram um estudo a partir das características tecnológicas de 75 amostras de rochas silicatadas do Estado do Ceará e fizeram uma descrição quantitativa dessa população e de sua comparação com os valores limites estabelecidos pela norma ASTM C 615 e aqueles propostos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996).

Estes autores concluíram que nem todos os materiais estudados apresentam valores que se enquadram nos limites propostos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996) para as propriedades tecnológicas descritas, resultando num universo de dados que variam de, no mínimo, 22 (vinte e duas) amostras para uma determinada propriedade a até 75 (setenta e cinco) amostras para outras. Dentre os vários tipos petrográficos definidos, encontram-se granitos propriamente ditos, monzogranitos, migmatitos, dioritos e charnockitos, entre outros.

Os resultados estão apresentados nas Figuras 7 a 13, a seguir.

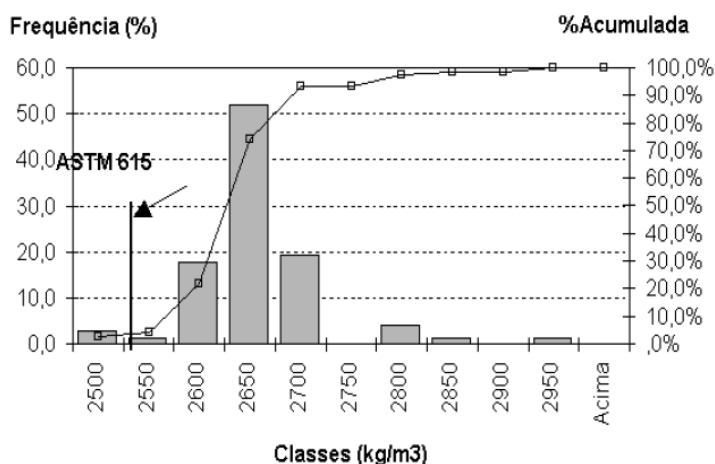


Figura 7 - Distribuição dos valores de massa específica aparente seca de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

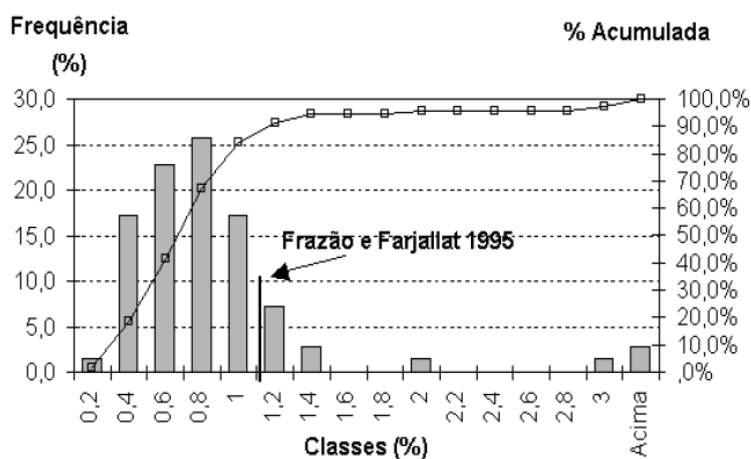


Figura 8 - Distribuição dos valores de porosidade aparente de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

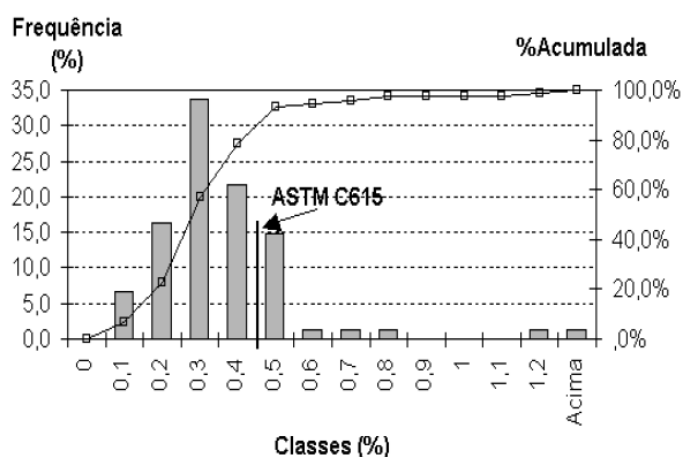


Figura 9 - Distribuição dos valores de absorção d'água de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

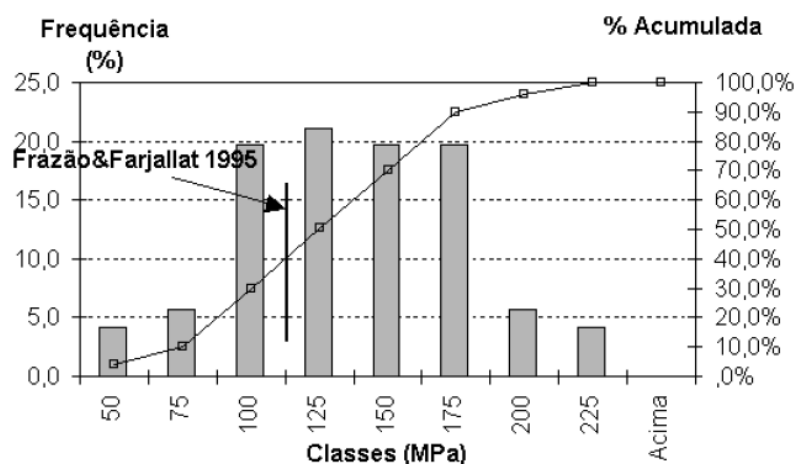


Figura 10 - Distribuição dos valores referentes a resistência à compressão uniaxial de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

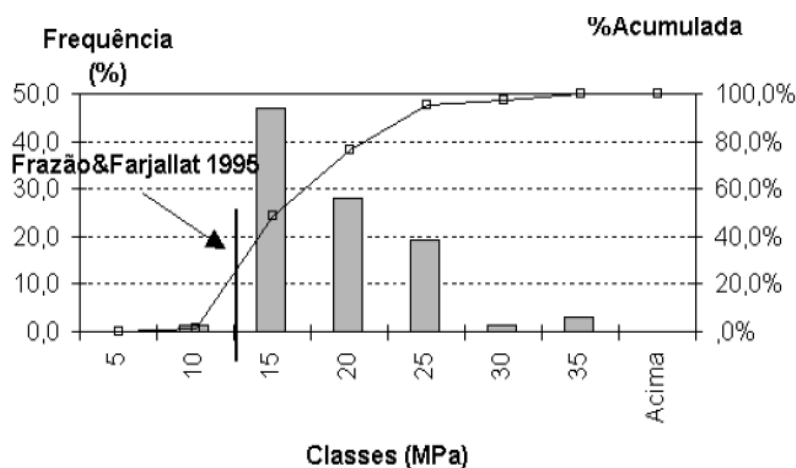


Figura 11 - Representação gráfica da distribuição dos valores de resistência à flexão de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

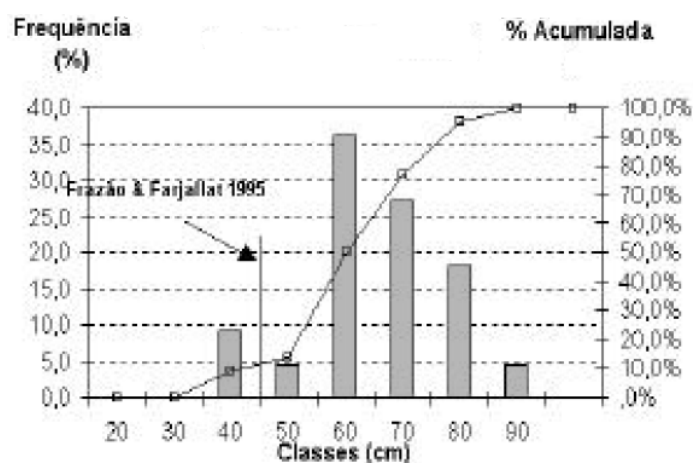


Figura 12 - Representação gráfica dos valores obtidos para a resistência ao impacto do corpo duro de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999). (Verificar as unidades)

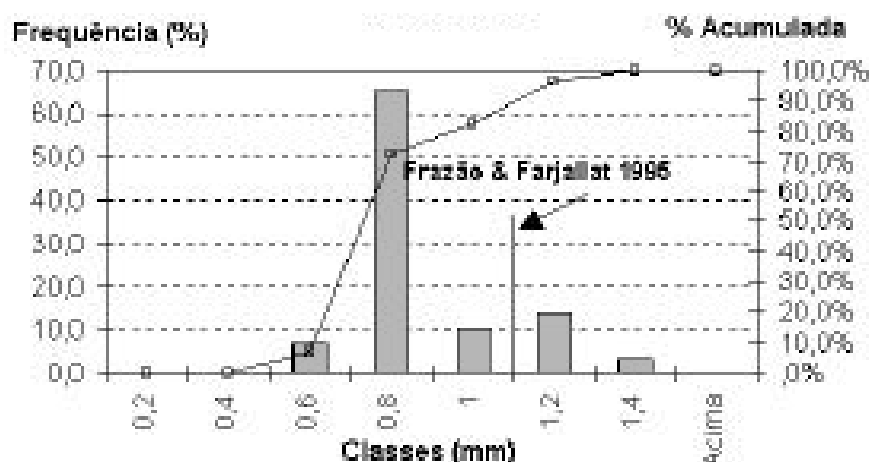


Figura 13 - Representação gráfica dos valores obtidos para resistência ao desgaste Amsler de rochas silicáticas do Ceará (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

Estudos mais recentes apontam uma preocupação com a alteração e a alterabilidade das rochas utilizadas devido a constante utilização de produtos de limpeza, ou também, pela exposição das rochas às variações ambientais e à poluição, o que pode acarretar numa perda das propriedades da rocha.

BESSA, et. al. (2002) concluem que, de maneira geral, as substâncias ácidas são as mais ativas no processo de alteração das rochas, com modificações de ligações cristalinas e transporte de íons solúveis, o que pode acarretar em um comprometimento das características mecânicas da rocha.

Alguns estudos buscam uma correlação com as características físicas das rochas, como NAVARRO (2002), que estudou a relação entre o coeficiente de dilatação térmica e a porcentagem de minerais presentes na amostra, tendo concluído que o coeficiente de dilatação térmica para as rochas silicáticas estudadas é controlado pelo conteúdo de quartzo e mica e que a textura é um fator importante para a anisotropia, especialmente para rochas fortemente foliadas. Concluiu ainda que a porosidade da rocha deve-se à distribuição, e quantidade de microfissuras, especialmente em rochas magmáticas e metamórficas, e representam um importante fator controlador da dilatação térmica.

De acordo com NAVARRO (2002), a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais pode ser correlacionada com a resistência à compressão uniaxial. Em seu trabalho, o pesquisador encontrou um coeficiente de determinação de 29%.

SOUZA, FILHO & BARROS (2002) cita a relação entre os índices físicos porosidade e absorção de água, que em seu trabalho apresentam uma correlação forte entre si, que pode ser representada pela equação de regressão:

$$\textit{“Porosidade} = 0,4031 \cdot \textit{absorção} - 0,0094; \textit{ com } R^2 = 0,9945\textit{”}.$$

Outras correlações citadas por NAVARRO (2002) são: correlação entre Flexão por tração, também conhecido por módulo de ruptura (MR) e velocidade de propagação de ondas longitudinais (v), com as seguintes características: “ $MR = 0,0075v - 21,832$ e $R = 83\%$ ”, e a relação entre compressão uniaxial (qu) e “ v ”, com a seguinte equação: “ $qu = 0,043v - 40,901$ e $R = 54\%$ ”.

SOUZA, FILHO & BARROS (2002) encontraram a seguinte equação para a correlação entre compressão (qu) e tração na flexão (tf): “ $qu = 38,246 \times tf^{0,4299}$ ”, com coeficiente de correlação de 76%.

Segundo LANDIM (1997), coeficientes de correlação entre variáveis geológicas dificilmente chegam a 50%, fazendo uma analogia com os parâmetros tecnológicos, pode-se dizer que os dados aqui apresentados podem ser aceitos para testes futuros envolvendo a tentativa de previsão dos parâmetros tecnológicos através de ensaios mais simples e menos onerosos e medidas de velocidade de ultra-som em rochas utilizadas como material de revestimento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

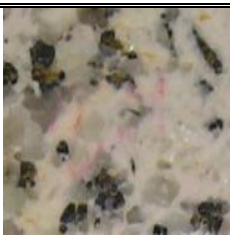
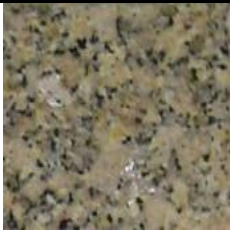
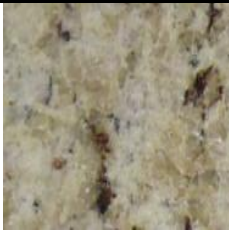
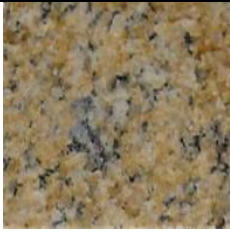
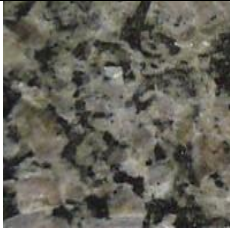
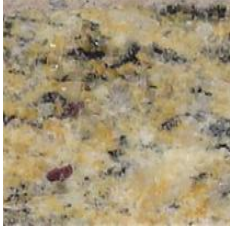
As rochas estudadas são provenientes de vários estados brasileiros. Conforme mostrado na Tabela 10, todas as amostras, assim como os dados da procedência, foram disponibilizados pela GRAMAFAL, empresa localizada no município de Venda Nova do Imigrante – ES.

As amostras foram encaminhadas à Universidade Federal de Viçosa previamente preparadas pela empresa, de acordo com as especificações das normas de ensaios utilizadas neste trabalho. As amostras utilizadas para o ataque químico foram preparadas no Laboratório de Materiais de Construção da UFV, utilizando-se uma serra diamantada e preparando as amostras prismáticas de aproximadamente (4 x 4,5 x 5) cm.

Tabela 10 – Nome comercial das amostras estudadas e seus respectivos estados de origem.

<i>Nome Comercial</i>	<i>Origem</i>
<i>Amarelo Verniz</i>	<i>Minas Gerais</i>
<i>Branco Torrone</i>	<i>Minas Gerais</i>
<i>Branco Romano</i>	<i>Espírito Santo</i>
<i>Carioca Gold</i>	<i>Minas Gerais</i>
<i>Giallo Fiorito</i>	<i>Minas Gerais</i>
<i>Giallo Ornamental</i>	<i>Espírito Santo</i>
<i>Giallo Firenze</i>	<i>Espírito Santo</i>
<i>Juparanã Rio</i>	<i>Rio de Janeiro</i>
<i>Labareda Gold</i>	<i>Minas Gerais</i>
<i>Midnight Green</i>	<i>Espírito Santo</i>
<i>Ocre Itabira</i>	<i>Espírito Santo</i>
<i>Piracema White</i>	<i>Minas Gerais</i>
<i>Santa Cecília</i>	<i>Espírito Santo</i>
<i>Venetian Gold</i>	<i>Minas Gerais</i>
<i>Verde Butterfly</i>	<i>Espírito Santo</i>
<i>Verde Ubatuba</i>	<i>Minas Gerais</i>
<i>Vermelho Brasília</i>	<i>Goiás</i>
<i>Giallo Antico</i>	<i>Minas Gerais</i>

Tabela 11 – Aspecto visual das amostras estudadas.

		
<i>Amarelo Verniz</i>	<i>Branco Torrone</i>	<i>Branco Romano</i>
		
<i>Carioca Gold</i>	<i>Giallo Fiorito</i>	<i>Giallo Ornamental</i>
		
<i>Giallo Firenze</i>	<i>Juparanã Rio</i>	<i>Labareda Gold</i>
		
<i>Midnight Green</i>	<i>Ocre Itabira</i>	<i>Piracema White</i>
		
<i>Santa Cecilia</i>	<i>Venetian Gold</i>	<i>Verde Butterfly</i>
		
<i>Verde Ubatuba</i>	<i>Vermelho Brasília</i>	<i>Giallo Antico</i>

Para o trabalho de caracterização, foram selecionados os seguintes ensaios:

- Índices físicos
- Resistência à flexão
- Resistência ao impacto
- Resistência à compressão uniaxial
- Perda de resistência após congelamento e degelo
- Ataque químico
- Resistência à compressão puntiforme
- Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais
- Análise petrográfica

3.1 Ensaios de Caracterização

3.1.1 Índices Físicos

O ensaio de caracterização física das rochas foi executado de acordo com a norma NBR 12766/1992 (Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente). Como exigido pela norma, foram utilizados 10 (dez) corpos-de-prova com massa aproximada de 250 gramas cada. Todo o procedimento de ensaio foi realizado na sala de Geologia situada no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, com uma temperatura média de 22 °C e variação máxima de 2 °C.

O ensaio consiste em secar os corpos-de-prova em estufa (100 ± 5 °C) por 24 horas, retirá-los e deixá-los esfriarem a temperatura ambiente. Após isso, determinar as massas secas. Colocar os corpos-de-prova numa bandeja e adicionar água até 1/3 de suas alturas. Após 4 horas adicionar água até 2/3 e após 4 horas completar a submersão dos corpos-de-prova e deixar completar o tempo total de 24 horas.

Transcorridas as 24 horas de submersão, enxuga-se a superfície dos corpos-de-prova e determina-se suas massas saturadas. Finalmente, determinam-se os

valores de suas massas submersas, utilizando-se uma balança para pesagem hidrostática.

Os cálculos são feitos, utilizando-se as seguintes expressões (NBR 12766/1992):

- a) Massa específica aparente seca (ρa_{sec});

$$\rho a_{sec} = (A / (B - C)) \cdot \rho_{H_2O} \quad (3.1)$$

- b) Massa específica aparente saturada (ρa_{sat});

$$\rho a_{sat} = (B / (B - C)) \cdot \rho_{H_2O} \quad (3.2)$$

- c) Porosidade aparente (ηa);

$$\eta a = ((B - A) / (B - C)) \cdot 100 \quad (3.3)$$

- d) Absorção d'água aparente (αa);

$$\alpha a = ((B - A) / A) \cdot 100 \quad (3.4)$$

Em que:

A - Massa seca;

B - Massa saturada com superfície seca;

C - Massa submersa;

ρ_{H_2O} - Massa específica da água na temperatura média (22 °C).

3.1.2 Resistência à Flexão

A resistência à flexão é também conhecida como módulo de ruptura. Essa característica é muito importante, pois as rochas ornamentais são constantemente solicitadas à tração em seus usos, como em painéis de edifícios sob a ação dos ventos, numa quina de bancada, entre outras situações.

Os ensaios de flexão foram realizados de acordo com a norma da ABNT, NBR 12763/1992 (Rochas para revestimento - Determinação da resistência à flexão), tendo sido utilizado três corpos-de-prova para cada condição de ensaio (seca e saturada). Este tipo de ensaio consiste em submeter o corpo de prova com dimensões aproximadas (20 x 10 x 5) cm à um carregamento conforme mostrado na Figura 14.

O ensaio foi realizado nas amostras em condições seca e saturada, para verificar a perda de resistência sofrida pelas amostras por causa da saturação.



