

Coleção Documentos Técnicos
Projeto Academia das Rochas
Série Marmoraria | Documento 20

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS PARA REVESTIMENTO

ABI ROCHAS

Associação
Brasileira da
Indústria de
Rochas
Ornamentais



**ACADEMIA
DAS ROCHAS**
Juntos pela qualidade.

DIRETORIA EXECUTIVA DA ABIROCHAS

Biênio 2017 - 2019

REINALDO DANTAS SAMPAIO

Presidente

MARCOS REGIS ANDRADE

Vice-Presidente Administrativo Financeiro

JOSÉ BALBINO MAIA DE FIGUEIREDO

Vice-Presidente de Relações Institucionais

JOSÉ GEORGEVAN GOMES DE ARAÚJO

Vice-Presidente de Mercado Interno

MÁRIO IMBROISI

Vice-Presidente de Meio Ambiente

PAULO ROBERTO AMORIM ORCIOLI

Vice-Presidente de Mineração

Conselho de Administração

DOMINGO SÁVIO OTAVIANI - Presidente - ANPO-ES

ANTÔNIO JOSÉ SARMENTO TOLEDO - SINDRO-PB

ARMANDO SEQUEIRA DE SOUSA - SINCOCIMO-RJ

CARLOS ALBERTO LOPES ARAÚJO - SIMAGRAN-BA

CARLOS RUBENS ARAÚJO ALENCAR - SIMAGRAN-CE

JOSÉ BALBINO MAIA DE FIGUEIREDO - SINROCHAS-MG

JOSÉ GEORGEVAN GOMES DE ARAÚJO - SIMAGRAN-PR

TALES PENA MACHADO - SINDIROCHAS-ES

Conselho Fiscal

JOSÉ BALBINO MAIA DE FIGUEIREDO - SINROCHAS-MG

JOSÉ GEORGEVAN GOMES DE ARAÚJO - SIMAGRAN-PR

PAULO ROBERTO AMORIM ORCIOLI - SINCOCIMO-RJ



CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS PARA REVESTIMENTO

Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá - Geóloga, Dra.
Consultoria em rochas ornamentais. MHB Serviços Geológicos.

Eleno de Paula Rodrigues - Geólogo, Prof. Dr.
Pós-doutor em Rochas Ornamentais. Lithotec
Assessoria e Gerenciamento em Rochas Ornamentais.

ABIROCHAS
Brasília, DF
2019

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS PARA REVESTIMENTO

Autores

Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá

Eleno de Paula Rodrigues

Capa | Projeto Gráfico | Editoração Eletrônica

Pilar Comunicação

Revisão

Cid Chiodi Filho, geólogo

Renata Carneiro, jornalista

Copyright© 2019 by ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais

SRTV Sul - Quadra 701 - Conjunto L - nº 38 - Bloco 2 - Sala 601

Asa Sul - Brasília, DF - CEP 70.340-906

Fone (61) 3033-1478 - E-mail contatos@abirochas.com.br

www.abirochas.com.br

Reservados todos os direitos. É proibida a duplicação ou reprodução deste volume, no todo ou em parte, sob quaisquer formas ou quaisquer meios (eletrônico, mecânico, gravação, fotocópia, distribuição na Web ou outros), sem permissão expressa da ABIROCHAS.



C257

Caracterização tecnológica de rochas para revestimento / Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá, Eleno de Paula Rodrigues. - Brasília: ABIROCHAS, 2019.

36 p.: il. color. - (Marmoraria ; v. 20)

ISBN 978-85-45530-04-6

Produzido pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.

1. Rochas Ornamentais. 2. Revestimentos. 3. Construção Civil. 4. Minerais Industriais. I. Frascá, Maria Heloísa Barros de Oliveira. II. Rodrigues, Eleno de Paula. III. ABIROCHAS. IV. Título.

CDD: 553.6

APRESENTAÇÃO

Através do Projeto Academia das Rochas, a ABIROCHAS está formulando instrumentos que favoreçam a agregação tecnológica, os processos de inovação e design, a capacitação operacional e gerencial, o fortalecimento associativo, o acesso a mercados e outros focados na atividade de marmoraria, fortalecendo o papel do marmorista junto a especificadores e consumidores finais de todo o país.

A qualificação da marmoraria é considerada importante e extremamente oportuna, cumprindo uma dupla finalidade: a capacitação para atendimento das novas formas de relacionamento exigidas pela indústria da construção civil dos seus fornecedores, no mercado interno; e a adequação para a denominada “terceira onda exportadora” do setor de rochas, centrada no fornecimento de produtos acabados e serviços para atendimento de obras no mercado externo.

No mercado interno, as marmorarias precisarão atuar como fornecedoras de soluções integradas de revestimento para as edificações, e não mais como simples fornecedoras de insumos. No mercado externo, a terceira onda exportadora é a principal forma atualmente vislumbrada para um salto quantitativo e qualitativo das exportações, acrescentando-se produtos acabados de maior valor agregado à comercialização.

A série de documentos técnicos dedicados às marmorarias tem por finalidade divulgar as melhores práticas do processo produtivo e da prestação de serviços ao consumidor, desde o recebimento da matéria-prima até a entrega do produto final. Também estão contempladas dicas de organização, estratégias de venda, custos e formação de preços, informações técnicas sobre aplicação, patologias dos revestimentos, novas tecnologias, de modo a auxiliar o marmorista quanto às demandas de especificadores e clientes.

Esperamos que este documento seja útil e que o projeto Academia das Rochas contribua efetivamente para a modernização e prosperidade das marmorarias brasileiras.

Brasília, 20 de abril de 2019

Reinaldo Dantas Sampaio
Presidente

José Georgevan Gomes de Araújo
Vice-Presidente de Mercado Interno

SUMÁRIO

AS ROCHAS NOS REVESTIMENTOS	7
⇒ Principais grupos de rochas para revestimento x características típicas (também chamadas de propriedades).....	9
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA: O QUE É E COMO SE FAZ	13
⇒ Ensaios x normas.....	14
↳ Importância da amostragem e da escolha do laboratório	14
↳ Propriedades fundamentais: funções e normas utilizadas.....	15
⇒ Ensaios requeridos x usos pretendidos	16
ENSAIOS ESSENCIAIS PARA A CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	18
⇒ Análise petrográfica.....	18
⇒ Densidade, absorção de água, porosidade aparente (comumente designadas de índices físicos).....	19
⇒ Dilatação térmica	20
⇒ Desgaste abrasivo.....	21
⇒ Impacto de corpo duro.....	22
⇒ Compressão.....	23
⇒ Módulo de ruptura (ou flexão três pontos).....	23
⇒ Flexão (ou flexão quatro pontos).....	25
OUTROS ENSAIOS.....	26
⇒ Resistência ao escorregamento.....	27
↳ Método do pêndulo britânico	27
↳ Coeficiente de atrito dinâmico	28
⇒ Resistência à abrasão superficial.....	28
ENSAIOS ORIENTATIVOS PARA A LIMPEZA E MANUTENÇÃO.....	30
⇒ Resistência ao ataque químico.....	31
⇒ Resistência ao manchamento.....	33
GRUPOS DE ROCHAS X RESULTADOS ESPERADOS.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

AS ROCHAS NOS REVESTIMENTOS

As edificações, de uma maneira geral, recebem camadas de acabamento ou de revestimento nas suas paredes, pisos e fachadas, cujo papel é tanto estético (embelezamento dos ambientes e da edificação) como funcional (preservação da estrutura das edificações das intempéries, do ataque de produtos químicos empregados em materiais de limpeza e muitos outros).



Exemplos do uso da rocha em revestimentos de paredes, pisos, pavimentos e fachadas, em edificações antigas (A), modernas (B) e exteriores (C) (Fotos: Maria Heloisa Frascá).



Os materiais de construção usualmente destinados para revestimentos são as rochas, a cerâmica e os vidros.

Relativamente às rochas, um diferencial frequentemente apontado é que por se tratar de um material natural, suas características são desconhecidas ou de difícil determinação/entendimento.

Mas, de fato, por se tratar de material natural, seu diferencial está em oferecer uma enorme gama de texturas, padronagens e cores exclusivas, para serem selecionadas e utilizadas nas mais diversificadas maneiras. E, da mesma forma que os outros materiais de construção, suas características também podem ser previamente determinadas e conhecidas

para serem devidamente fornecidas aos consumidores (sejam os marmoristas, os arquitetos, os construtores ou o público em geral), juntamente com a rocha escolhida.

E, além do uso em revestimentos, as rochas são também amplamente utilizadas em tampos de pias de cozinhas, lavatórios, mesas, balcões e muitos outros, sem contar em estatuária e arte funerária (muito usada até o século passado, aqui no Brasil, e ainda muito importante internacionalmente).



Exemplos do uso da rocha em bancada e revestimentos de banheiro (A) e em estatuária (B)
(Fotos: Maria Heloisa Frascá).

IMPORTANTE: como os outros materiais de construção, as rochas têm características próprias, cuja determinação e conhecimento são fundamentais para sua especificação e correta utilização.

Principais grupos de rochas para revestimento x características típicas (também chamadas de propriedades)

A variedade de padrões exibida pelas rochas é decorrente do seu modo de formação, de seus componentes minerais (tipo, tamanho e distribuição), das suas inter-relações com outros corpos rochosos e das alterações, deformações e outras modificações resultantes dos processos de geológicos a que são submetidas.

Mas este é um assunto para especialistas, da mesma forma que a fabricação dos produtos cerâmicos ou de vidros.

O importante é que os materiais de construção têm características próprias, cujo conhecimento é muito importante para sua especificação e correta utilização.

De acordo com o modo de formação e suas características típicas, as rochas para revestimento podem ser discriminadas em quatro grandes grupos:

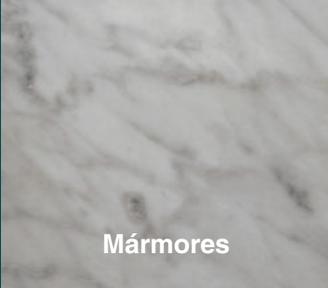
GRANITOS - envolve as rochas silicáticas que, no caso do setor de rochas ornamentais, incluem os granitos propriamente ditos, os gnaisses (genericamente representando as rochas movimentadas) e os pegmatitos (rochas exóticas);

MÁRMORES - compreende as rochas carbonáticas (compostas por carbonatos), ou seja, mármore, calcários e travertinos;

QUARTZITOS - inclui as rochas silicosas, de composição essencialmente quartzosa, como os quartzitos, arenitos e outras;

ARDÓSIAS - compreende rochas foliadas de granulação fina, que podem ser delaminadas em superfícies planas e notavelmente lisas.