Figura 14 – Equipamento utilizado para o ensaio de flexão.

A resistência à tração na flexão (σ_f) é dada pela seguinte equação (NBR 12763/1992):

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (3.5)$$

Em que:

P - Carga de ruptura;

L - Distância entre apoios;

b - Largura;

d - Altura.

3.1.3 Resistência ao Impacto

É, também, uma característica muito importante para o uso de rochas na construção civil, pois simula a queda de um objeto no piso. A norma sugere a anotação apenas da altura de queda, isto já é bastante para se ter uma noção da resistência do material em questão, mas poderia ser melhorado com a apresentação

da energia necessária para causar um dano no piso, o que daria uma conotação mais científica ao resultado.

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro possibilita a obtenção de informações relativas ao grau de tenacidade de um material rochoso, e, conseqüentemente de sua capacidade de suportar ações mecânicas instantâneas (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).



Figura 15 – Equipamento utilizado para o ensaio de impacto de corpo duro.

A norma utilizada para este procedimento foi a NBR 12764/1992 (Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro), que consiste em deixar uma esfera de aço, com massa de 1 kg, cair sobre um corpo-de-prova com dimensões de (20 x 20 x 3) cm, assentado em um colchão de areia. A altura inicial de queda é 20 cm sendo acrescida de 5 cm até que ocorra a ruptura, fissura ou lascamento da placa. O objetivo deste ensaio é simular a queda de objetos em um piso e observar os danos causados. O equipamento utilizado para o ensaio está apresentado na Figura 15.

Utilizando-se da energia potencial gravitacional que é a energia acumulada no corpo por causa da ação da gravidade e é expressa pelo produto de sua massa, aceleração da gravidade e altura em relação ao referencial.

A energia (W , em Joule) necessária para danificar a placa é dada pela seguinte equação:

$$W = \frac{g \cdot h}{100} \quad (3.6)$$

Em que:

g - Aceleração da gravidade;

h - Altura de queda (cm).

3.1.4 Resistência à Compressão Uniaxial

A resistência à compressão uniaxial é uma propriedade índice da rocha, que permite qualificar tecnologicamente o material. Apesar de ser uma propriedade índice, raramente uma rocha ornamental será submetida a tamanho esforço de compressão em condições normais de utilização. O ensaio foi realizado em amostras nas condições seca e saturada. O equipamento utilizado está apresentado na Figura 16.



Figura 16 – Equipamento utilizado para o ensaio de compressão uniaxial, com uma capacidade de carregamento de até 100 toneladas.

A norma utilizada para esse ensaio é a NBR 12767/1992 (Rochas para revestimento - Determinação da resistência à compressão uniaxial). O procedimento consiste em submeter um corpo-de-prova com dimensões cúbicas de (7 x 7 x 7) cm a esforços de compressão.

Um fato importante é o efeito de escala. Segundo SANTOS & BARROSO (2002), as propriedades geomecânicas de rochas são dependentes do volume afetado pelo ensaio. Pelo fato das rochas possuírem micro-descontinuidades (“defeitos”), que reduzem a resistência, quanto maior o volume ensaiado, também será maior a quantidade de micro-descontinuidades influenciarem a resistência.

Segundo a Figura 17, os valores de resistência são decrescentes com o tamanho da aresta e tendem a se tornarem constantes a partir de 150 cm. Do ponto de vista prático, realizar um ensaio de compressão em uma amostra desse tamanho seria inviável, pois um bloco cúbico com 150 cm de aresta teria aproximadamente 9 toneladas e a força necessária para romper um bloco de rocha silicática seria da ordem de milhares de toneladas. Pode-se concluir que os resultados encontrados nos ensaios atualmente empregados possivelmente não apresentam o real valor da resistência.

Para um resultado com um menor erro, sugere-se a utilização de corpos-de-prova prismáticos, com relação altura/largura, pelo menos, igual a 2, para evitar o fenômeno de sobreposição de cones.

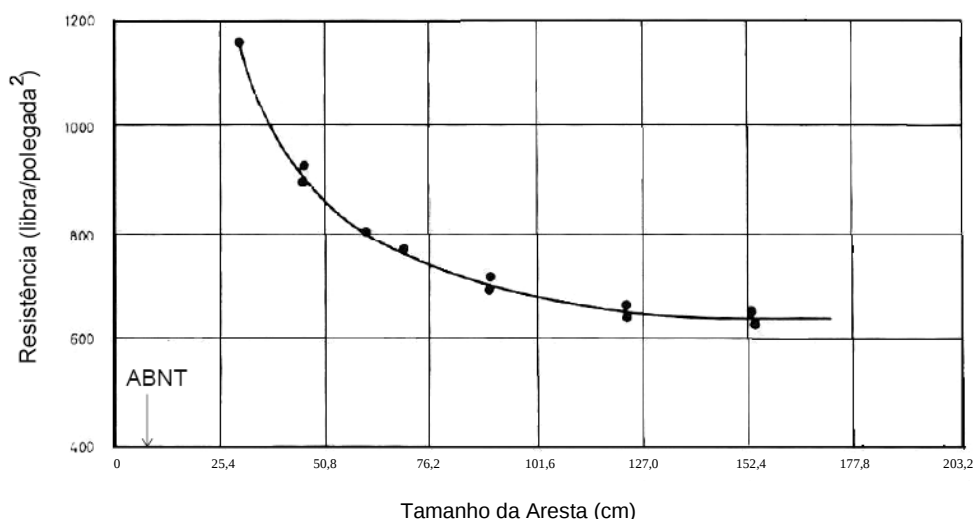


Figura 17 – Relação experimental entre a resistência e o tamanho da aresta de amostras cúbicas de carvão (Bieniawski, 1968, apud SANTOS & BARROSO, 2002).

3.1.5 Perda de Resistência após Congelamento e Degelo

Este método de ensaio é mais significativo para rochas que serão utilizadas em clima frio, nas áreas de clima temperado, pois quantifica-se a perda de resistência que a rocha sofre após um determinado número de ciclos de congelamento-descongelamento.

A norma utilizada para o ensaio foi a NBR 12769/1992 (Rochas para revestimento – Ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação da resistência à compressão). O método consiste em congelar por 24 h os corpos-de-prova (com as mesmas dimensões do ensaio de compressão uniaxial) imersos em uma solução aquosa com 5%, em volume, de álcool etílico. Descongelar até que a temperatura do líquido chegue à temperatura ambiente. A norma sugere a repetição deste ciclo por 25 vezes. Em seguida, submeter os corpos-de-prova ao ensaio de compressão uniaxial.

Com os valores de resistência à compressão uniaxial antes e após o ensaio, pode-se obter o coeficiente de enfraquecimento (k), que é a relação entre o valor da resistência à compressão uniaxial após o congelamento-degelo (σ_{cd}) e o valor no estado natural (σ_{nat}), representado pela equação (NBR 12769/1992):

$$k = \frac{\sigma_{cd}}{\sigma_{nat}} \quad (3.7)$$

3.1.6 Ataque Químico

Este ensaio consistiu em submeter cinco litotipos previamente selecionados, ao ataque químico ocasionado pelas substâncias discriminadas na Tabela 12, nas respectivas concentrações. Para cada litotipo foram utilizados 12 corpos-de-prova.

Tabela 12 – Substâncias químicas e suas respectivas concentrações utilizadas no ataque químico.

Substância	Concentração
Ácido Clorídrico (HCl)	18% (V/V)
Hidróxido de Potássio (KOH)	100 g/l
Detergente	20% (V/V)

Como as normas brasileiras não contemplam o ataque químico, especificamente para rochas ornamentais, para este processo foram utilizados procedimentos de duas normas da ABNT, para materiais cerâmicos e uma para rochas. Para as concentrações dos materiais utilizados para o ataque químico, foi utilizada a NBR 13818/1997 (Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Anexo H – Determinação da resistência ao ataque químico). Para o método de ensaio foi utilizado o padrão da norma NBR 12696/1992 (Agregados – Verificação do comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa), que consiste em submeter as amostras em ciclos de saturação na substância, secagem em estufa e resfriamento à temperatura ambiente.

A NBR 12696/1992 sugere um valor máximo de 120 ciclos para o ensaio, porém, como o tempo para a realização dos ensaios e a entrega dos resultados foi muito curto, no trabalho foram realizados 50 ciclos.

O objetivo deste ensaio foi verificar a variação dos índices físicos e da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais no decorrer do ensaio (a cada 10 ciclos²). Ao final de 50 ciclos, por motivos de prazo para finalizar os estudos, as amostras foram submetidas a ensaio de compressão puntiforme para quantificar a perda de resistência ocasionada pelo ataque químico.

3.1.7 Resistência à Compressão Puntiforme

O ensaio de Resistência à Compressão Puntiforme foi realizado de acordo com método proposto pela ISRM, International Society of Rock Mechanics (1981) e desenvolvido por Broch e Franklin. Nesse ensaio, a rocha é carregada pontualmente através de dois cones metálicos. A ruptura é provocada pelo desenvolvimento de fraturas de tração paralelas ao eixo de carregamento.

Este ensaio foi realizado em corpos-de-prova aproximadamente cúbicos, com medidas em torno de $(4,5 \pm 1)$ cm e foi executado, basicamente, para verificar a perda de resistência das amostras submetidas ao ataque químico e adicionalmente, para verificar a relação entre a resistência à compressão uniaxial e a resistência à compressão puntiforme.

² De acordo com a NBR 12696/1992, um ciclo corresponde à (14 ± 1) horas de submersão no líquido, secagem em estufa por (8 ± 1) horas a (100 ± 5) °C e resfriamento natural por (60 ± 5) minutos.

O índice de resistência à compressão puntiforme é padronizado para um diâmetro de 50 mm (IS_{50}). Para a obtenção deste valor é necessário calcular o valor do índice de resistência à compressão puntiforme (IS) e multiplicar por um fator de correção (FC), que é função da relação entre o diâmetro da amostra e o diâmetro padronizado (50 mm).

Para cada tipo de rocha estudado foram utilizados 12 corpos-de-prova em cada etapa do ensaio. Como é sugerido no método de ensaio, a média é calculada excluindo-se os dois valores maiores e os dois valores menores. O equipamento utilizado no ensaio está apresentado na Figura 18.



Figura 18 – Equipamento utilizado para o ensaio de resistência à compressão puntiforme.

Para a padronização e o cálculo do índice de resistência, são utilizadas as seguintes expressões (ISRM, 1981):

$$FC = \left(\frac{de}{50} \right)^{0,45} \quad (3.8)$$

$$IS = \left(\frac{P}{de^2} \right) \times 10^3 \quad (3.9)$$

$$IS_{50} = FC \times IS \quad (3.10)$$

Em que:

FC - Fator de correção;

de - Diâmetro equivalente (equivalência em caso da utilização de amostras que não tenham seção circular);

P - Carga de Ruptura;

IS, IS_{50} - Índice de Resistência.

3.1.8 Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s) permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de agregação dos minerais na rocha, pois os valores relativamente mais altos, num conjunto de corpos-de-prova de uma mesma amostra ou entre amostras petrograficamente semelhantes, indicam um menor grau de alteração e uma maior coesão entre seus minerais formadores (FRASCÁ, 2002).

O método de ensaio utilizado foi o proposto pela ISRM (1978) Determining Sound Velocity, desenvolvido por Rummel & Heerden em 1977, que consiste em submeter o corpo-de-prova a pulsos de ondas ultra-sônicas, para conhecer o tempo que a onda leva para atravessar a amostra. O equipamento utilizado está apresentado na Figura 19.

Através da velocidade de propagação de ondas longitudinais (v) pode-se, por meio de correlações, calcular o módulo de elasticidade (E) do material. As equações utilizadas para os cálculos são (ISRM, 1978):

$$v = \frac{L}{t} \quad (3.11)$$

$$E = v^2 \cdot \rho \quad (3.12)$$

Em que:

v - Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais;

L - Distância entre transmissor e receptor;

t - Tempo gasto para a onda percorrer a distância (L);

ρ - Massa específica.

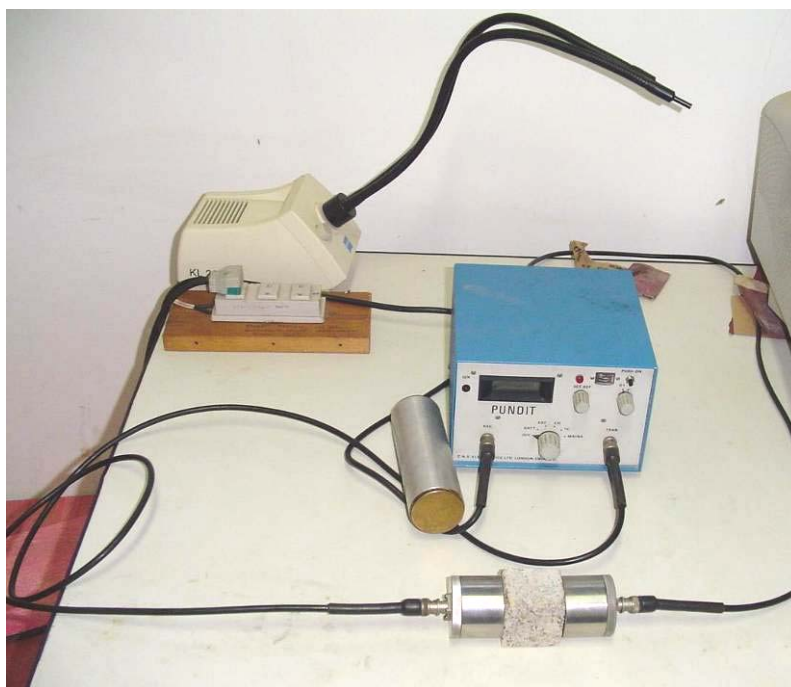


Figura 19 – Equipamento utilizado para a propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais, gentilmente cedido pelo Departamento de Geologia da UFRJ.

Este ensaio teve duas etapas distintas. A primeira foi a determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais nos corpos-de-prova a serem utilizados para os ensaios de flexão (dimensões de 20 x 10 x 5 cm), com 5 amostras para cada tipo de rocha. Em outra etapa, este ensaio foi realizado nas amostras que estavam sendo utilizadas no ataque químico (com dimensões aproximadamente cúbicas com 4,5 cm de aresta e 12 corpos-de-prova). A cada 10 ciclos de ataque químico, verificava-se a velocidade de propagação de ondas do material.

3.1.9 Análise Petrográfica

A análise petrográfica é realizada através de exames macroscópico e microscópico, que permitem identificar a natureza ou tipo de rocha, os minerais presentes e suas interrelações, o grau de alteração, o estado microfissural dos cristais, sua granulação e textura, além de outras características que possam influenciar na durabilidade da rocha. Através dessa análise é possível se fazer uma reconstituição histórica da rocha, em que se incluem informações que vão desde as condições físico-químicas atuantes na época de sua formação até a identificação de eventos geológicos (tectônicos, hidrotermais, metassomáticos, intempéricos) a que foi submetida ao longo de sua existência (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999). Certas estruturas, como, por exemplo, a microfissuração, podem exercer papel relevante no comportamento mecânico dos materiais rochosos, com influência significativa em suas propriedades.

As análises petrográficas foram executadas no Departamento de Geologia da UFRJ, sob a supervisão do Professor Emílio Velloso Barroso e contemplaram os litotipos utilizados no ataque químico, com os nomes comerciais: Amarelo Verniz, Giallo Firenze, Ocre Itabira, Verde Ubatuba e Vermelho Brasília.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados todos os resultados encontrados a partir dos ensaios realizados na caracterização das rochas ornamentais abordadas neste estudo.

4.1 Índices Físicos

Os resultados dos índices físicos, massas específicas aparentes (seca e saturada), absorção d'água aparente e porosidade aparente, estão apresentados na Tabela 13, a seguir:

Tabela 13 – Médias dos índices físicos para as dezoito variedades estudadas.

#	Nome comercial	Massa Específica (Kg/m ³)		Porosidade (%)	Absorção (%)
		Seca	Saturada		
1	Amarelo Verniz	2604	2618	1,3	0,5
2	Branco Torrone	2637	2647	1,0	0,4
3	Branco Romano	2614	2622	0,8	0,3
4	Carioca Gold	2615	2632	1,7	0,6
5	Giallo Fiorito	2623	2637	1,4	0,5
6	Giallo Ornamental	2619	2631	1,1	0,4
7	Giallo Firenze	2648	2659	1,1	0,4
8	Juparanã Rio	2615	2626	1,1	0,4
10	Labareda Gold	2610	2622	1,2	0,5
11	Midnight Green	2761	2769	0,8	0,3
12	Ocre Itabira	2727	2738	1,1	0,4
13	Piracema White	2649	2654	0,5	0,2
14	Santa Cecília	2635	2647	1,2	0,4
15	Venetian Gold	2625	2639	1,3	0,5
16	Verde Butterfly	2681	2690	1,0	0,4
17	Verde Ubatuba	2727	2737	1,0	0,4
18	Vermelho Brasília	2620	2628	0,8	0,3
19	Giallo Antico	2619	2630	1,1	0,4

Para rochas silicáticas, as normas brasileiras não propõem limites de valores dos índices físicos, mas FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996) e a ASTM sugerem os valores limites apresentados na Tabela 5.

De acordo com os limites propostos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996) e/ou fixados pela ASTM C 615, em relação aos valores de massa específica aparente, todos os litotipos têm valores satisfatórios, mas em se tratando da porosidade aparente e da absorção d'água aparente, apenas sete litotipos satisfazem esses critérios (aproximadamente 39%), que são os seguintes: Branco Torrone, Branco Romano, Midnight Green, Piracema White, Verde Butterfly, Verde Ubatuba e Vermelho Brasília.

Ns Figuras 20 a 23 apresentam-se as distribuições das amostras, em relação aos índices físicos.

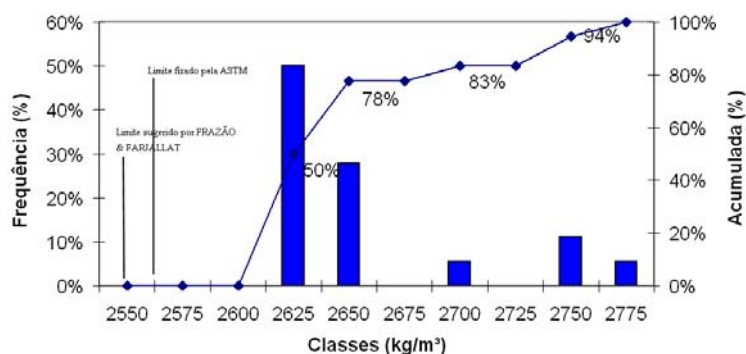


Figura 20 - Distribuição dos valores referentes à massa específica aparente seca.

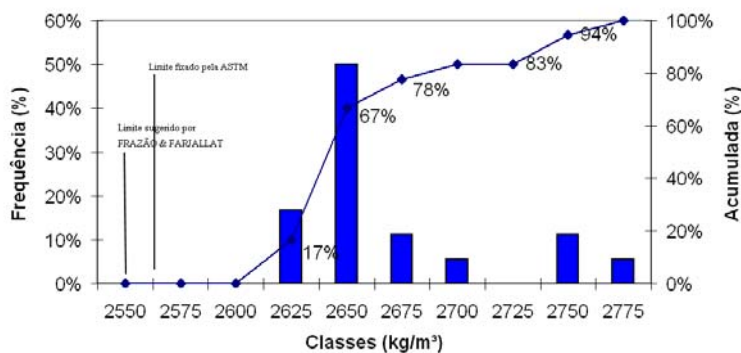


Figura 21 - Distribuição dos valores referentes à massa específica aparente saturada.

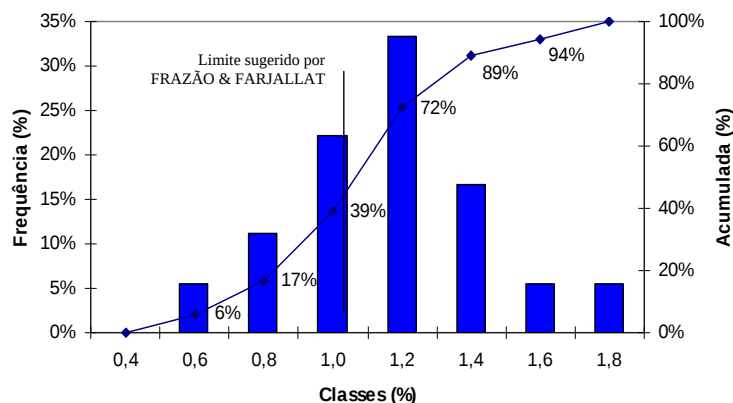


Figura 22 - Distribuição dos valores referentes à porosidade aparente.

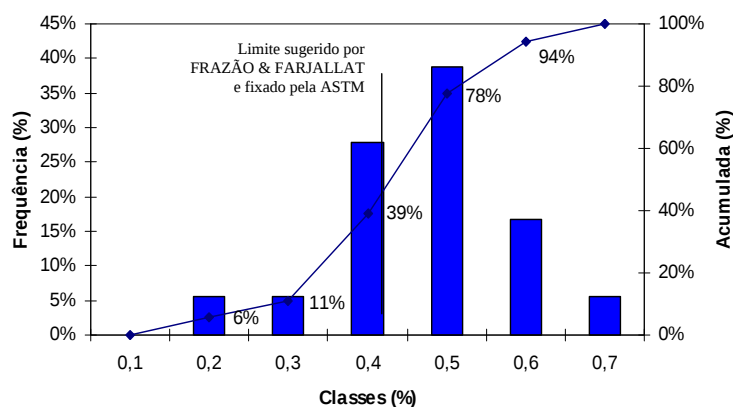


Figura 23 - Distribuição dos valores referentes à absorção d'água aparente.

4.2 Resistência à Flexão

Os ensaios de resistência à flexão apresentaram valores com uma variação muito grande, como pode ser observado na Tabela 14. Uma justificativa aceitável para essa variação é a heterogeneidade dos materiais pétreos, que podem apresentar pequenos “defeitos” imperceptíveis ao olho humano, mas que podem causar grandes variações em suas propriedades físicas.

FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996) sugerem um valor para a resistência à flexão por 3 pontos maior que 10 MPa , enquanto a ASTM (C 615) fixa um limite inferior de $10,34 \text{ MPa}$ para esta característica. Desta forma, para a condição seca, 9 litotipos (50%) apresentam valores satisfatórios, enquanto na condição saturada

apenas 7 (menos de 40%) apresentam desempenho satisfatório. Ao se considerar as duas condições, apenas 6 amostras se qualificam como satisfatórias (1/3 do total).

Tabela 14 – Média dos valores de resistência à flexão, na condição seca e saturada, para os litotipos estudados e a variação de resistência apresentada nos ensaios.

#	Nome Comercial	Resistência à Flexão (MPa)		Variação da Resistência* (%)
		Condição Seca	Condição Saturada	
1	Amarelo Verniz	10,5	7,9	-25
2	Branco Torrone	5,2	2,0	-62
3	Branco Romano	5,6	8,6	54
4	Carioca Gold	7,0	6,8	-3
5	Giallo Fiorito	9,7	8,1	-16
6	Giallo Ornamental	7,7	8,0	4
7	Giallo Firenze	8,8	6,1	-31
8	Juparanã Rio	13,0	14,1	8
10	Labareda Gold	12,6	12,6	0
11	Midnight Green	17,7	11,8	-33
12	Ocre Itabira	11,1	9,8	-12
13	Piracema White	22,5	10,6	-53
14	Santa Cecília	4,1	9,6	134
15	Venetian Gold	11,1	8,2	-26
16	Verde Butterfly	7,9	8,2	4
17	Verde Ubatuba	11,4	12,2	7
18	Vermelho Brasília	9,5	11,9	25
19	Giallo Antico	17,2	15,8	-8

Nota: Foram utilizados 3 corpos-de-prova em cada condição de ensaio.

* A variação da resistência que apresenta valores negativos, significa que houve perda de resistência na condição saturada em relação à condição seca. Os valores positivos significam que houve aumento de resistência na condição saturada em relação à condição seca.

4.3 Resistência ao Impacto

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro apresentou os resultados ilustrados na Tabela 15.

A ASTM C 615 não propõe limites para o ensaio de impacto de corpo duro. De acordo com FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996), para que o material pétreo não tenha restrições quanto ao uso na construção civil, é aconselhável utilizar rochas com valores de altura de queda superiores a 40 cm. Pode-se concluir então, que em relação aos valores da resistência ao impacto, todas as amostras estudadas apresentam comportamento satisfatório.

Tabela 15 – Valores de resistência ao impacto de corpo duro para os litotipos estudados, juntamente com a energia necessária para danificar as placas.

#	Nome Comercial	Altura de queda (m)			Energia (J)
		Média	Máxima	Mínima	
1	Amarelo Verniz	0,60	0,65	0,50	5,9
2	Branco Torrone	0,57	0,65	0,45	5,6
3	Branco Romano	0,59	0,70	0,50	5,8
4	Carioca Gold	0,46	0,50	0,40	4,5
5	Giallo Fiorito	0,48	0,65	0,40	4,7
6	Giallo Ornamental	0,50	0,55	0,40	4,9
7	Giallo Firenze	0,64	0,70	0,55	6,3
8	Juparanã Rio	0,54	0,70	0,45	5,3
10	Labareda Gold	0,60	0,65	0,55	5,9
11	Midnight Green	0,49	0,55	0,45	4,8
12	Ocre Itabira	0,52	0,55	0,45	5,1
13	Piracema White	0,48	0,50	0,45	4,7
14	Santa Cecília	0,50	0,55	0,45	4,9
15	Venetian Gold	0,52	0,55	0,45	5,1
16	Verde Butterfly	0,47	0,50	0,45	4,6
17	Verde Ubatuba	0,48	0,55	0,40	4,7
18	Vermelho Brasília	0,49	0,55	0,45	4,8
19	Giallo Antico	0,58	0,60	0,55	5,6

Nota: Foram utilizados 5 corpos-de-prova para cada tipo de rocha.

4.4 Resistência à Compressão Uniaxial

Na Tabela 16 são apresentados os valores correspondentes a resistência à compressão uniaxial. FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996) propõem o valor mínimo para essa propriedade de 100 MPa para ensaios no estado seco e que a relação dos valores de compressão uniaxial saturado/seco não seja inferior a 75%, enquanto para a ASTM C-615 esse limite é de 131 MPa. Verifica-se, então, que os resultados obtidos para esse ensaio se ajustam melhor ao limite de 100 MPa, com 100% das amostras apresentando valores maiores que este limite no estado seco e 50% no estado saturado. Quando comparado com o limite determinado pela ASTM,

a frequência é reduzida para 50% no estado seco e aproximadamente 11% no estado saturado.

É importante ressaltar que essa característica representa um valioso índice de qualidade dos materiais rochosos, estando diretamente relacionada a outras propriedades físicas, ao mesmo tempo em que depende da estrutura, textura, estado microfissural e grau de alteração das rochas (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999).

Tabela 16 - Resultados da resistência à compressão uniaxial (q_u), nos estados seco e saturado e sua respectiva variação de resistência.

#	Nome Comercial	q_u (MPa)		Variação de Resistência (%)
		Seco	Saturado	
1	Amarelo Verniz	125,0	81,3	-35,0
2	Branco Torrone	146,7	100,0	-31,8
3	Branco Romano	139,8	100,6	-28,0
4	Carioca Gold	158,0	90,1	-43,0
5	Giallo Fiorito	109,5	72,6	-33,7
6	Giallo Ornamental	156,9	88,9	-43,3
7	Giallo Firenze	124,8	68,5	-45,1
8	Juparanã Rio	101,4	111,5	10,0
10	Labareda Gold	146,5	103,0	-29,7
11	Midnight Green	111,2	107,6	-3,2
12	Ocre Itabira	114,7	82,6	-28,0
13	Piracema White	155,2	135,1	-13,0
14	Santa Cecília	129,8	102,5	-21,0
15	Venetian Gold	127,5	80,7	-36,7
16	Verde Butterfly	126,5	103,3	-18,3
17	Verde Ubatuba	149,0	97,1	-34,8
18	Vermelho Brasília	162,0	107,4	-33,7
19	Giallo Antico	161,1	131,3	-18,5

Nota: Foram utilizados 3 corpos-de-prova para cada condição de ensaio.

4.5 Congelamento e Degelo

Após o ensaio de gelo e degelo, para os valores de compressão uniaxial pode-se verificar que, de acordo com a ASTM, apenas 28% das amostras no estado seco e 6% no estado saturado estão acima do valor limite proposto. Adotando-se os limites sugeridos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996), o resultado é mais satisfatório, com 83% no estado seco e 17% no estado saturado das amostras satisfazendo a condição proposta pelos autores.

Na Tabela 17 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios.

Tabela 17 - Resultados da compressão uniaxial antes e após o ensaio de congelamento de degelo e seus respectivos valores de coeficiente de enfraquecimento (K).

#	Nome Comercial	qu (MPa)		qu_{cd} (MPa)		K	
		Seco	Saturado	Seco	Saturado	Seco	Saturado
1	Amarelo Verniz	125,0	81,3	142,8	60,4	1,1	0,7
2	Branco Torrone	146,7	100,0	106,5	53,1	0,7	0,5
3	Branco Romano	139,8	100,6	119,1	84,6	0,9	0,8
4	Carioca Gold	158,0	90,1	130,8	86,7	0,8	1,0
5	Giallo Fiorito	109,5	72,6	110,1	71,4	1,0	1,0
6	Giallo Ornamental	156,9	88,9	117,0	79,3	0,7	0,9
7	Giallo Firenze	124,8	68,5	97,2	68,9	0,8	1,0
8	Juparanã Rio	101,4	111,5	115,2	84,5	1,1	0,8
10	Labareda Gold	146,5	103,0	127,0	92,9	0,9	0,9
11	Midnight Green	111,2	107,6	183,1	91,4	1,6	0,8
12	Ocre Itabira	114,7	82,6	121,5	72,9	1,1	0,9
13	Piracema White	155,2	135,1	156,1	146,5	1,0	1,1
14	Santa Cecília	129,8	102,5	111,4	74,3	0,9	0,7
15	Venetian Gold	127,5	80,7	97,7	84,3	0,8	1,0
16	Verde Butterfly	126,5	103,3	96,5	72,4	0,8	0,7
17	Verde Ubatuba	149,0	97,1	113,6	99,3	0,8	1,0
18	Vermelho Brasília	162,0	107,4	176,4	107,5	1,1	1,0
19	Giallo Antico	161,1	131,3	152,0	106,7	0,9	0,8

Nota: qu – resistência à compressão uniaxial da rocha no estado natural; qu_{cd} – resistência à compressão uniaxial após ensaio de congelamento e degelo.

Observa-se que os resultados apresentados na Tabela 17 ajustam-se melhor aos limites propostos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996). Era um resultado esperado, pois o seu estudo foi realizado com rochas silicáticas brasileiras, de clima tropical, ao contrário dos valores fixados pela ASTM, que tem como base as rochas de clima subtropical.

4.6 Ataque Químico

O ataque químico consistiu em submeter as amostras selecionadas ao ataque de produtos químicos agressivos, como ácido clorídrico e hidróxido de potássio, indicado pelo anexo H da norma NBR 13818/1997 e também um produto utilizado na limpeza diária, o detergente, pelo fato do produto causar manchamento em pias e bancadas.

As amostras foram escolhidas de acordo com a análise visual. Nessa análise tentou-se escolher amostras variadas, com diferentes tamanhos de grãos e quantidade aparente de minerais máficos.

A seguir, serão apresentados os resultados dos ensaios realizados com o andamento do ataque químico.

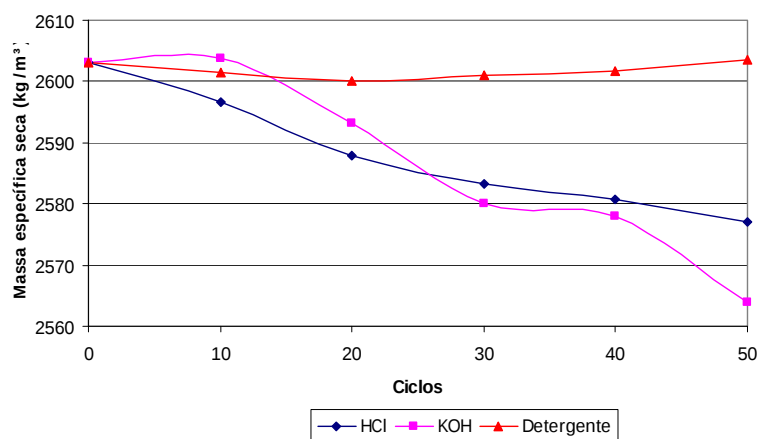
4.6.1 *Variação dos Índices Físicos*

4.6.1.1 Massa Específica Seca

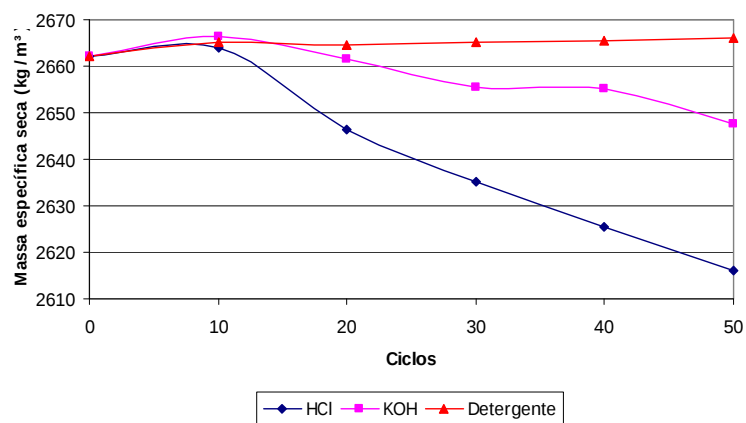
Pode-se observar que a massa específica aparente seca, tanto para o ácido clorídrico quanto para o hidróxido de potássio, tiveram uma diminuição considerável nos seus valores, enquanto que o detergente não causou modificações consideráveis.

Em termos percentuais, a massa específica aparente sofreu perdas de, no máximo, 2%. Isto ocorre porque o ataque químico provavelmente só altera a superfície das amostras.

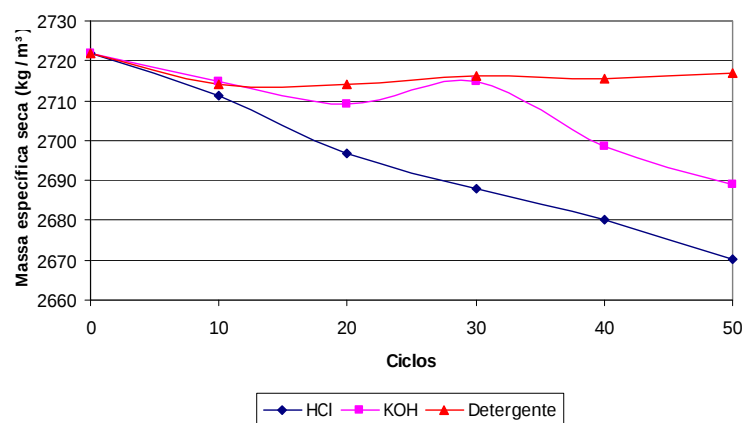
Na Figura 24, estão apresentadas as variações da massa específica aparente seca para os cinco tipos de rochas estudados.



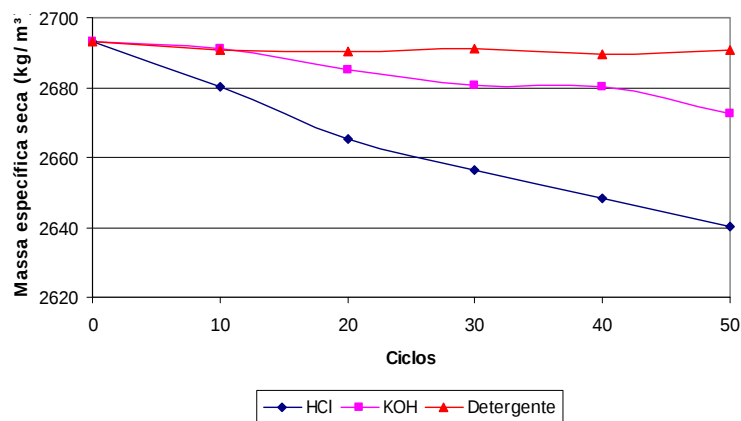
(a)



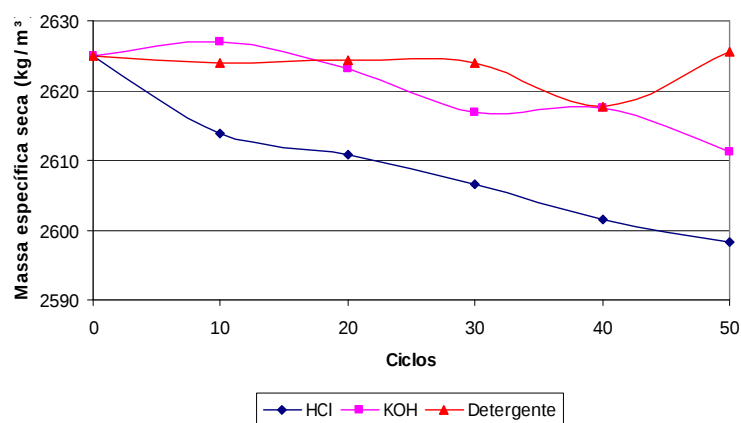
(b)



(c)



(d)

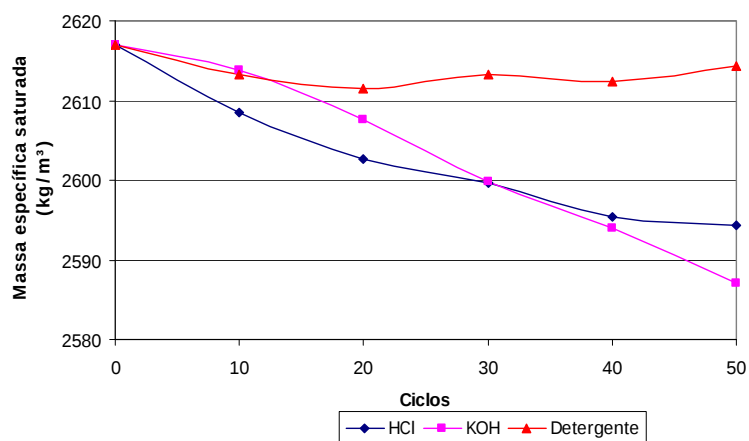


(e)

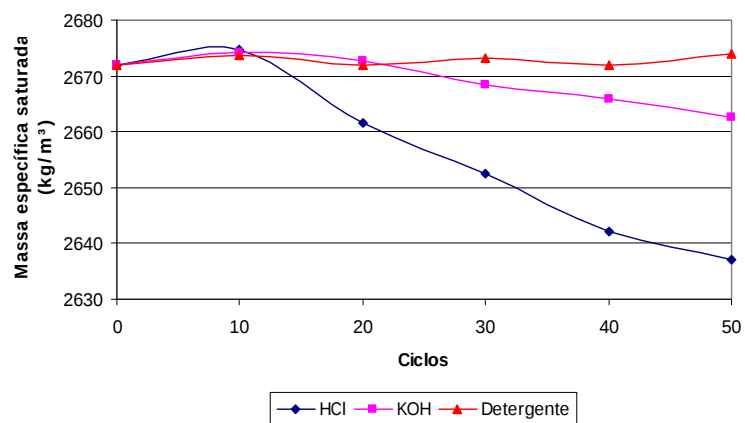
Figura 244 - Variação da massa específica seca mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.