Principais grupos de rochas ornamentais usadas em revestimento		
GRUPO DE ROCHAS	PRINCIPAIS COMPONENTES MINERAIS	ASPECTOS RELEVANTES
GRANITOS	Quartzo, feldspatos, micas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Grupo de rochas mais abundantes no Brasil. ✓ Grande variedade de usos e acabamentos. ✓ Resistentes ao desgaste abrasivo.
		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Presença de estruturação pode indicar características variáveis, conforme o corte da chapa.

GRUPO DE ROCHAS		PRINCIPAIS COMPONENTES MINERAIS	ASPECTOS RELEVANTES
MÁRMORES	 Mármore	Calcita e/ou dolomita	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cores usualmente claras com tonalidades pastéis: muito utilizados em interiores. ✓ Menor resistência ao desgaste abrasivo e ao ataque químico, relativamente aos outros tipos de rochas.
	 Calcários		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Também conhecidos como limestones. ✓ Neste grupo se inclui o travertino, variedade de calcário com estrutura vacuolar (presença de cavidades).
QUARTZITOS	 Quartzitos	Quartzo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bastante resistentes ao desgaste abrasivo e ao ataque químico. ✓ Adequados para pisos e pavimentos de exteriores, de alto tráfego e áreas molhadas (quando utilizado com acabamento rústico).
	 Arenitos		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rochas também compostas de quartzo, mas em grãos não tão coesos como nos quartzitos. ✓ Resistência mecânica relativamente mais baixa.
ARDÓSIAS		Quartzo e micas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Muito usadas no revestimento de pisos e pavimentos. ✓ Exportadas para países de clima frio para serem usadas como telhas, por suportar o peso da neve e por proporcionar isolamento térmico.

(Fotos: Maria Heloisa Frascá).

Notas sobre os principais minerais formadores de rochas ornamentais:

QUARTZO: quimicamente é considerado sílica (SiO_2) e não é atacado pela maior parte dos produtos químicos; apresenta dureza 7 na Escala Mohs (sua dureza, ou resistência ao riscamento é considerada alta, uma vez que essa escala varia de 1 a 10); não possui clivagem (ou seja, não apresenta planos preferenciais de quebra e, por isso, resiste a impactos fortes).

FELDSPATO: quimicamente pertence à classe dos silicatos, sendo atacado apenas por ácidos fortes; apresenta dureza 6 na escala de Mohs (também considerada alta); possui dois planos de clivagem (ou seja, pode se quebrar em duas direções preferenciais e, por isso, resiste a impactos moderados).

CALCITA E/OU DOLOMITA: são minerais carbonáticos (a calcita é carbonato de cálcio e a dolomita, carbonato de cálcio e magnésio), facilmente atacados por produtos químicos, sobretudo os de natureza ácida; suas durezas Mohs variam entre 3 e 4 (consideradas baixas); possuem três planos de clivagem e, por isso, não resistem a impactos moderados e fortes.

MICAS: são minerais silicáticos e possuem moderada resistência ao ataque químico; sua dureza Mohs varia entre 1 e 2 (considerada muito baixa); possuem um provável plano de clivagem, característica que as torna facilmente separáveis em placas ou folhas. Muito comuns em ardósias, granitos e quartzitos foliados, são menos abundantes nos arenitos e quartzitos maciços, e principalmente ausentes nos mármore e calcários.



CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA: O QUE É E COMO SE FAZ

A caracterização tecnológica, ou seja, a determinação das propriedades das rochas, é realizada por meio de ensaios e análises padronizados (normalizados), usualmente designados petrográficos, físicos e mecânicos, realizados em laboratórios especializados.

Os parâmetros tecnológicos servem para definir os usos mais apropriados da rocha, sendo também utilizados na elaboração de projetos arquitetônicos.

IMPORTANTE: o entendimento e o uso correto das informações tecnológicas, além de ampliarem as possibilidades de escolha, propiciam maior segurança na seleção e especificação de rochas para os diferentes projetos de revestimento.

Ensaaios x normas

A padronização dos ensaios e análises, que é a função básica da normalização, tem como finalidade principal possibilitar a obtenção de dados confiáveis, de modo a permitir a comparação entre os diferentes materiais rochosos, independente do laboratório que venha a realizar os ensaios.

As normas são elaboradas por comissões técnicas ligadas a entidades normalizadoras: ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), no Brasil; ASTM (American Society for Testing and Materials), nos Estados Unidos; e o CEN (European Committee for Standardization), nos países da União Europeia.

Importância da amostragem e da escolha do laboratório

Para a realização da caracterização tecnológica propriamente dita, é fundamental a correta escolha do material e sua amostragem, para que a rocha ensaiada seja totalmente representativa dos produtos comercializados.

O material enviado ao laboratório pode ser a “rocha bruta” – tradicionalmente dois cubos, informalmente denominado *bloquetes*, com dimensões entre 30 cm e 35 cm, livre de fraturas ou quebras – ou corpos de prova devidamente preparados de acordo com as normas a serem seguidas, todos devidamente identificados. Placas de rochas já beneficiadas e processadas também constituem amostras, quando o ensaio assim o exigir.