4.6.1.2 Massa Específica Saturada

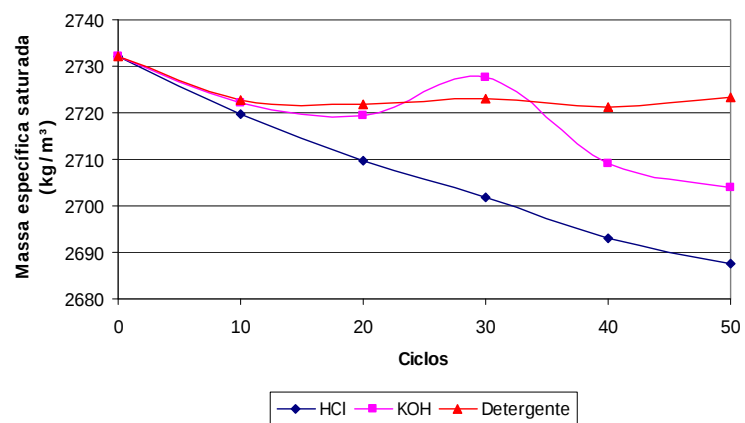
A massa específica aparente saturada apresentou a mesma tendência de comportamento da massa específica aparente seca, como pode ser visto na Figura 25.



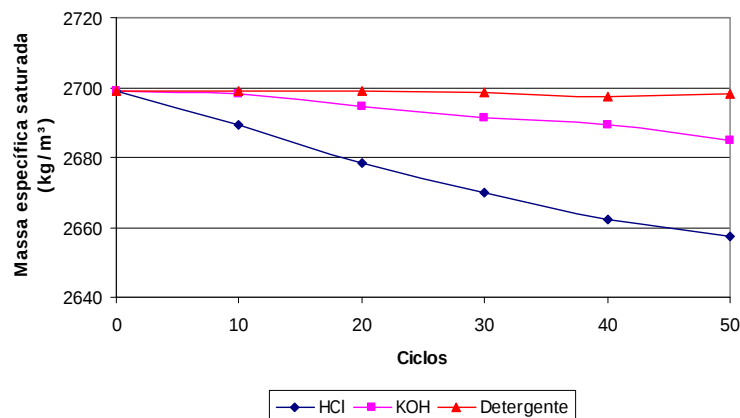
(a)



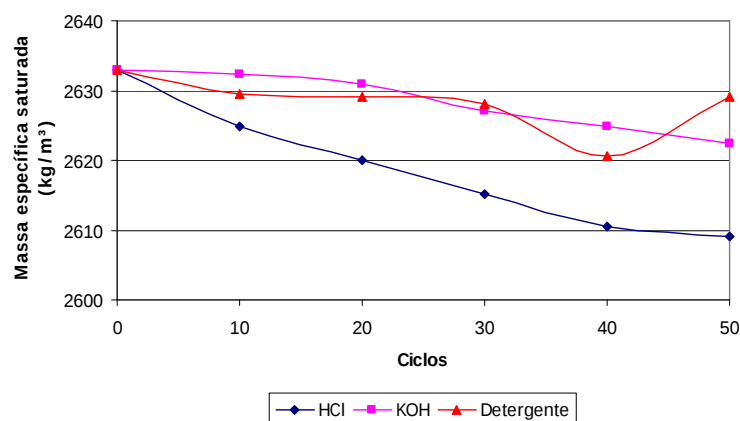
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 25 - Variação da massa específica saturada mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.

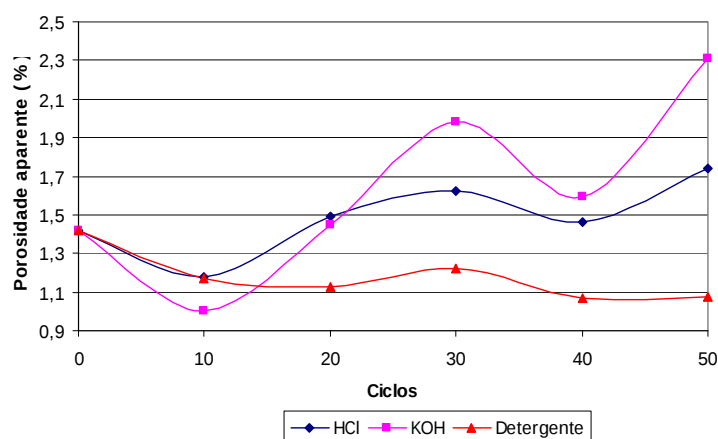
4.6.1.3 Porosidade Aparente

A variação da porosidade aparente apresentou resultados diferentes para os tipos de ataque. Assim como aconteceu com a massa específica, para os ataques com HCl e KOH, os valores de porosidade seguiram uma tendência de crescimento, o que é mais lógico, pois estas substâncias atacam os minerais presentes na superfície das amostras. Já com o detergente, a porosidade aparente das amostras teve um decréscimo muito pequeno no seu valor (com exceção do tipo Verde Ubatuba, que sofreu um pequeno aumento nos valores de porosidade, por motivos que requerem estudos mais aprofundados).

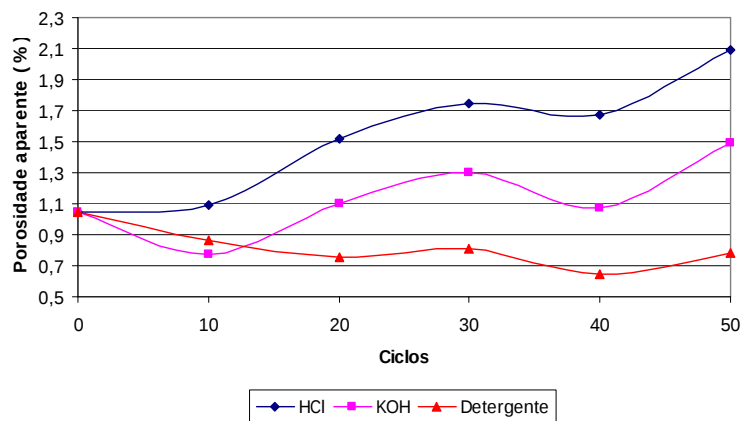
De acordo com os limites sugeridos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996), as amostras que inicialmente apresentavam valores de porosidade aparente satisfatórios, após o ensaio com HCl e KOH, seus valores ultrapassam o valor sugerido por esses autores. Como o detergente causou, na maioria das amostras, uma diminuição da porosidade aparente, o caso mais interessante foi o do Giallo Firenze, que inicialmente não satisfazia a condição e após o ataque, teve seu valor reduzido à ponto de estar abaixo do limite sugerido.

Após o ataque com detergente todas as amostras apresetaram um decréscimo nos valores de porosidade aparente, para isso tem-se duas explicações plausíveis: as substâncias presentes no detergente agiram como “tampões” nos poros da rocha (o que explica o manchamento em pias e bancadas); ou os minerais presentes na rocha estão sendo intemperizados, resultando em substâncias de maior volume, o que acarreta num fechamento dos poros.

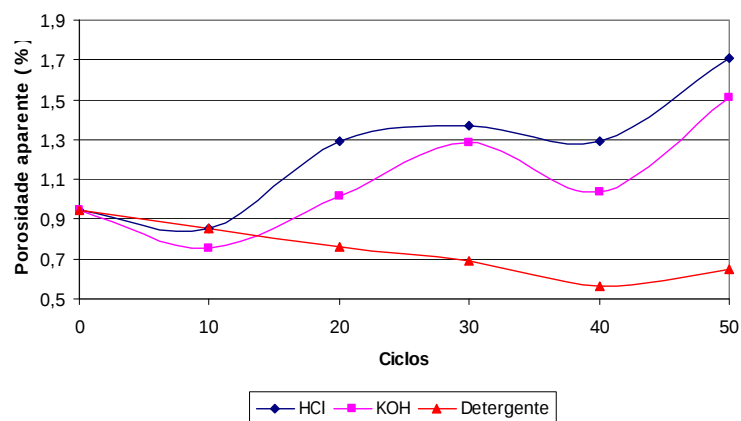
Na Figura 26 mostram-se os resultados para a variação da porosidade aparente sofrida devido o ataque químico.



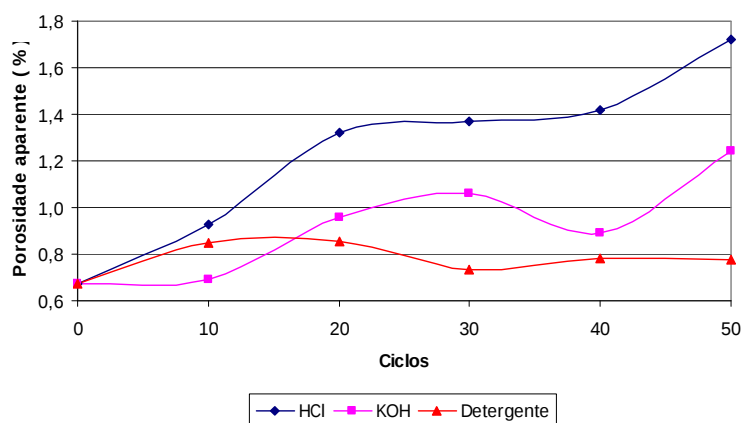
(a)



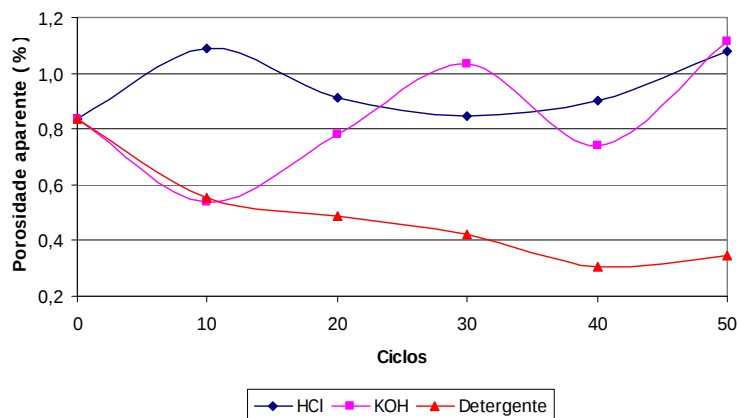
(b)



(c)



(d)

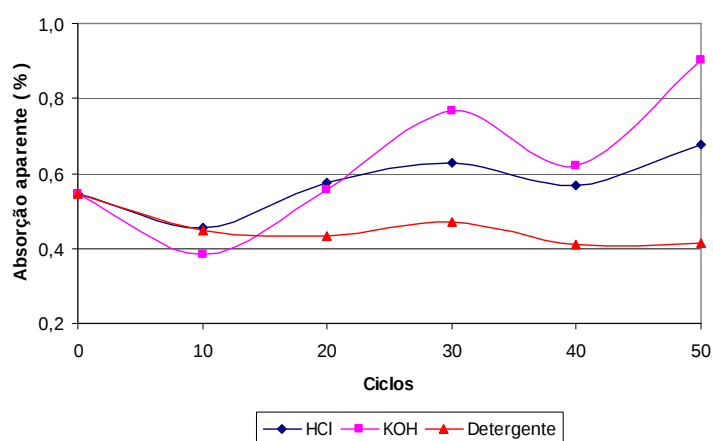


(e)

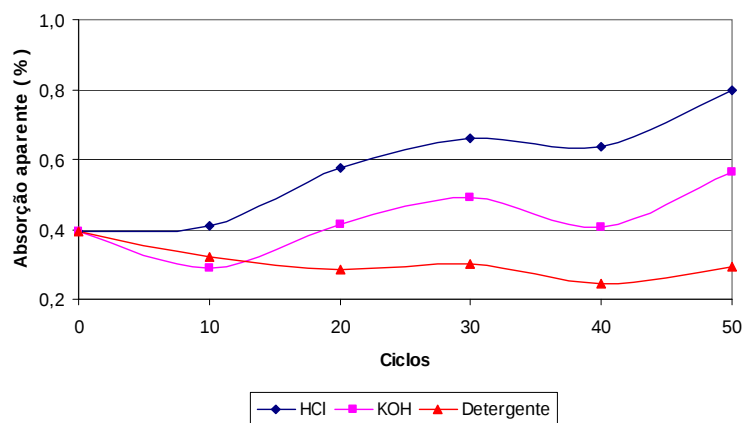
Figura 26 - Variação da porosidade aparente mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.

4.6.1.4 Absorção Aparente

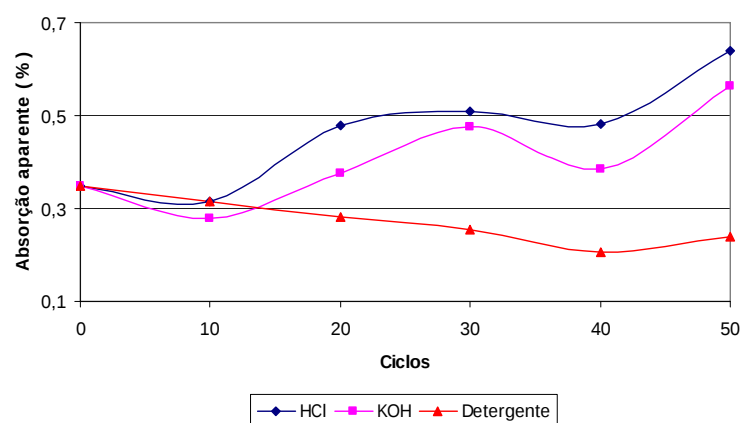
A absorção aparente seguiu a mesma tendência da porosidade aparente, pois a absorção aparente depende da quantidade de poros acessíveis na superfície da rocha. Os resultados estão apresentados na Figura 27.



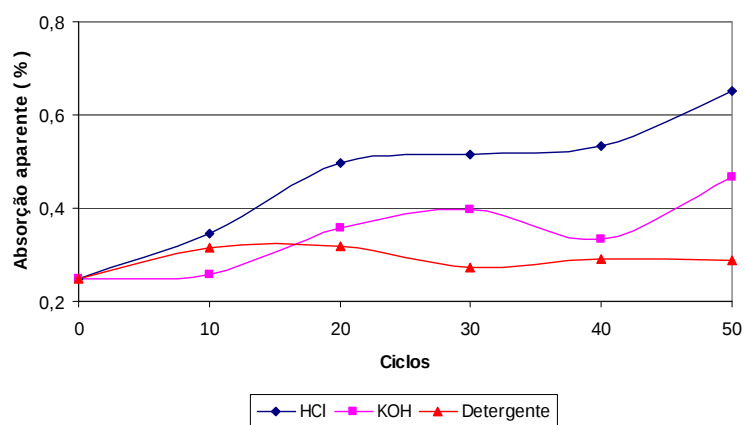
(a)



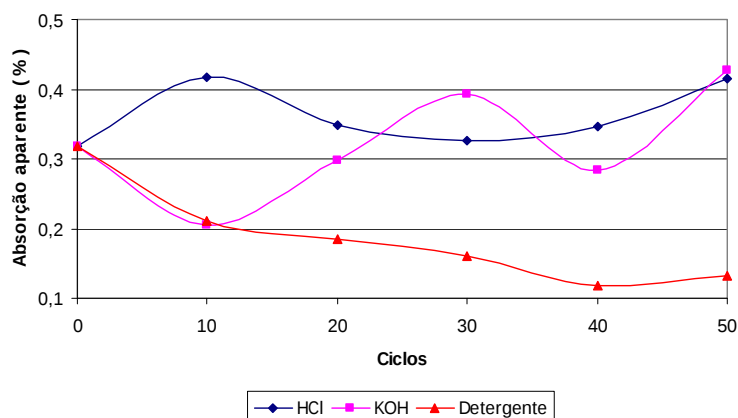
(b)



(c)



(d)

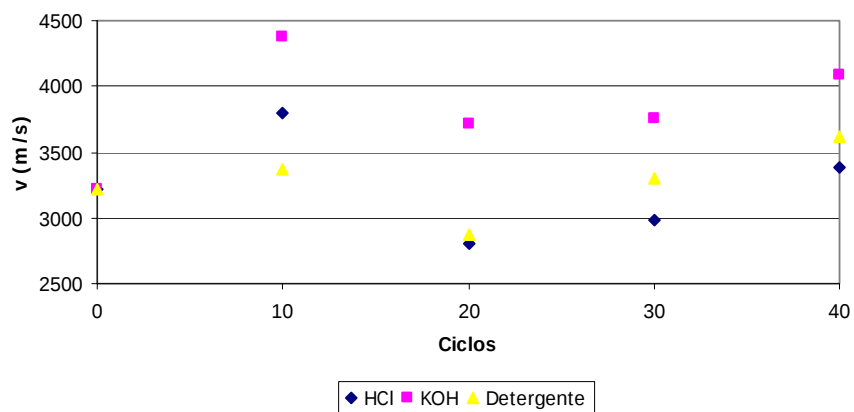


(e)

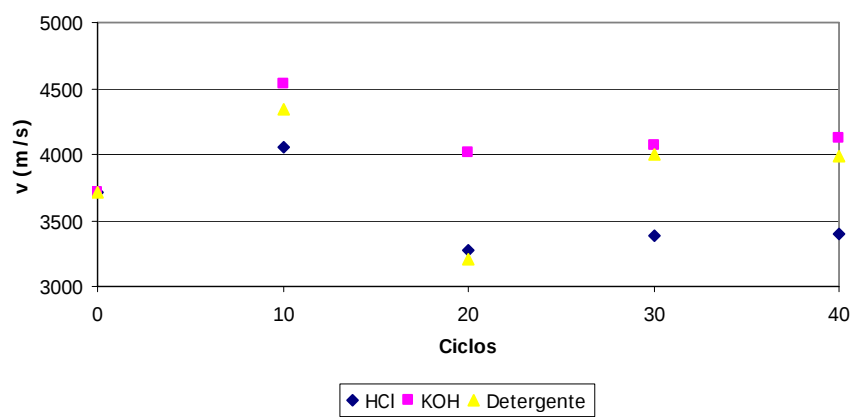
Figura 27 - Variação da absorção aparente mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.