Os ensaios são realizados em corpos de prova, com dimensões especificadas nas próprias normas, com o uso de equipamentos e instrumentos específicos, que devem estar calibrados e em bom estado de funcionamento.

IMPORTANTE: o rigoroso atendimento às orientações das normas, no tocante à preparação de corpos de prova e, é claro, na realização dos ensaios propriamente ditos, é essencial para a obtenção de resultados corretos e confiáveis. Por isso recomenda-se verificar e, se possível, exigir relatórios procedentes de laboratórios certificados ou acreditados, para assegurar o cumprimento às normas e a utilização de equipamentos em bom funcionamento e calibrados.

Propriedades fundamentais: funções e normas utilizadas

Dentre as várias propriedades que são determinadas em ensaios laboratoriais, destacam-se aquelas fundamentais para a caracterização tecnológica da rocha (e as normas utilizadas para sua determinação).

Constituem basicamente dois grupos: propriedades físicas (quando se referem a características relativas aos tipos de minerais componentes, fissuração, etc.) e mecânicas (características que se referem à capacidade de suportar cargas).

Relação das normas essenciais para a caracterização tecnológica básica de rochas ornamentais			
ENSAIOS LABORATORIAIS		NORMAS DE ENSAIOS	
		BRASILEIROS	CORRELATAS INTERNACIONAIS ⁽²⁾
PROPRIEDADE FÍSICAS	Análise petrográfica	ABNT NBR 15845-1	EN 12407 ASTM C1721
	Densidade, porosidade e absorção de água	ABNT NBR 15845-2	ASTM C97 EN 1936 EN 13755 ASTM C121 ⁽¹⁾
	Dilatação térmica linear	ABNT NBR 15845-3	EN 14581
	Impacto de corpo duro	ABNT NBR 15845-8	EN 14158
	Desgaste abrasivo	ABNT NBR 12042	EN 14157
PROPRIEDADES MECÂNICAS	Compressão uniaxial	ABNT NBR 15845-5	ASTM C170 EN 1926
	Módulo de ruptura (Flexão três pontos)	ABNT NBR 15845-6	ASTM C99 EN 12372
	Flexão (Flexão quatro pontos)	ABNT NBR 15845-7	ASTM C880 ASTM C120 ⁽¹⁾ EN 13161

Notas: ⁽¹⁾ Normas específicas para ardósias. ⁽²⁾ Todas as normas apresentadas são correlatas às brasileiras, ou seja, como os procedimentos de ensaio são bastante semelhantes, independente da norma adotada, os valores podem ser comparáveis entre si.

Algumas dicas relativas aos ensaios de resistência mecânica:

a. São realizados em corpos de prova na condição seca (após secagem em estufa) e na condição saturada (após imersão em água por tempos predeterminados), pois a presença da água na rocha provoca redução da resistência mecânica.

Recomendação: conhecer e utilizar os valores obtidos na condição saturada ao se usar a rocha em ambientes externos.

b. Se a rocha exibir estruturação¹, convencionou-se, nos ensaios laboratoriais, a determinação da resistência mecânica segundo os planos que representariam os maiores e menores valores, quais sejam ortogonal e paralelamente à direção da estruturação principal.

Recomendação: utilizar os menores valores na elaboração de projetos de revestimento, ampliando a segurança da obra.

c. Relativamente à granulação: rochas com granulação mais fina são usualmente mais resistentes que aquelas de granulação mais grossa, pois cristais com grandes dimensões tornam-se pontos de fraqueza (sujeitos à ruptura).

Ensaio requerido x usos pretendidos

O conjunto de ensaios e análises, anteriormente descrito, foi concebido e desenvolvido visando representar as solicitações às quais a maioria das rochas de revestimento estará submetida, conforme a situação de uso.

Assim, os ensaios (ou as propriedades) a serem enfocados para a escolha das rochas variam conforme a situação de uso, no revestimento de edifícios e residências.

¹ Estruturação: corresponde à orientação preferencial dos minerais, decorrente das deformações tectônicas, em rochas metamórficas, ou ao arranjo original (acamamento), em rochas sedimentares. Esta feição confere anisotropia à rocha, entendida como a variação espacial das propriedades mecânicas, conforme o plano considerado.

Ensaio requeridos e propriedades enfocadas conforme o uso pretendido (Frasca 2017, modificado)

ENSAIO/ PROPRIEDADE	USO PRETENDIDO					
	PISO		PAREDE		FACHADA	TAMPOS ^(a)
	EXT.	INT.	EXT.	INT.		
Análise petrográfica (Tipo de rocha)	X	X	X	X	X	X
Densidade e absorção	X	X	X	X	X	X
Dilatação térmica	X	—	X	—	X	—
Impacto	X	X	X	X	X	—
Desgaste abrasivo ^(b)	X	X	—	—	—	—
Compressão	—	—	X	X	X	—
Módulo de ruptura	X	X	—	—	—	X
Flexão	—	—	—	—	X	—

Abreviações: EXT. = exteriores; INT. = interiores.

Notas: X = obrigatória; - = opcional.

(a) especialmente pias de cozinha.

(b) tráfego de pedestres e de veículos.



ENSAIOS

ESSENCIAIS PARA A

CARACTERIZAÇÃO

TECNOLÓGICA

Análise petrográfica

A análise petrográfica consiste na observação de seções delgadas da rocha (com espessura de 30 µm), em microscópio óptico de luz transmitida.

Trata-se da única técnica que permite observar como realmente é a rocha: os minerais constituintes, seu tamanho e distribuição, e outros aspectos importantes para a aplicação e manutenção, como presença de alterações, fissuras etc.

Por meio da análise petrográfica, formalmente se estabelece a classificação da rocha.

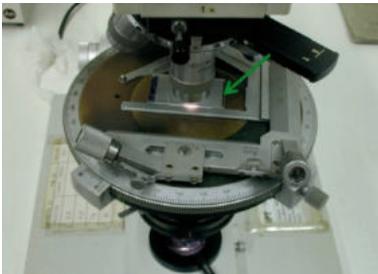
Compreende a descrição de aspectos visuais, destacadamente cor e estrutura.

COR: é importante ressaltar que a cor não é característica de um tipo de rocha, mas variável conforme os minerais constituintes e impurezas presentes;

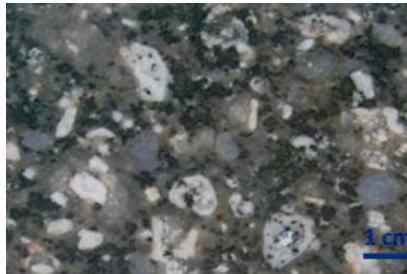
ESTRUTURAÇÃO: característica muito relevante, pois tem correlação direta com a resistência mecânica da rocha.

Compreende ainda a descrição dos aspectos microscópicos que possam influenciar o comportamento e a durabilidade, sob as condições de uso a que será submetida.

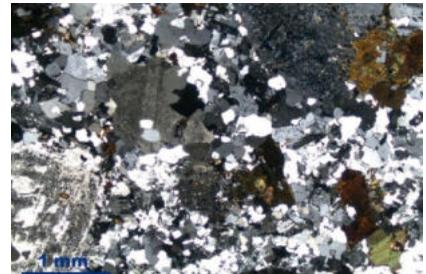
- ▶ Componentes minerais: quantidade relativa, distribuição e inter-relações;
- ▶ Tamanho dos minerais (granulação);
- ▶ Presença de alterações;
- ▶ Presença e padrão de microfissuramento.



Lâmina delgada (fina fatia da rocha colada em lâmina de vidro - seta) observada em microscópio petrográfico (Foto obtida no IPT).



Amostra de rocha granítica (Foto: Maria Heloisa Frascá).



Mesma rocha, vista ao microscópio (Foto: Maria Heloisa Frascá).

Nota: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Densidade, absorção de água, porosidade aparente (comumente designadas de índices físicos)

A densidade retrata o peso da rocha, importante parâmetro para o cálculo de cargas em construções, o dimensionamento de embalagens, os custos e meios de transporte, entre outras aplicações.

A absorção é a relação entre a massa seca e o volume de água absorvido pela rocha. É um parâmetro importante, pois é o único parâmetro facilmente disponível, indicativo da capacidade de assimilação ou incorporação de água pela rocha, cuja presença ou contato prolongado com a rocha pode levar à sua deterioração.

Procedimento de ensaio: pelo menos 10 corpos de prova, de formato cúbico com cerca de 7 cm de arestas, são secos em estufa e posteriormente pesados em balança hidrostática, obtendo-se o peso seco (A). Posteriormente, os mesmos corpos de prova são saturados em água e novamente pesados, obtendo-se o peso saturado e o peso submerso (B). A relação entre estes permite o cálculo da densidade aparente (expressa em kg/m^3), da porosidade aparente (em %) e da absorção de água (em %).



A (A) Determinação de peso seco (Foto obtida no IPT).



B (B) Determinação de peso submerso (Foto obtida no IPT).

Dilatação térmica

Os materiais rochosos dilatam-se quando se aquecem e contraem-se ao esfriarem, implicando variações nas dimensões e no volume.

Para o conhecimento destes parâmetros para uma rocha que será empregada no revestimento de exteriores, são realizados ensaios para a determinação do coeficiente de dilatação térmica linear, que consistem em submeter a rocha a variações de temperatura em um intervalo entre 0°C e 50°C .

O ensaio é realizado em 2 corpos de prova de formato cilíndrico (cerca de 3 cm de base e 7,5 cm de altura), em equipamento específico, denominado dilatômetro, e os resultados são expressos em 10^{-3} mm/m x °C (ou seja, quantos milímetros a rocha se dilata a cada metro, em função da temperatura, em graus Celsius).

Os valores obtidos são utilizados para o dimensionamento do espaçamento das juntas em revestimentos de pisos, paredes e fachadas. Quando estes não são adequadamente considerados, pode ocorrer tensionamento das placas e, ao longo do tempo, fissuramentos e até quebra das placas, com risco de queda do material.



Equipamento para medição da dilatação térmica linear (Foto: Eleno de Paula Rodrigues).

Desgaste abrasivo

O desgaste abrasivo por atrito, devido ao tráfego de pessoas ou veículos, é importante parâmetro para a seleção de rochas aplicadas no revestimento de pisos. Essa propriedade está diretamente relacionada à composição mineral da rocha e à proporção, tamanho e disposição espacial dos minerais.

Sua determinação é objeto de várias normas distintas, conforme a entidade normalizadora, de forma que os resultados nem sempre são comparáveis entre si.