4.6.2 Variação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

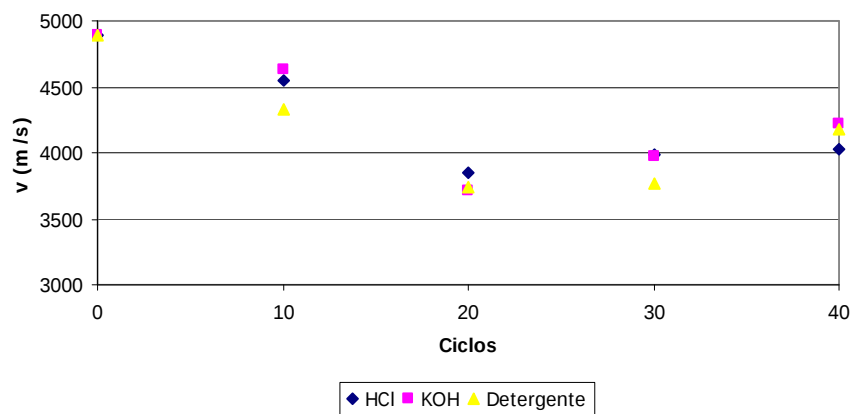
De maneira geral, pode-se observar na Figura 28 que todos os litotipos apresentaram um comportamento semelhante, sofrendo uma queda aos 20 ciclos, seguida de um pequeno aumento. Com esse comportamento, pode-se supor que, inicialmente, houve um ataque nos minerais das rochas, causando um possível lixiviamento de material e conseqüente diminuição na velocidade de propagação de ondas. Em seguida, ocorreu um ataque nos minerais que ficaram desprotegidos, originando minerais secundários, com maior volume, com isso, um pequeno aumento nos valores de velocidade de propagação de ondas. Contudo, essa teoria deve ser estudada para haver uma confirmação.



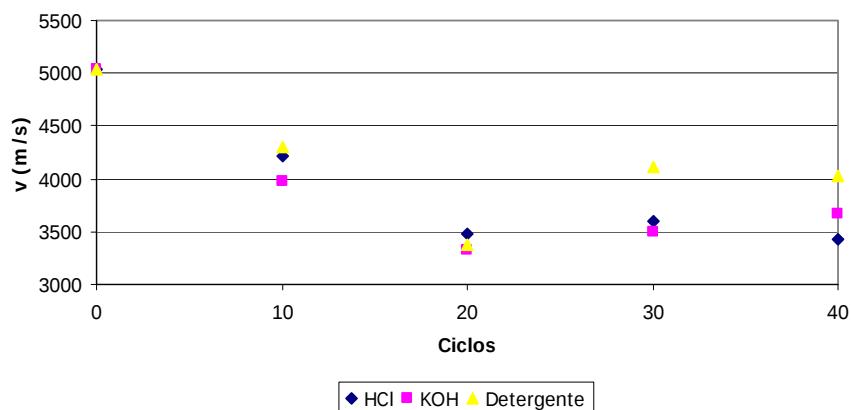
(a)



(b)



(c)



(d)

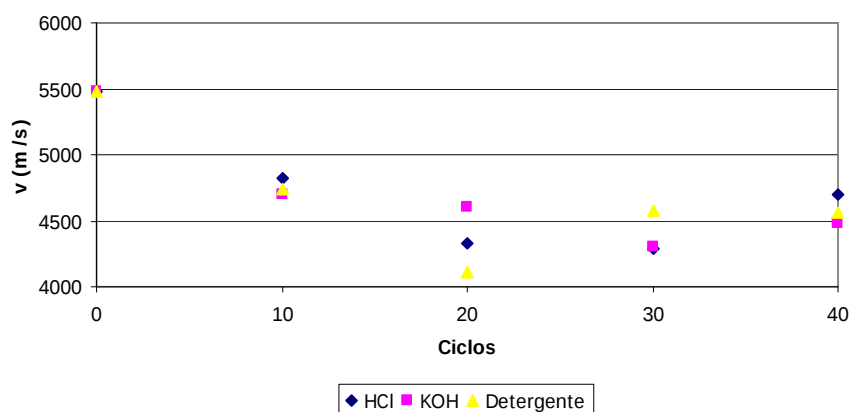


Figura 28 - Variação da velocidade de propagação de ondas mediante ataque químico. (a) Amarelo Verniz; (b) Giallo Firenze; (c) Ocre Itabira (d) Verde Ubatuba; (e) Vermelho Brasília.

Após os 40 ciclos de ataque químico apenas as amostras Ocre Itabira e Vermelho Brasília, apresentaram valores de velocidade de propagação de ondas superiores a 4000 m/s, sugerido por FRAZÃO & FARJALLAT (1995,1996). Um fato interessante é que o Ocre Itabira, para 20 e 30 ciclos apresentou valores inferiores ao limite sugerido pelos autores.

Outro fato interessante é que os litotipos Amarelo Verniz e Giallo Firenze apresentaram valores iniciais menores que o proposto pelos autores e, expostos ao KOH, tiveram os valores de velocidade de propagação de ondas elevados à uma condição que satisfaz a sugestão dos autores. Para explicar esse comportamento, sugere-se estudos mais aprofundados.

4.6.3 Variação da Resistência à Compressão Puntiforme

A resistência à compressão puntiforme apresentou, na maioria dos casos, um decréscimo no seu valor, confirmando a ação prejudicial dos produtos químicos nas características mecânicas das rochas, com uma perda média de 33% para ataque com HCl e 32% para ataque com KOH e detergente. Outro aspecto importante foi a transformação sofrida pelas amostras, em relação à estética, que pode ser verificada nas Figuras 29 a 33. A maior perda foi observada para o Verde Ubatuba/KOH com diminuição de 65% no valor da resistência (Figuras 34 a 36).

O litotipo Amarelo Verniz apresentou um comportamento diferente das outras amostras, no caso do ataque químico com HCl e KOH, houve um aumento na sua resistência à compressão puntiforme de 50% do seu valor inicial.

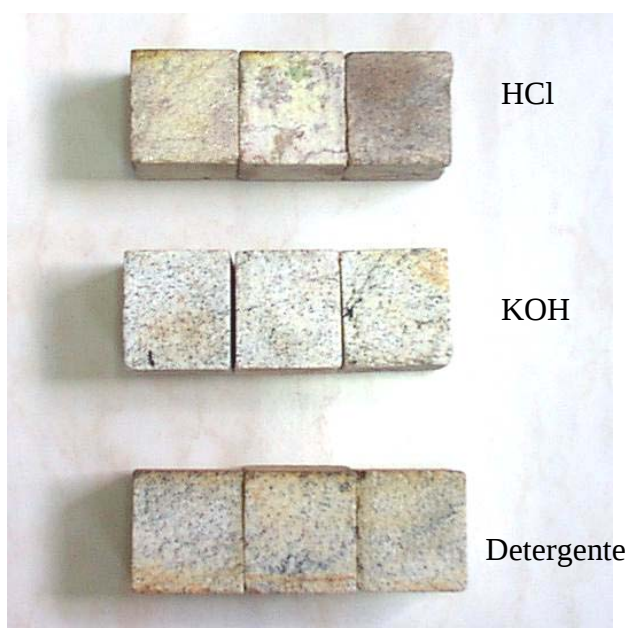


Figura 29 – Litotipo Amarelo Verniz após 40 ciclos.

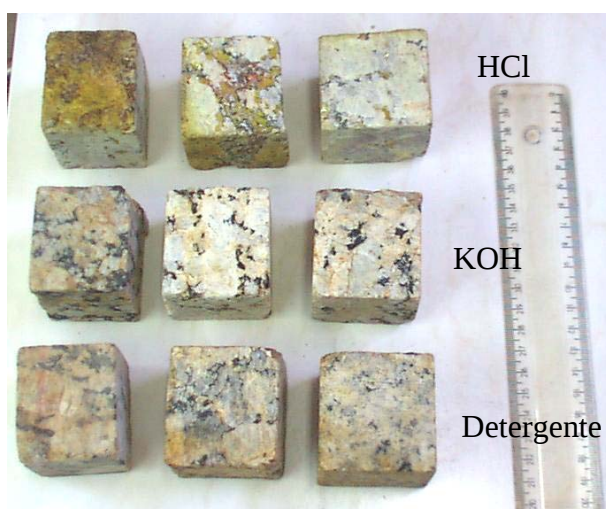


Figura 30 – Litotipo Giallo Firenze após 40 ciclos.

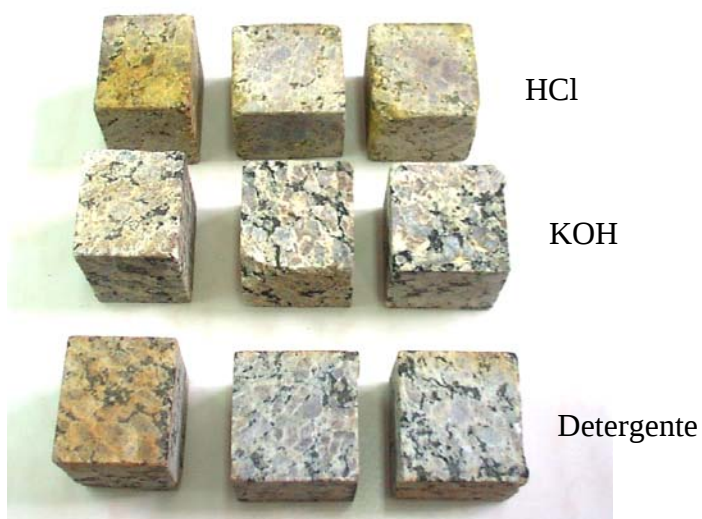


Figura 31 – Litotipo Ocre Itabira após 40 ciclos.

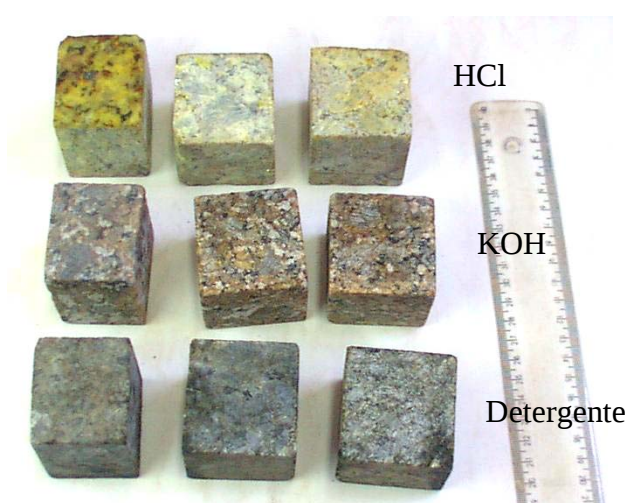


Figura 32 – Litotipo Verde Ubatuba após 40 ciclos.

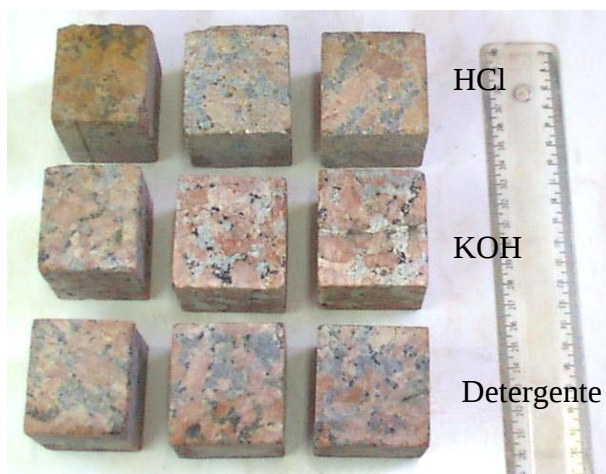


Figura 33 – Litotipo Vermelho Brasília após 40 ciclos.

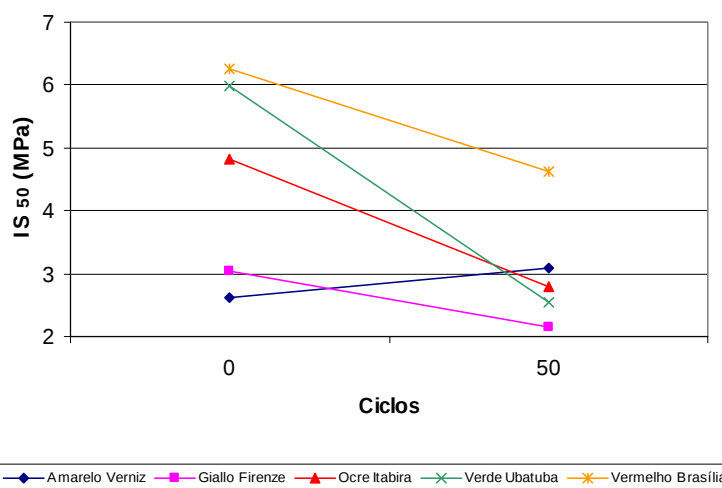


Figura 34 - Variação da resistência à compressão puntiforme das amostras mediante ataque com ácido clorídrico.

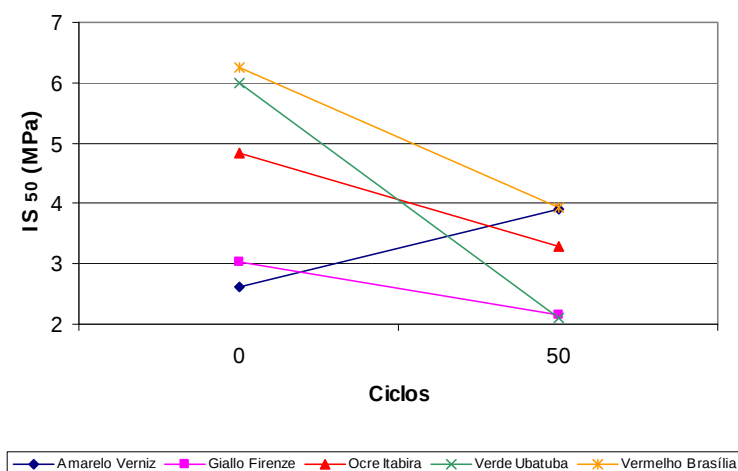


Figura 35 - Variação da resistência à compressão puntiforme das amostras mediante ataque com hidróxido de potássio.

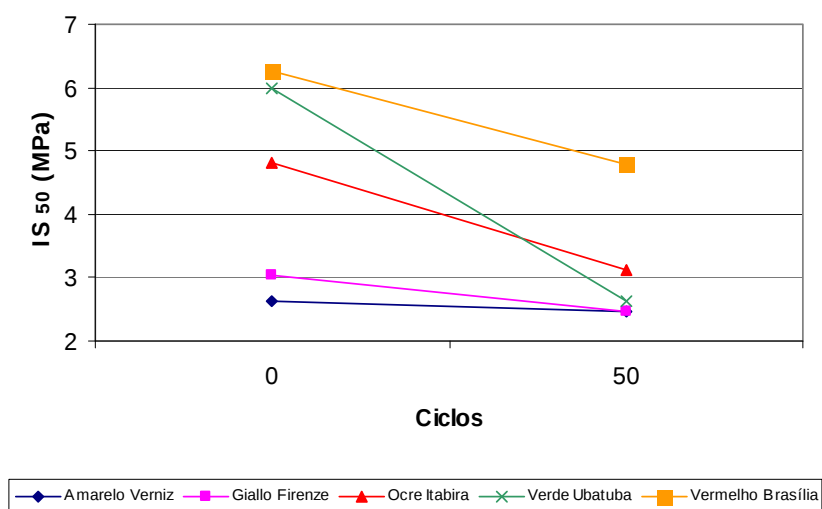


Figura 36 - Variação da resistência à compressão puntiforme das amostras mediante ataque com detergente.

De modo geral, a substância mais agressiva foi o ácido clorídrico, que causou prejuízos estéticos atacando os minerais máficos e, conseqüentemente descolorindo a superfície das rochas e prejuízos físicos como aumento considerável da porosidade e da absorção, diminuição da massa específica e, conseqüente diminuição da resistência das rochas. O aumento da resistência observado no litotipo Amarelo Verniz, para o ataque químico com ácido clorídrico e hidróxido de potássio deve ser objeto de futuros estudos, para verificar a possível causa de tal aumento.

4.7 Resistência à Compressão Puntiforme

Pode-se observar na Tabela 18 que os valores de resistência à compressão puntiforme mostram uma grande variação (um mínimo de 2,62 MPa para o amarelo Verniz e um máximo de 10,57 MPa para o Piracema White).

Outro fato importante a destacar é o valor da relação compressão uniaxial e compressão puntiforme. Um valor empírico admitido é que a compressão uniaxial é 24 vezes a compressão puntiforme, para corpos-de-prova cilíndricos e relação altura/diâmetro igual a 2. A média para esta relação, para as amostras estudadas foi de 31, com valores que variaram de 14,68 para o Piracema White a 47,77 para o Amarelo Verniz, para corpos-de-prova cúbicos.

Tabela 18 - Valores de compressão puntiforme (IS_{50}), compressão uniaxial (qu) e valor da relação entre os valores médios de resistências (qu/IS_{50}).

#	Nome Comercial	IS_{50} (MPa)	qu (MPa)	qu/IS_{50}
1	Amarelo Verniz	2,62	125,00	47,77
2	Branco Torrone	3,26	146,70	44,97
3	Branco Romano	3,83	139,80	36,51
4	Carioca Gold	4,37	158,00	36,16
5	Giallo Fiorito	4,43	109,50	24,74
6	Giallo Ornamental	3,71	156,90	42,29
7	Giallo Firenze	3,03	124,80	41,15
8	Juparanã Rio	5,84	101,40	17,35
10	Labareda Gold	3,96	146,50	36,96
11	Midnight Green	7,56	111,20	14,71
12	Ocre Itabira	4,82	114,70	23,78
13	Piracema White	10,57	155,20	14,68
14	Santa Cecília	4,23	129,80	30,70
15	Venetian Gold	3,07	127,50	41,52
16	Verde Butterfly	4,29	126,50	29,49
17	Verde Ubatuba	5,99	139,70	23,32
18	Vermelho Brasília	6,25	162,00	25,91
19	Giallo Antico	5,23	161,10	30,83
Valor Médio		4,84	135,35	31,27

Pode-se observar que a relação qu/IS_{50} apresentou valores maiores que o valor empírico admitido para essa relação. Com base nessa observação, pode-se concluir que o método de ensaio utilizado na compressão uniaxial resulta em valores que majoram essa propriedade.

4.8 Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas Longitudinais

Pode-se observar que 89% das amostras estudadas apresentam valor satisfatório. O maior valor para velocidade de propagação de ondas foi 5634 m/s, do litotipo Midnight Green, e o menor valor foi observado para o Amarelo Verniz, com 3485 m/s. Na Tabela 19 estão indicados os resultados.

Ainda, segundo as sugestões dos autores supracitados, o módulo de elasticidade estático deve apresentar um valor superior a 30 GPa. Os resultados indiretos para esta propriedade, utilizando a equação 3.12, qualificam todas as rochas ensaiadas neste trabalho, sendo o menor valor encontrado de 31,63 GPa para o Amarelo Verniz e o maior valor, 87,64 GPa para o Midnight Green. Deve-se destacar que os valores do módulo de elasticidade dinâmico aqui apresentado foram calculados de forma indireta.

Tabela 19 - Valores médios da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (v) e módulo de elasticidade dinâmico (E).