No Brasil, adota-se a determinação de desgaste por meio do tribômetro Amsler, que consiste na medição da redução de espessura (mm) que corpos de prova, com cerca de 10 cm de arestas, apresentam após um percurso abrasivo de 500 m e de 1.000 m, com o uso de areia essencialmente quartzosa como abrasivo. Este ensaio procura simular, em laboratório, a solicitação por atrito devida ao tráfego de pessoas ou veículos.

IMPORTANTE: rochas com menores valores de desgaste são as mais indicadas para pisos em áreas de alto tráfego. Porém, em caso de paginação em pisos, é também muito importante não se utilizar rochas com resistências ao desgaste muito diferentes.



Tribômetro Amsler
(Foto: Maria Heloisa Frascá).

Impacto de corpo duro

A queda acidental de objetos pode causar trincamentos, arrancamentos, perfurações ou mesmo a ruptura de placas de rochas aplicadas em pisos e tampos. A determinação da resistência ao impacto é um indicativo da tenacidade da rocha.

O ensaio é feito em 5 corpos de prova (preferencialmente preparados a partir das placas de rocha a serem usadas), com 20 cm x 20 cm x 2 cm (ou espessura de uso), por meio da determinação da altura de queda (m) de uma esfera de aço (de 1 kg), que provoca o fraturamento e quebra destes corpos de prova.



Equipamento montado de acordo com a orientação da norma ABNT NBR 15845-8, próprio para ensaio de resistência ao impacto (Foto obtida no IPT).



Corpo de prova quebrado após a execução do ensaio (Foto obtida no IPT).

Compressão

A resistência à compressão é a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços compressivos. Sua determinação tem a finalidade de fornecer parâmetros para o dimensionamento do material, quando utilizado como elemento estrutural, ou seja, com a finalidade de suportar cargas.

Indiretamente, o valor da resistência à compressão fornece informações acerca da integridade física da rocha, pois valores diferentes, especialmente menores do que os caracteristicamente obtidos para o tipo rochoso em questão, sugerem a necessidade de investigações adicionais para entendimento desta ocorrência.

O ensaio é realizado em corpos de prova cúbicos, com cerca de 7 cm de arestas, nas condições seca e saturada em água, sendo em número de 10 para rochas homogêneas e 20 para rochas estruturadas. O equipamento utilizado é uma prensa hidráulica, com capacidade mínima de 1000 kN, e o resultado é expresso em MPa.



Prensa hidráulica com corpo de prova cúbico, antes do ensaio (Foto obtida no IPT).



Corpo de prova rompido após a execução do ensaio (Foto obtida no IPT).

Módulo de ruptura (ou flexão três pontos)

As solicitações de flexão de rochas empregadas em edificações (por cargas ou outros esforços) ocorrem principalmente quando são utilizadas como telhas (ardósias), pisos elevados, degraus de escadas, tampos de pias e balcões.

O módulo de ruptura (ou flexão por carregamento em três pontos) é determinado pela tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores, e é utilizado, entre outros, para cálculo da espessura das placas de rochas utilizadas nessas situações.



Ilustração de montagem de piso elevado, com placas de rocha (Foto: Eleno de Paula Rodrigues).

O ensaio é realizado em corpos de prova retangulares, medindo cerca de 5 cm (espessura) x 10 cm (largura) x 22 cm (comprimento), nas condições seca e saturada em água, sendo em número de 10 para rochas homogêneas e 20 para rochas estruturadas. O equipamento utilizado é uma prensa hidráulica com capacidade mínima de 100 kN; e o resultado é expresso em MPa.



Corpo de prova retangular posicionado em prensa hidráulica, antes do ensaio. Notar que o corpo de prova está apoiado em dois cutelos e que a força é aplicada com um cutelo, por isso também designado de flexão três pontos (Foto obtida no IPT).



Corpo de prova rompido após a execução do ensaio (Foto obtida no IPT).

Flexão (ou flexão quatro pontos)

O ensaio de flexão (ou flexão por carregamento em quatro pontos) simula os esforços flexores em placas de rocha, com espessura predeterminada, no caso, simulando efeito do vento em placas de rocha fixadas em fachadas com ancoragens metálicas (fachadas aeradas).

Por isso o ensaio de flexão é obrigatório em rochas destinadas a esse fim, devendo ser realizado preferencialmente em amostras com as mesmas características (tamanho, espessura e acabamento) daquelas que serão utilizadas na obra.

O ensaio é realizado em corpos de prova retangulares, medindo cerca de 3 cm (espessura) x 10 cm (largura) x 40 cm (comprimento), nas condições seca e saturada em água, sendo em número de 10 para rochas homogêneas e 20 para rochas estruturadas. O equipamento utilizado é uma prensa hidráulica com capacidade mínima de 10 kN; e o resultado é expresso em MPa.



Corpo de prova posicionado em prensa hidráulica, antes do ensaio. Notar que o corpo de prova está apoiado em dois cutelos e que a força é também aplicada com dois cutelos, por isso também designado de flexão quatro pontos (Foto obtida no IPT).



Corpo de prova rompido após a execução do ensaio (Foto obtida no IPT).