#	Nome Comercial	v (m/s)	E (GPa)
1	Amarelo Verniz	3485,39	31,63
2	Branco Torrone	3914,43	40,41
3	Branco Romano	4217,97	46,51
4	Carioca Gold	4054,37	42,99
5	Giallo Fiorito	4783,42	60,02
6	Giallo Ornamental	4113,72	44,32
7	Giallo Firenze	4249,82	47,83
8	Juparanã Rio	4977,12	64,78
10	Labareda Gold	4505,07	52,97
11	Midnight Green	5634,15	87,64
12	Ocre Itabira	4972,94	67,44
13	Piracema White	4841,12	62,08
14	Santa Cecília	4915,28	63,66
15	Venetian Gold	4564,68	54,70
16	Verde Butterfly	4066,93	44,34
17	Verde Ubatuba	5467,09	81,51
18	Vermelho Brasília	5434,27	77,37
19	Giallo Antico	4882,54	62,43

4.9 Análise Petrográfica

As análises petrográficas foram realizadas com base em apenas uma lâmina para cada tipo de rocha. Sabe-se que, dependendo da variabilidade das ocorrências na lavra e da amostragem, as classificações podem variar um pouco, sobretudo para aquelas rochas que caem próximas ao limite de diferentes campos.

A análise petrográfica, que contemplou apenas as amostras estudadas no ataque químico, apresentou os resultados descritos a seguir.

4.9.1 *Amarelo Verniz*

Trata-se de uma rocha holocristalina (100% de cristais). Os minerais apresentam-se sub-édricos, com exceção do quartzo (anédrico). O índice de cor (percentual de minerais máficos) é baixo, de aproximadamente 2%. A rocha possui textura fanerítica e inequigranular. Com relação ao tamanho médio dos minerais, pode-se afirmar que a rocha tem textura grossa (diâmetro dos cristais maior que 5 mm).

A rocha apresenta forte manchamento amarelo-ocre distribuído no contorno dos grãos ou em fissuras (Figuras 37 a 39). Observa-se forte sericitização na superfície dos plagioclásios e feldspatos.

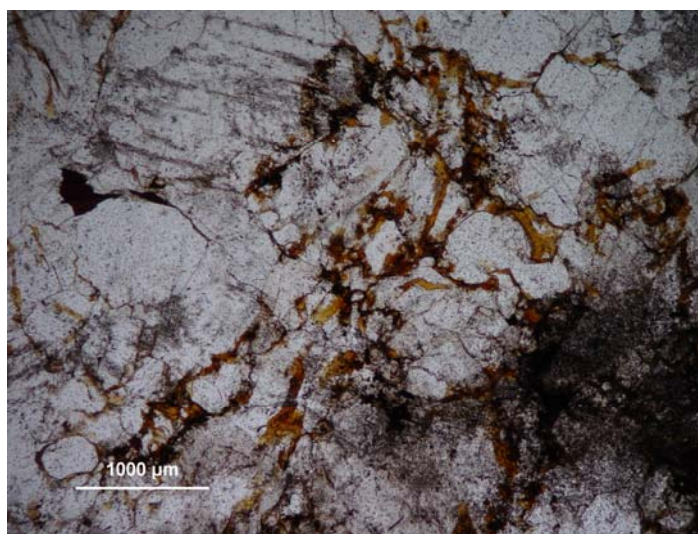


Figura 37 - Nicóis paralelos. Aspecto de manchamento causado, possivelmente por óxido de ferro.

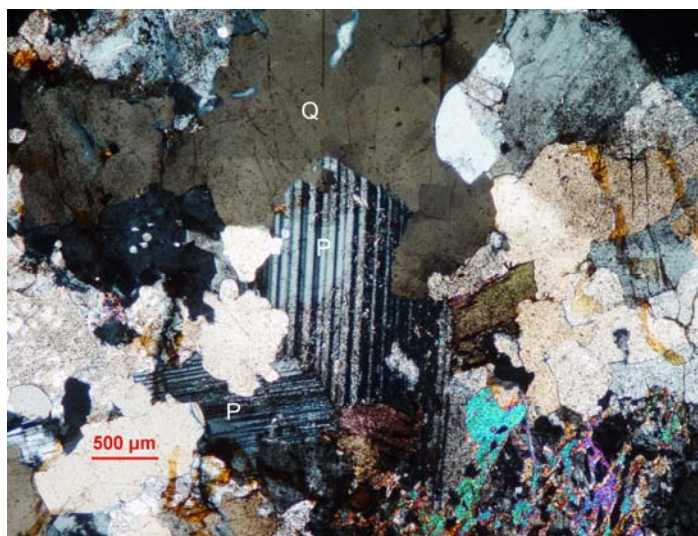


Figura 38 - Nicóis cruzados. Sericitização da superfície dos plagioclásios (P).

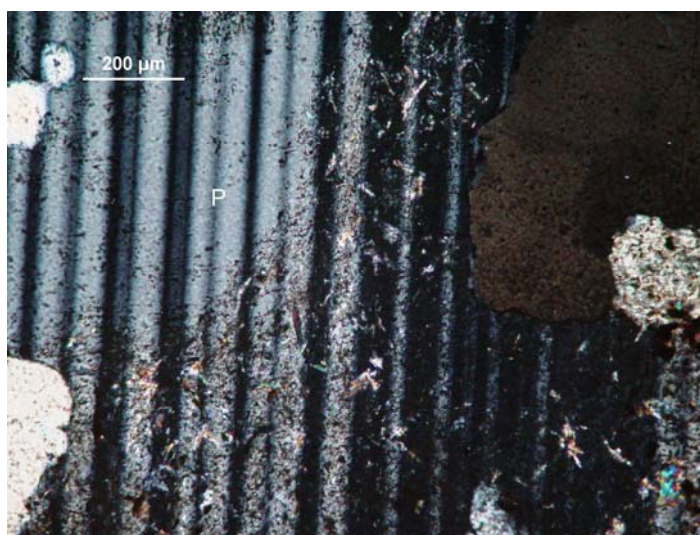


Figura 39 - Nicóis cruzados. Detalhe dos plagioclásios alterados.

Tabela 20 - Minerais encontrados no litotipo Amarelo Verniz e seus respectivos percentuais.

<i>Minerais</i>	<i>Porcentuais</i>
Álcali-feldspato	38
Quartzo	32
Plagioclásio	23
Mica branca	5,0
Biotita	1,0
Clorita	1,0
Opacos	traços

Somando-se os percentuais de Plagioclásio, Quartzo e Álcali-feldspato (93%) e recalculando-se as porcentagens relativas entre esses três minerais, pode-se usar o diagrama ternário (Figura 57) com a classificação de STRECKHEISEN (1979) e a IUGS (International Union of Geological Sciences) (1973) apud SIAL & McREATH (1984), classificando a rocha como um *Granito*.

4.9.2 *Giallo Firenze*

O Giallo Firenze é uma rocha holocristalina (100% de cristais). Os minerais apresentam-se sub-édricos. O índice de cor (percentual de minerais máficos) é baixo, de aproximadamente 2%. A rocha possui textura fanerítica e inequigranular. Com relação ao tamanho médio dos minerais, pode-se afirmar que a rocha tem textura grossa (diâmetro dos cristais maior que 5 mm).

Observa-se nas Figuras 40 a 43 que os grãos de quartzo e feldspato apresentam-se com microfissuras internas aos grãos, frequentemente, ocupando toda a extensão dos mesmos. As superfícies dos feldspatos e plagioclásios encontram-se fortemente sericitizadas (alteradas).

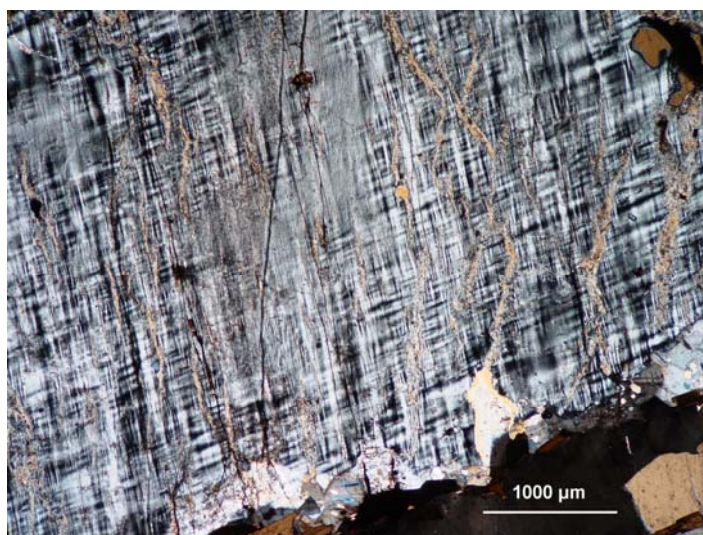


Figura 40 - Nicóis cruzados. Grão de álcali feldspato fissurado e com alteração (sericita) em sua superfície.

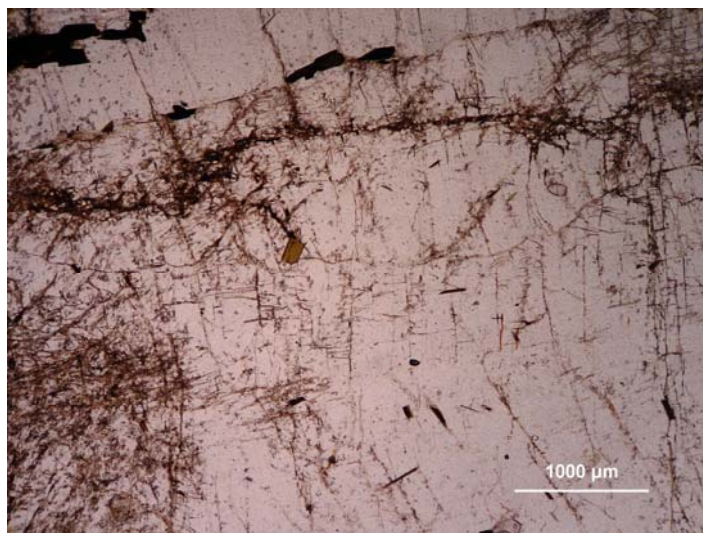


Figura 41 - Nicóis paralelos. Alteração e manchamento da rocha.

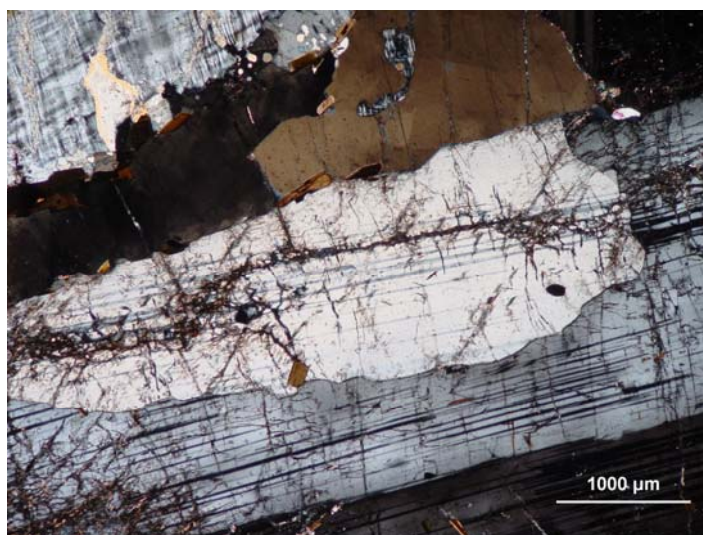


Figura 42 - Nicóis cruzados. Mesma posição na lâmina da foto anterior. Nota-se um plagioclásio com a superfície alterada.

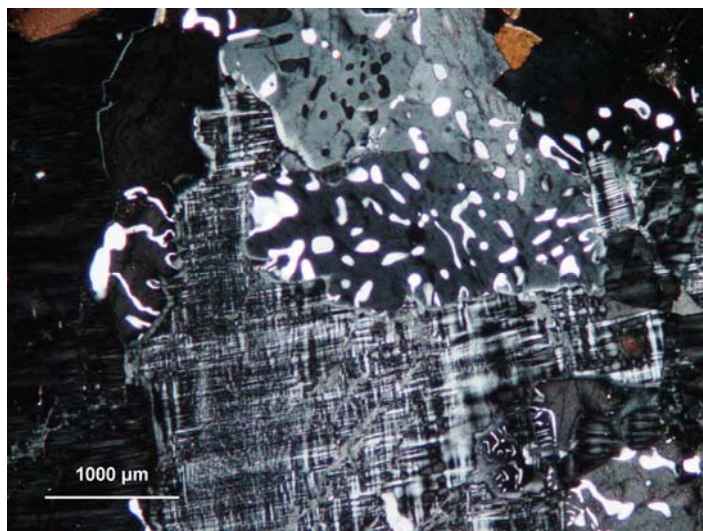


Figura 43 - Nicóis cruzados. Textura de intercrescimento entre álcali-feldspato e quartzo.

Tomando os valores dos percentuais dos principais minerais presentes na amostra, apresentados na Tabela 21 e somando-se os percentuais de Plagioclásio, Quartzo e Álcali-feldspato (97%) e recalculando-se as porcentagens relativas entre esses três minerais, pode-se usar o diagrama ternário (Figura 57) para classificar a rocha como um *Granito*.

Tabela 21 - Minerais encontrados no litotipos Giallo Firenze e seus respectivos percentuais.

<i>Minerais</i>	<i>Porcentuais</i>
Quartzo	38,8
Álcali-feldspato	34,0
Plagioclásio	24,2
Biotita	2,0
Zircão	0,5
Opacos	0,5

4.9.3 Ocre Itabira

O Ocre Itabira também é uma rocha holocristalina (100% de cristais) e os minerais apresentam-se sub-édricos, com exceção dos opacos (anédricos) e dos plagioclásios (de sub-édricos a euédricos). A rocha apresenta índice de cor (percentual de minerais máficos) de aproximadamente 15% e tem textura porfírica

inequigranular. Com relação ao tamanho médio dos minerais, pode-se afirmar que a rocha tem textura grossa (diâmetro dos cristais maior que 5 mm). Os pórfiros são de plagioclásio e feldspato. Pode-se observar, ainda, que os grãos porfíricos de álcali-feldspatos encontram-se fortemente fissurados (Figuras 44 a 46).

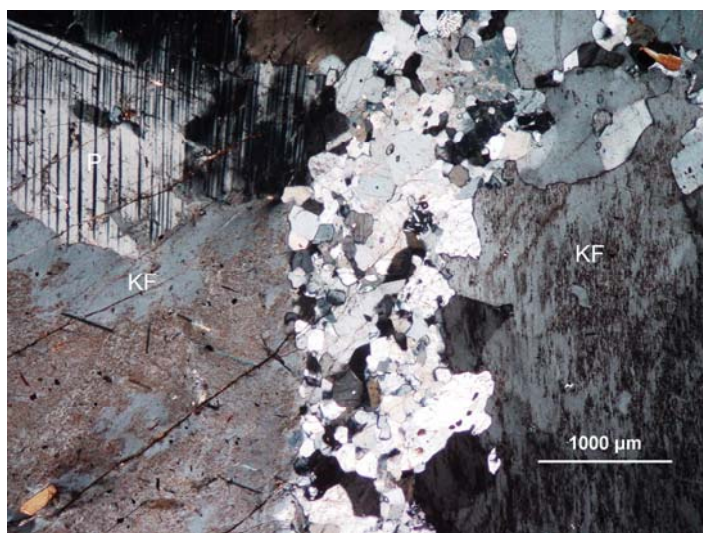


Figura 44 - Nicóis cruzados. Notar aspecto textural fortemente inequigranular. Pode-se observar também a alteração desenvolvida na superfície dos álcali-feldspatos (KF).



Figura 45 - Nicóis paralelos. Traços da clivagem na superfície do anfibólio (A) bem delineados por material de preenchimento (possivelmente óxido de ferro precipitado).



Figura 46 - Nicóis paralelos. Aspecto semelhante ao da Figura 67 verificado para os traços da clivagem na superfície das biotitas (B).

Somando-se os percentuais de Plagioclásio, Quartzo e Álcali-feldspato (84%) e recalculando-se as porcentagens relativas entre esses três minerais, pode-se usar o diagrama ternário (Figura 57) para classificar a rocha como sendo um *Granodiorito*.

Tabela 22 - Minerais encontrados no litotipo Ocre Itabira e seus respectivos percentuais.

<i>Minerais</i>	<i>Porcentuais</i>
Plagioclásio	40
Quartzo	25
Álcali-feldspato	19
Anfibólio	9
Biotita	4
Opacos	2
Zircão	1

4.9.4 Verde Ubatuba

O Verde Ubatuba é uma rocha holocristalina (100% de cristais), de cristais sub-édricos ou hipidiomórficos (apenas algumas faces características do hábito cristalino podem ser identificadas nas lâminas) e predominantemente inequigranular (os cristais minerais diferem substancialmente em tamanho). Com relação ao tamanho médio dos minerais, pode-se afirmar que a rocha tem textura grossa (diâmetro dos cristais maior que 5 mm). As características podem ser observadas nas Figuras 47 a 51.

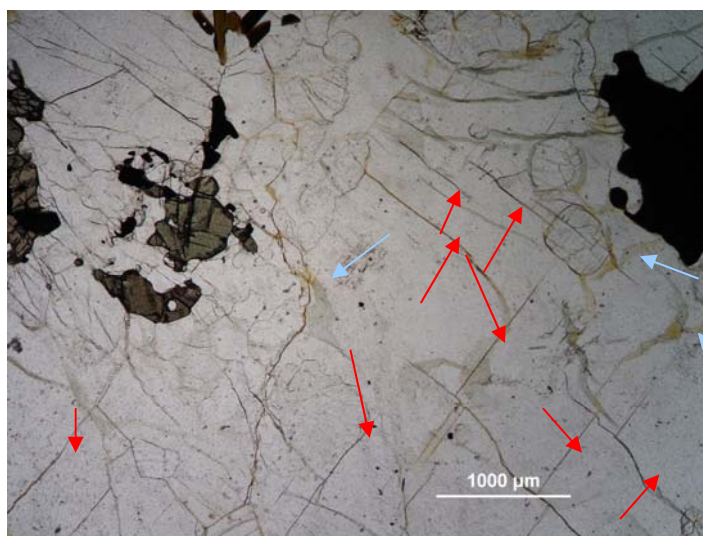


Figura 47 - Nicóis paralelos. Pode-se observar o contato entre os grãos manchados (cor ocre - setas azuis) e também algumas fissuras dentro de grãos (setas vermelhas).

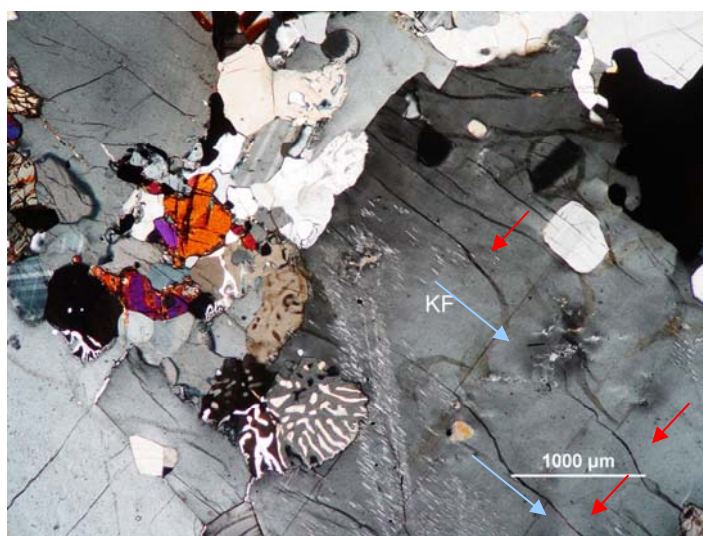


Figura 48 - Nicóis Cruzados. Mesma imagem da foto anterior. O mineral cortado pelas fissuras (ou micro-fraturas) é um álcali-feldspato (feldspato potássico – KF).

Pode-se observar que um dos conjuntos de fissuras parece estar relacionado com a clivagem mineral (setas azuis) e o outro se dispõe ortogonalmente (setas vermelhas).

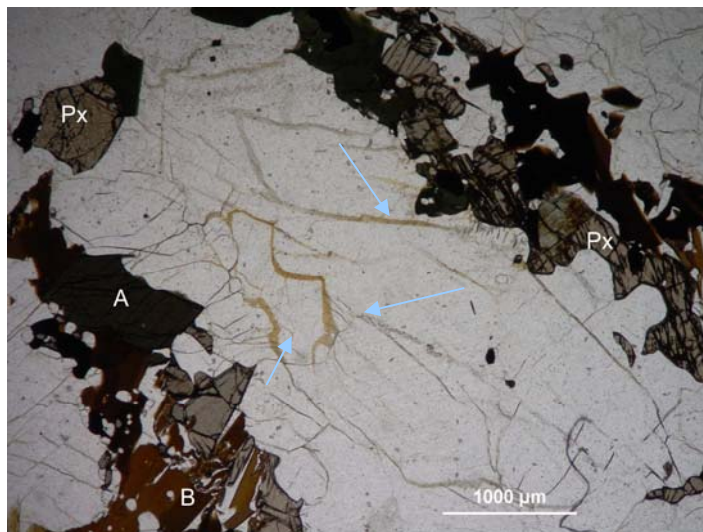


Figura 49 - Nicóis paralelos. Pode-se observar manchamentos (setas azuis) que talvez estejam relacionados a liberação de ferro em minerais como a biotita (B), o anfibólio (A) e o piroxênio (Px).

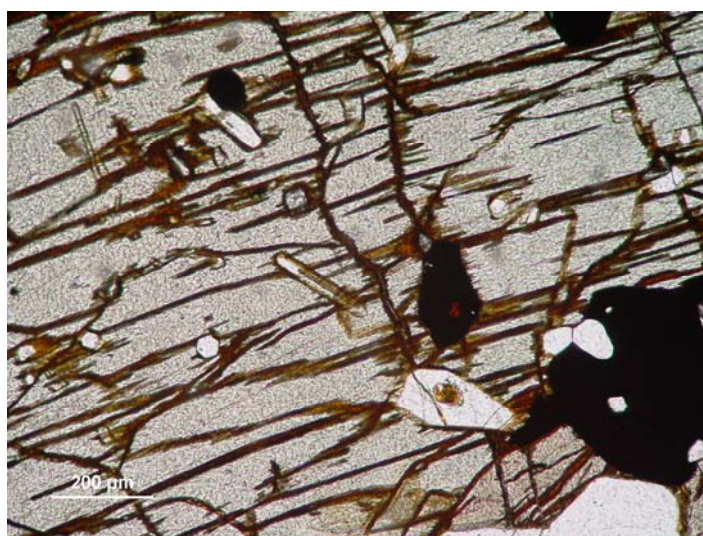


Figura 50 - Nicóis paralelos. Detalhe da superfície de um piroxênio e suas fissuras preenchidas por material (possivelmente Ferro). Isso comprova que o manchamento da superfície da rocha, visto nas imagens anteriores deve estar relacionado com a alteração das biotitas, anfibólios e piroxênios.

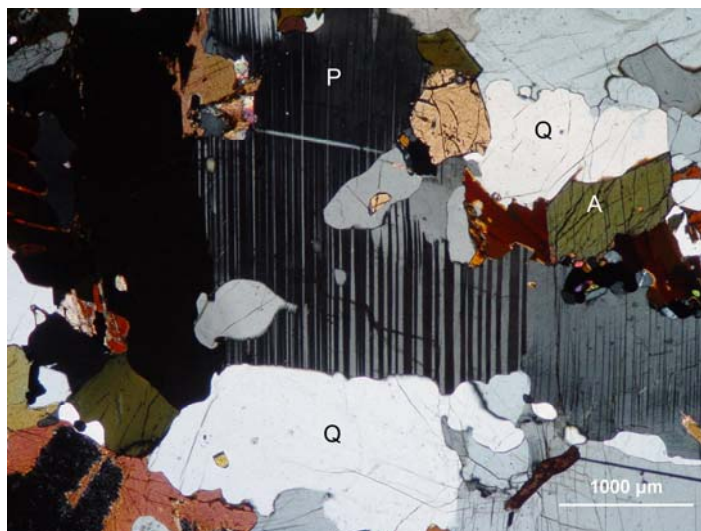


Figura 51 - Nicóis Cruzados. Observa-se a superfície bastante límpida dos plagioclásios (P), denotando que esses minerais ainda se encontram muito bem preservados, não alterados.

Somando-se os percentuais de Plagioclásio, Quartzo e Álcali-feldspato (77%) e recalculando-se as porcentagens relativas entre esses três minerais, pode-se usar o diagrama ternário (Figura 57), classificando a rocha como um *Quartzo-monzonito*.

Tabela 23 - Minerais encontrados no litotipo Verde Ubatuba e seus respectivos percentuais.

<i>Minerais</i>	<i>Porcentuais</i>
Plagioclásio	39,1
Quartzo	13,9
Álcali-feldspato	24,0
Biotita	8,7
Anfibólio	7,3
Orto-Piroxênio	5,2
Opacos	1,7
Zircão	0,1

4.9.5 *Vermelho Brasília*

Assim como todas as rochas que foram submetidas à análise petrográfica, o Vermelho Brasília também é uma rocha holocristalina (100% de cristais), os minerais apresentam-se sub-édricos, com índice de cor (percentual de minerais máficos) de aproximadamente 3% e tem textura inequigranular. Com relação ao tamanho médio dos minerais, pode-se afirmar que a rocha tem textura grossa (diâmetro dos cristais maior que 5 mm). Suas principais características podem ser observadas nas Figuras 52 a 56.

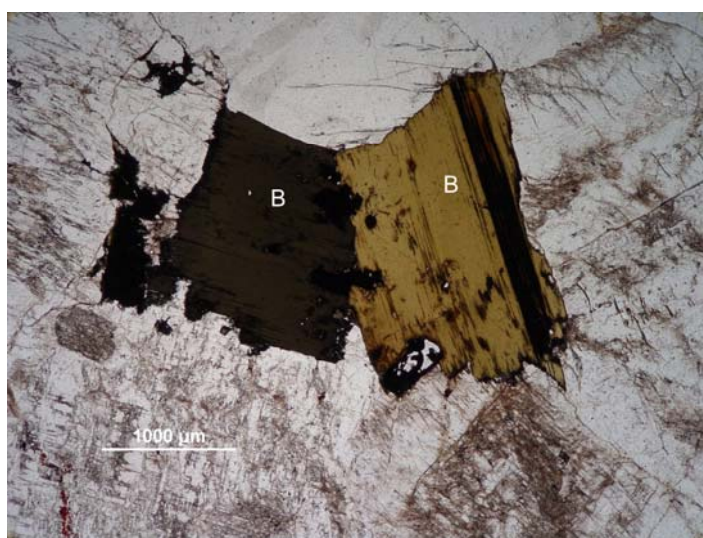


Figura 52 - Nicóis paralelos. Alteração das biotitas (B), onde se nota a clivagem realçada possivelmente por óxido de ferro.

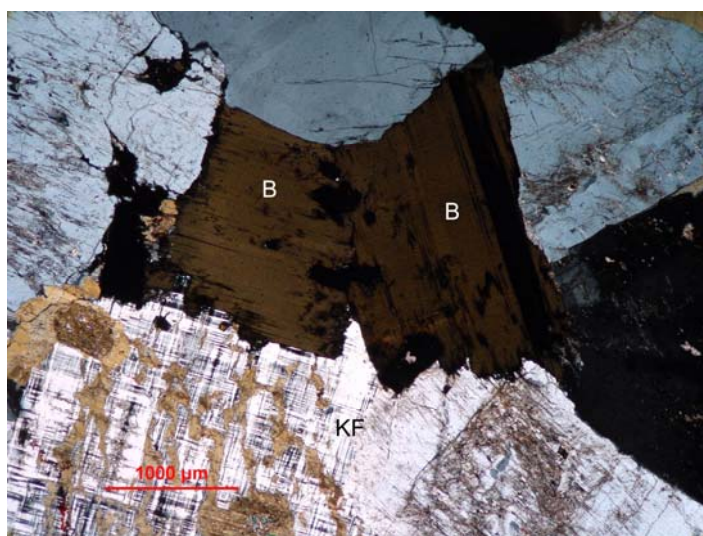


Figura 53 - Nicóis cruzados. Mesma imagem da figura anterior. Pode-se observar a superfície alterada dos álcali-feldspatos (KF).

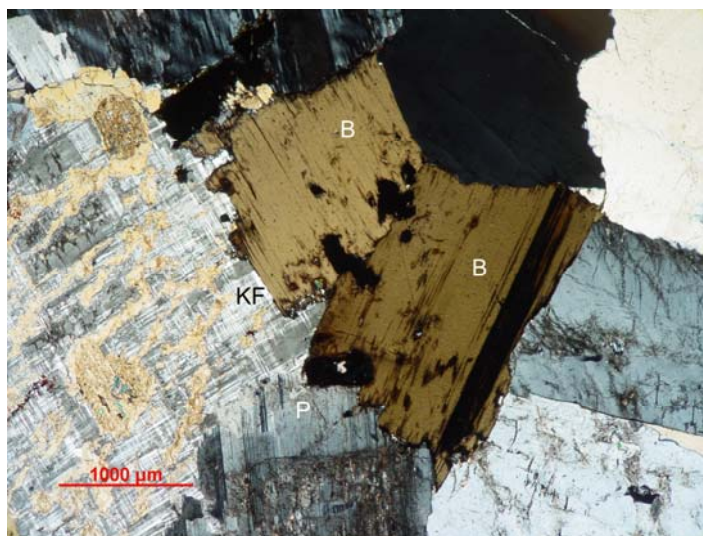


Figura 54 - Nicóis cruzados. Pode-se observar que a alteração da superfície também afeta os plagioclásios (P).

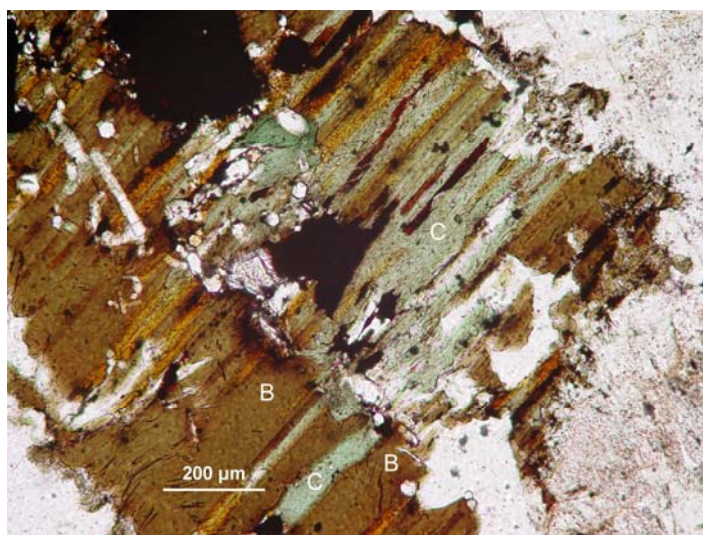


Figura 55 - Nicóis paralelos. Detalhe da transformação da biotita(B) em clorita (C). Apenas com a análise petrográfica não é possível afirmar se esse processo é resultado de alteração intempérica. Pode ser produto de alteração hidrotermal.

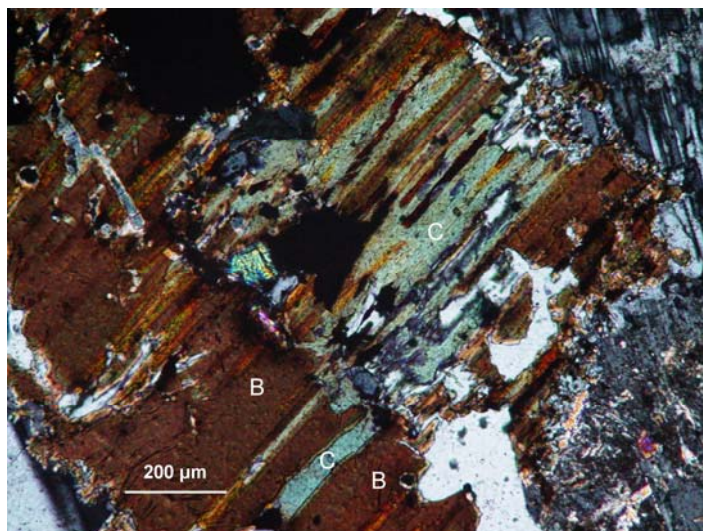


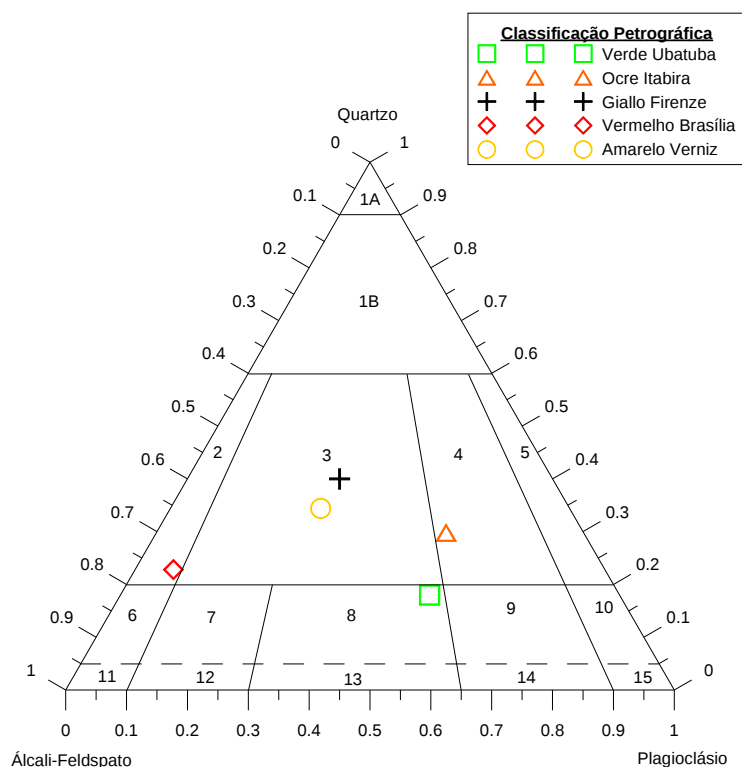
Figura 56 - Nicóis cruzados. Idem Figura 55.

Somando-se os percentuais de Plagioclásio, Quartzo e Álcali-feldspato (97%) e recalculando-se as porcentagens relativas entre esses três minerais, pode-se usar o diagrama ternário (Figura 57) para classificar a rocha como sendo um *Álcali Granito*.

Tabela 24 - Minerais encontrados no litotipo Vermelho Brasília e seus respectivos percentuais.

<i>Minerais</i>	<i>Porcentuais</i>
Plagioclásio	6,1
Quartzo	22,1
Álcali-feldspato	68,8
Biotita	2,4
Opacos	0,6

A Figura 57 apresenta o diagrama ternário com a classificação das amostras submetidas à análise petrográfica.



Nota: 1A – Quartzolito; 1B – Granitóide rico em quartzo; 2 – Álcali-feldspato-granito (álcali-granito – quando os granitos contêm piroxênios ou anfibólios alcalinos); 3 – Granito; 4 – Granodiorito; 5 – Tonalito; 6 – Quartzo-álcali-feldspato-sienito; 7 – Quartzosienito; 8 – Quartzomonzonito; 9 – Quartzo-monzodiorito ou quartzo-monzogabro; 10 – Quartzo-diorito ou quartzo-gabro; 11 – Álcali-feldspato-sienito; 12 – Sienito; 13 – Monzonito; 14 – Monzodiorito ou monzogabro; 15 – Diorito ou gabro.

Figura 57 - Diagrama ternário das amostras e suas respectivas classificações. STRECKHEISEN (1979) e IUGS (International Union of Geological Sciences) (1973) apud SIAL & McREATH (1984).

4.10 Correlações entre as propriedades Físicas e Mecânicas das Rochas

O coeficiente de determinação (R^2) encontrado para estas duas propriedades foi de 21%, apresentado na Figura 58.

A relação encontrada para as propriedades é a seguinte:

$$qu_{sat} = 0,0158 \cdot v + 27,45 \quad (4.1)$$

Em que:

qu_{sat} - Resistência à compressão uniaxial (MPa);

v - Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s).

Tirar as revisões bibliográficas.

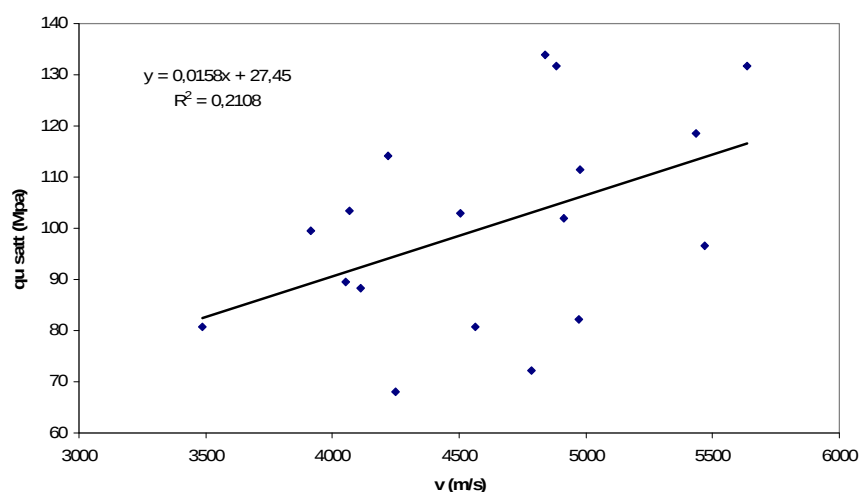


Figura 58 - Correlação entre a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais e resistência à compressão uniaxial.

A correlação entre velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais e resistência à compressão uniaxial apresentada não proporcionou resultado satisfatório tanto para a condição seca do ensaio de compressão uniaxial quanto para a condição saturada. Para a correlação entre v e compressão puntiforme, os resultados são mais satisfatórios e estão apresentados na Figura 59.

O coeficiente de determinação (R^2) encontrado para a relação entre velocidade de propagação de ondas e resistência à compressão puntiforme foi de 75%, apresentado na Figura 59.

A relação encontrada para as propriedades é a seguinte:

$$IS_{50} = 0,0019 \cdot v - 4,2251 \quad (4.2)$$

Em que:

IS_{50} - Resistência à compressão puntiforme (MPa);

v - Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s).