OUTROS ENSAIOS

Além dos ensaios já relacionados, considerados essenciais para o conhecimento da rocha a ser utilizada, existem vários outros que tratam da determinação de características específicas. Dentre estes, são destacados dois que tratam de aspectos importantes para o uso das rochas em pisos.

Resistência ao escorregamento

A resistência ao escorregamento não é uma característica intrínseca do material, nem é constante em todas as condições de utilização, pois depende de fatores como o tipo de acabamento da rocha, o tipo de solado de quem caminha sobre o piso, se a superfície da rocha está seca ou molhada, se o piso é horizontal ou inclinado e muitos outros.

No entanto, é importante conhecer este parâmetro, pois ele é indicativo da segurança do usuário ao caminhar pela superfície.

As rochas com acabamento rústico (levigado, apicoado, flameado, escovado e outros) tendem a ter uma maior resistência ao escorregamento que aquelas com acabamento polido. Porém, alerta-se que quando mais áspera e rugosa é a superfície, maior a dificuldade de limpeza.

Apesar de ser uma característica ainda relativamente pouco conhecida, existem dois métodos de ensaio para sua determinação: o do pêndulo britânico (para rochas ornamentais) e o coeficiente de atrito dinâmico (elaborado para peças cerâmicas e adaptado para rochas ornamentais).

Método do pêndulo britânico

Neste ensaio, a resistência ao escorregamento é determinada em placas de rocha com superfície de uso, ou seja, no acabamento superficial em que vai ser utilizada, de acordo com os procedimentos da norma EN 14231:2003 (*Natural stone test methods. Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester*).

O equipamento utilizado é o denominado “pêndulo britânico”, e o ensaio é realizado em 6 corpos de prova, com dimensões aproximadas de 15 cm x 9 cm e espessura de uso (de aproximadamente 20 mm), nas condições seca e saturada em água. Em cada corpo de



“Pêndulo britânico”: equipamento utilizado para determinação da resistência ao escorregamento (Foto obtida no Cetem).

Nota: CETEM – Centro de Tecnologia Mineral do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC).

prova são realizadas duas determinações em direções opostas. O valor de resistência ao escorregamento (SRV) corresponde à média de todas as determinações.

Coeficiente de atrito dinâmico

O coeficiente de atrito dinâmico é considerado como um parâmetro para mensurar o índice de escorregamento, determinado por meio de um deslizador (deslizador motorizado do tipo “Tortus”), que se movimenta com velocidade constante sobre uma superfície horizontal, e segue as orientações da norma ABNT NBR 13818:1997 - Anexo N.

O ensaio é realizado em corpo de prova que consiste em uma pista de placas de rocha, com dimensões mínimas de 25 x 100 cm, nas condições seca e molhada com água.



Equipamento utilizado para determinação de coeficiente de atrito dinâmico (Foto: Eleno de Paula Rodrigues).

A norma estabelece a seguinte classificação, conforme os valores resultantes:

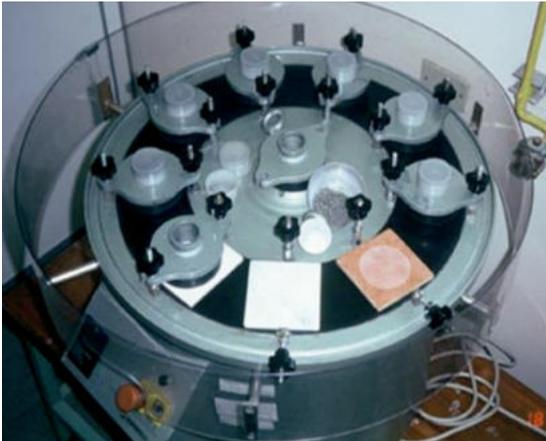
- ▶ Coeficiente de atrito $< 0,4$: uso satisfatório para instalações normais;
- ▶ Coeficiente de atrito $\geq 0,4$: recomendado para uso onde se requer resistência ao escorregamento (superfícies inclinadas ou com molhagem frequente).

Resistência à abrasão superficial

Este ensaio baseia-se na norma ABNT NBR 13818:1997 – Anexo D, que estabelece a resistência à abrasão superficial, comumente designada de PEI, em referência ao *Porcelain Enamel Institute*, instituto que regulamentou normas para placas cerâmicas esmaltadas, e que também pode ser utilizada para placas polidas de rochas.

O ensaio é realizado submetendo-se corpos de prova com 10 cm de arestas a desgaste em abrasímetro específico, por números de ciclos predeterminados (de 100 até mais que

12000). A classe de abrasão é fornecida pela verificação visual do desgaste, feita por comparação do corpo de prova ensaiado com corpos de prova de referência (não ensaiados), em caixa padrão de observação, a cada estágio estabelecido. É prevista a realização do ensaio de resistência ao manchamento (vide item específico, a seguir) para a classificação final do material ensaiado.



Equipamento para ensaio de resistência à abrasão superficial (PEI) (Foto: Eleno de Paula Rodrigues).



Caixa com iluminação controlada para avaliação de resultado do ensaio de resistência à abrasão superficial (Foto: Eleno de Paula Rodrigues).

Estágios de abrasão e respectivas classes (conforme ABNT NBR 13818:1997 – Anexo D).