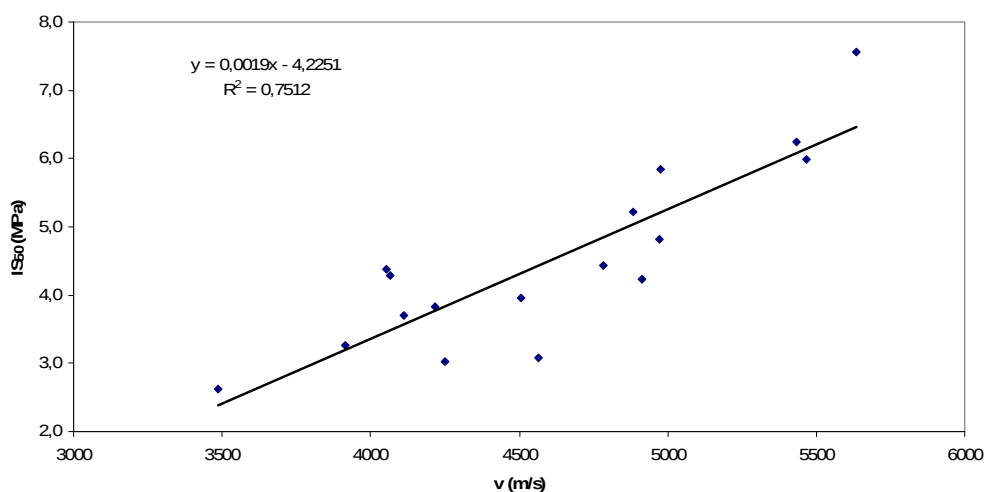


Figura 59 - Correlação entre a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais e resistência à compressão puntiforme.

A relação entre absorção d'água aparente e porosidade aparente apresentou a correlação descrita pela Equação 4.3, a seguir.

$$\alpha a = 0,3795 \cdot \eta a \quad (4.3)$$

Em que:

αa - Absorção d'água aparente;

ηa - Porosidade aparente.

Como pode ser observado na Figura 60, existe uma relação direta entre a porosidade e absorção. (Para o presente estudo, o coeficiente de determinação entre as duas propriedades foi de 99,5%).

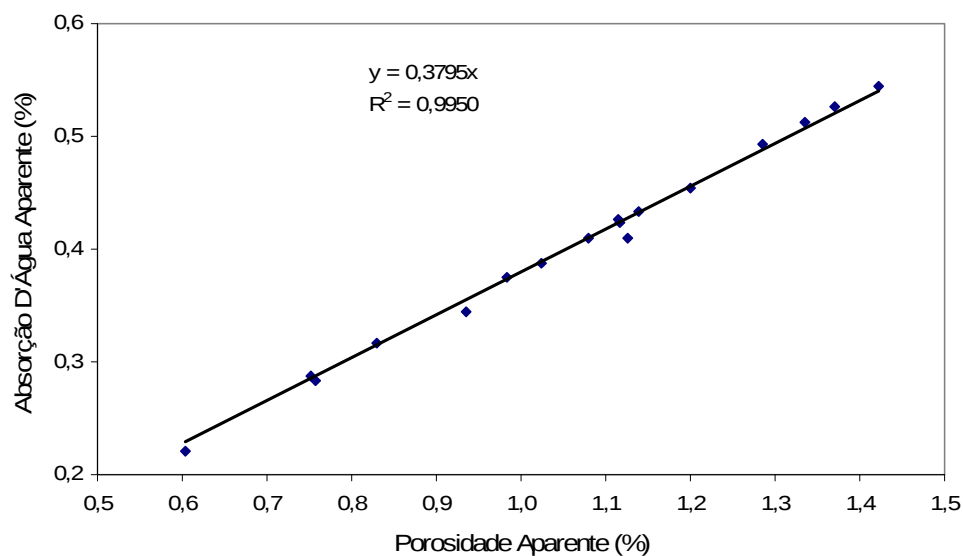


Figura 60 - Correlação entre porosidade aparente e absorção d'água aparente para os litotipos estudados.

Tomando a equação 4.3 e adotando o valor proposto pela ASTM para o limite da absorção d'água aparente de 0,4%, encontramos o valor de 1,05% para a porosidade aparente, que está bem próximo ao limite proposto por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996), que é de 1,0%.

Assim, como existe uma excelente correlação entre porosidade e absorção, existe uma forte correlação entre a massa específica aparente saturada e a massa específica aparente seca, pois essa variação depende da absorção aparente das rochas. Essa correlação é dada pela equação 4.4.

$$\gamma_{sat} = 0,9693 \cdot \gamma_{sec} + 91,862 \quad (4.4)$$

Em que:

γ_{sat} - massa específica aparente saturada;

γ_{sec} - massa específica aparente seca.

Para os resultados obtidos neste trabalho, a relação entre módulo de ruptura (resistência à flexão) e velocidade de propagação de ondas (v), com coeficiente de determinação de 50% é descrita pela equação 4.5 e pela Figura 61:

$$MR = 0,0034 \cdot v - 6,4313 \quad (4.5)$$

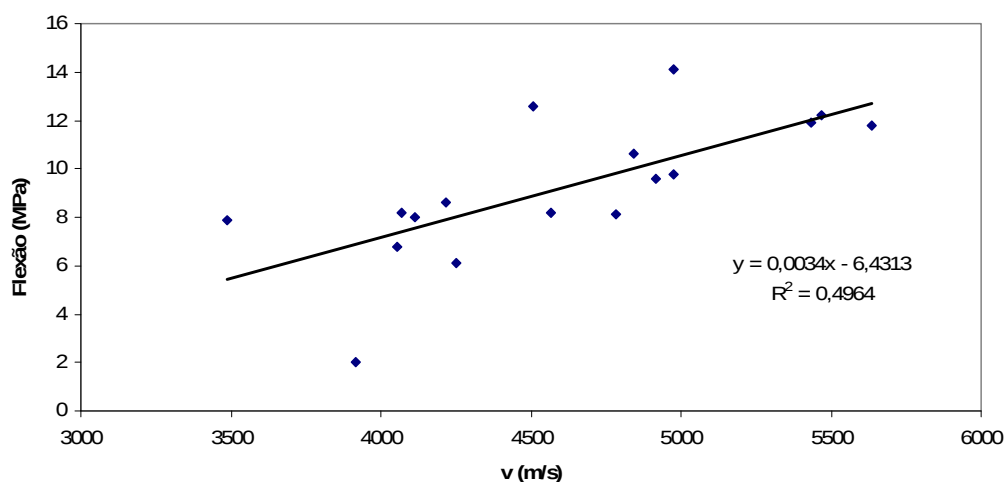


Figura 61 – Correlação entre velocidade de propagação de ondas longitudinais e resistência à flexão das amostras estudadas.

Nesse trabalho, a relação entre a resistência à compressão uniaxial e resistência à flexão foi melhor para o estado saturado (Figura 62), com um coeficiente de determinação de 49%, enquanto que, para o estado seco, esta correlação não apresentou um resultado satisfatório, definida pela equação 4.6.

$$qu = 5,4576 \cdot tf + 45,787 \quad (4.6)$$

Em que:

qu - Resistência à compressão uniaxial;

tf - Resistência à tração na flexão.

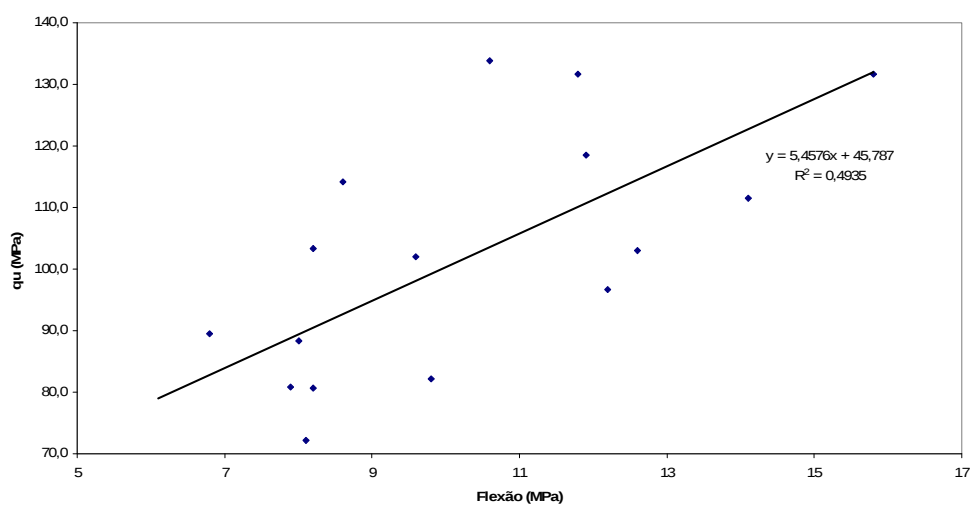


Figura 62 – Correlação entre flexão e compressão uniaxial.

5. CONCLUSÕES

Os dados obtidos no presente trabalho permitem concluir que, de maneira geral, os resultados de todos os ensaios se ajustam melhor aos valores propostos por FRAZÃO & FARJALLAT (1995, 1996), provavelmente pelo fato de serem rochas brasileiras, assim como as utilizadas no trabalho dos autores.

Os resultados encontrados no trabalho e a literatura consultada deixam claro que o corpo-de-prova utilizado no ensaio de resistência à compressão uniaxial influencia no resultado final obtido. Sugere-se a mudança das dimensões do mesmo, de maneira a minimizar a influência no resultado final.

A saturação das amostras causa perda 26%, em média, na resistência à compressão uniaxial e perdas de até 62% na resistência à flexão. Essas variações podem ser resultados desde variações químicas e mineralógicas na formação das rochas até resultado de diferentes esforços atuantes no maciço, causando microfissuração, por exemplo. Porém, esta informação necessita de confirmação através da análise de lâminas petrográficas e químicas de todas as amostras.

Em relação aos índices físicos, as amostras estudadas apresentaram um comportamento satisfatório para as massas específicas, seca e saturada. Já para a absorção d'água e porosidade aparentes, os resultados encontrados, aliados às análises petrográficas de algumas amostras, leva-se a concluir que alguns litotipos estudados apresentam alterações nos minerais, ou seja, encontram-se intemperizados, o que explica os valores elevados.

Para a resistência ao impacto, as amostras estudadas tiveram um desempenho satisfatório, sendo o valor máximo encontrado (média de 0,64 m) para o litotipo Giallo Firenze e o mínimo para o litotipo Carioca Gold (média de 0,46 m).

O ensaio de congelamento e degelo provocou uma perda de resistência média de 6% na condição seca e 13% na condição saturada. Adicionalmente detectou-se que o número de ciclos determinado pela norma é reduzido, pois como as rochas silicáticas têm uma baixa porosidade aparente, os 25 ciclos foram insuficientes para causar perdas significativas na resistência à compressão.

Para o ataque químico, além dos prejuízos estéticos causados pela ação dos produtos químicos, observaram-se grandes alterações nas propriedades físicas das rochas. Uma constatação importante é que o detergente causou uma diminuição média de 25% nos valores de porosidade aparente e absorção aparente. Sugere-se, para futuros estudos, verificar a verdadeira causa de tal modificação nos valores. É aconselhável a elaboração de um procedimento específico para a realização de ensaios de ataque químico em rochas ornamentais, visto que as amostras sofreram consideráveis danos estéticos e físicos.

Com o ensaio de resistência à compressão puntiforme, pôde-se obter a relação resistência à compressão uniaxial / compressão puntiforme para os litotipos estudados, útil para efeito de comparação entre resultados de outros pesquisadores, destacando-se que os corpos-de-prova utilizados na compressão uniaxial têm formato cúbico. Pôde-se notar que, se comparados ao valor utilizado na mecânica das rochas, o método de ensaio para compressão uniaxial utilizado em rochas ornamentais resulta em valores majorados para essa propriedade.

De acordo com o valor sugerido por FRAZÃO & FARJALLAT para a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais, pôde-se verificar que apenas dois litotipos (Amarelo Verniz e Branco Torrone) não satisfizeram o limite proposto.

A análise petrográfica mostra que todas as amostras ensaiadas são compostas apenas por cristais, e apresentam textura grossa.

Quanto às relações encontradas, conclui-se que existe uma correlação entre algumas propriedades, porém, deve-se ter cuidado em utilizá-las, pois as propriedades físicas e mecânicas de uma rocha são resultados de vários condicionantes e dificilmente pode ser explicado por apenas uma característica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES-BARROS, L. As rochas dos monumentos portugueses tipologias e patologias, Vol. I e II, Edição Instituto Português Património Arquitectónico (IPPAR), Lisboa. 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. (C 615). Standard specification for granite dimension stone. 1999.

_____. Standard Test Method for Laboratory: Determination of Pulse Ultrasonic Elastic Constants of Rocks. 1990. (Standard D-2845). 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (NBR 12763). Rochas para revestimento - Determinação da resistência à flexão. 1992. 3 p.

_____. (NBR 12764). Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. 1992. 2 p.

_____. (NBR 12767). Rochas para revestimento – Determinação da resistência à compressão uniaxial. 1992. 2 p.

_____. (NBR 12768). Rochas para revestimento – Análise petrográfica. 1992. 2 p.

_____. (NBR 12769). Rochas para revestimento – Ensaio de congelamento e degelo conjugado a verificação da resistência a compressão uniaxial. 1992. 2 p.

_____. (NBR 12766). Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água. 1992. 2 p.

_____. (NBR 13818). Placas cerâmicas para revestimento. Especificação e métodos de ensaio. Anexo H. Determinação da resistência ao ataque químico. 1997.

BESSA, M. F. T.; FIGUEIREDO, P.; TORQUATO, J. R.; BARROS, L. A. A.; FERNANDES, A. H. M.; MORALES, I. M. Comportamento das rochas silicáticas mediante a ação de algumas substâncias químicas. O caso dos granitos Verde Ceará e Meruoca Clássico. Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 1; Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2. 28 nov. – 01 dezembro 2001, Salvador. Rio de Janeiro: CETEM / MCT, 2002. 6 p.

BIBLIA, N. T. Mateus. Português. Bíblia sagrada. Tradução: Centro Bíblico Católico. 34 ed. São Paulo: Ave Maria, 1982. Cap. 7, vers. 24-25.

CHIODI FILHO, C. C.; CARANASSIOS, A.; PEITER, C. C.; VIDAL, F. W. H.; ALBUQUERQUE, G. S. C.; CALAES, G.; VALE, E.; FERREIRA, G. E. Rochas Ornamentais No século XXI: Bases para uma Política de Desenvolvimento Sustentado das Exportações Brasileiras. Rio de Janeiro - CETEM / ABIROCHAS. 2001. 153 p.

CHIODI FILHO, C. C. Desempenho e competitividade do setor de rochas do Brasil. Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 4. 2003, Fortaleza. Anais... Fortaleza, Centro de Tecnologia Mineral, 2003, p. 245-252.

_____ Consumo interno, perfil de utilização e estrutura de comercialização das rochas ornamentais e de revestimento no Brasil. São Paulo – CETEM / ABIROCHAS. 2004. 11 p.

_____ Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2005. São Paulo. – CETEM / ABIROCHAS. 2006. 14 p.

DUARTE, M. C. A. O. Características físico-mecânicas de rochas ornamentais portuguesas. Relatório de estágio – Licenciatura em Engenharia Geológica. Universidade Nova de Lisboa. 2003. 54 p.

FRASCÁ, M. H. B. O. Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 1; Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2. 28 nov. – 01 dezembro 2001, Salvador. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 145 p.

FRAZÃO, E.B.; FARJALLAT, J.E.S. Seleção de pedras para revestimento e propriedades requeridas. Rev. Rochas de Qualidade. nº 124. São Paulo. 1995. 8 p.

_____. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8. 1996. ABGE. V1. 1996. p: 369-380.

FRAZÃO, E. B. Tecnologia de rochas na construção civil. São Paulo, ABGE. 2002. 132 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Catálogo de rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo. São Paulo, 1993. Publicação IPT nº 2048. 80 p.

ISRM International Society of Rock Mechanics “Determining Sound Velocity – ISRM Suggested Methods”. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 15. No 2, 1978. pp 53-58.

_____. “Rock characterization testing & monitoring – ISRM suggested methods”. London: Ed. E. T. Brown, Pergamon Press, 1981, 211p.

LANDIM, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. (Ciência e Tecnologia). 226 p.

MELLO, I. S. de C.; FRASCA, M. H. B. O.; VILLASCHI, A.; ARTUR, A. C.; NAVARRO, F. C.; GALEMBECK, T. M. B.; GOGOY, A. M.; BRAGA, T. O.; GOBBO, L. A.; QUEIROZ, F. C. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: diretrizes e ações para inovação e competitividade. 1. ed. São Paulo: Páginas & Letras, 2004. V. 1. 192 p.

MEYER, A. P. A influência da petrografia no comportamento tecnológico de rochas ornamentais do Complexo Socorro (SP) e Maciço Pedra Branca (MG). Dissertação (Mestrado em Geociências) - Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2003. 117 p.

MONTANI, C. Stone 2003. Word Marketing Handbook, Faenza (ITA): Gruppo Editoriale Faenza Editrice. 2003. 237 p.

MOURA, AC, GRADE, J., RAMOS, JMF, MOREIRA, AD & GOMES, L. Granitos e rochas similares de Portugal. IGM Editora. 2000. 179 p.

NAVARRO, F. C. Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas como ferramenta para a previsão de parâmetros mecânicos em granitos ornamentais. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 3. Recife. 2002. 9 p.

_____. Caracterização Petrográfica como técnica para a previsão do comportamento físico e mecânico de “granitos” ornamentais. Dissertação de Mestrado IGCE/UNESP, Rio Claro, SP. 2002. 88 p.

_____. Influence of mineral composition and texture to thermal expansion coefficient of silicatic dimension stone. Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 1; Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2. 28 nov. – 01 dezembro 2001, Salvador. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 6 p.

SANTOS, A. R. Metodologia científica – a construção do conhecimento. 6 ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2004. 168 p.

SANTOS, J. B. & BARROSO, E. V. Resistência de rochas ornamentais: uma discussão sobre o efeito da geometria e das dimensões dos corpos-de-prova. Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 1; Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2. 28 nov. – 01 dezembro 2001, Salvador. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 5 p.

SIAL, A. N. & McREATH, I. Petrologia ígnea. 1. ed. v. 1. Bahia: Bureau, 1984. 181 p.

SILVA, C. GOMES – Mármore da região de Estremoz – Borba – Vila Viçosa, Caracterização físico-mecânica, geoquímica e geomecânica. Contribuição para o conhecimento da sua alterabilidade, fracturação e blocometria, Tese de Doutoramento, IST, Lisboa, 1989. 136 p.

SILVA, R. E. C.; MARGUERON, C. Estudo Geológico -Técnico de uma Pedreira de Rocha Ornamental no Município de Santo Antônio de Pádua – Rio de Janeiro. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Volume 25/2002. p 151 a 171.

SOUZA, J. C.; FILHO, J. L. R.; BARROS, M. L. S. C. Correlação entre cromaticidade e propriedades tecnológicas de rochas ornamentais do NE. Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 1; Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2. 28 nov. – 01 dezembro 2001, Salvador. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 145 p.

VIDAL, F. W. H.; BESSA, M. F.; LIMA, M. A. B. Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT - (Série Tecnologia Mineral, 74). 1999. 30 p.