ESTÁGIO DE ABRASÃO (CICLOS)	CLASSE DE ABRASÃO
100	0
150	1
600	2
750, 1500	3
2100, 6000, 12000	4
> 12000	5

Nota: caso não haja desgaste superficial a 12000 ciclos, mas as manchas não tenham sido removidas nos procedimentos especificados no ensaio de resistência ao manchamento, os pisos devem ser classificados como Grupo 4. A classe PEI 5 abrange simultaneamente a resistência à abrasão a 12000 ciclos e a resistência ao manchamento.

ENSAIOS ORIENTATIVOS PARA A LIMPEZA E MANUTENÇÃO

Estes são ensaios importantes por possibilitar o conhecimento de possíveis modificações estéticas na superfície da rocha, quando submetidas ao contato com produtos de limpeza ou de uso rotineiro, na culinária, escritório e outros.

Os resultados objetivam orientar a correta limpeza e manutenção da rocha e sempre que possível devem constar das informações sobre “cuidados e manutenção” fornecidas aos consumidores.

Resistência ao ataque químico

Com o intuito de verificar a possível modificação cromática e/ou alteração da superfície das rochas, quando em contato produtos de limpeza.

Este ensaio é estabelecido pela norma ABNT NBR 16596:2017 e consiste em deixar a superfície polida da rocha em contato, por tempos predeterminados, com alguns reagentes comumente utilizados em produtos de limpeza de uso doméstico.

Reagentes e tempos de exposição utilizados para o ensaio de determinação da resistência ao ataque químico

REAGENTES	CLASSES DOS REAGENTES	EXEMPLOS DE PRODUTOS	CONCENTRAÇÕES	TEMPO DE CONTATO (h)
Cloreto de amônio	Produtos químicos domésticos	Produtos de limpeza	100 g/L	24
Hipoclorito de sódio	Produtos para tratamento de água de piscina	E também desinfetantes, alvejantes, água sanitária	20 g/L	24
Ácido cítrico	Ácidos e álcalis de alta e baixa concentração	Frutas cítricas (sobretudo o limão)	100 g/L	24
Ácido láctico		Cervejas, refrigerantes, iogurtes, sorvetes	5% v/v	24
Ácido acético		Vinagre	3% v/v	24
Ácido clorídrico		Produtos de limpeza (também conhecido como ácido muriático)	3% v/v e 18% v/v	96
Hidróxido de potássio		Alguns tipos de sabões	30 g/L e 100 g/L	96
Água deionizada	Referência	—	—	96

As eventuais alterações decorrentes do ataque químico são avaliadas visualmente, anotando-se os seguintes aspectos:

- ▶ Variação de cor (observada ou não observada);
- ▶ Dissolução (não observada, fraca, moderada ou intensa);
- ▶ Desprendimento mineral (não observado, fraco, moderado ou intenso).

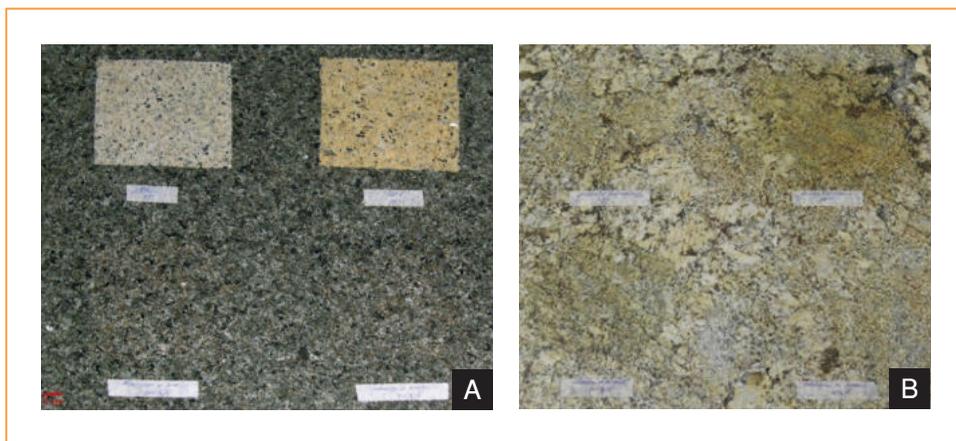


Ilustração de ensaio de resistência ao ataque químico e de seus efeitos em rochas de coloração escura (A) e coloração clara (B). **Nota:** porção superior das imagens mostra efeitos de contato com ácidos e porção inferior, com reagentes alcalinos (Fotos: Maria Heloisa Frascá).

Resistência ao manchamento

O ensaio de resistência ao manchamento objetiva verificar, sob o ponto de vista estético, a ação deletéria de agentes manchantes selecionados, quando acidentalmente em contato com a rocha. Objetiva, dessa forma, à orientação do uso e manutenção da rocha, como tampos de pias ou de mesas e no revestimento de áreas, como cozinhas e escritórios.

O ensaio baseia-se na norma ABNT NBR 13818:1997 – anexo G, modificada para atender às rochas ornamentais.

Os agentes manchantes representam produtos de uso cotidiano doméstico e/ou comercial, agrupados em culinários e não culinários, que são aplicados individualmente sobre a superfície de placas polidas, numa área de formato circular, com cerca de 2 cm de diâmetro. O tempo de contato com a rocha é de 24h.

Produtos culinários e não culinários utilizados como reagentes no ensaio de resistência ao manchamento

CULINÁRIOS	NÃO CULINÁRIOS
café	Massa para vidro
refrigerante	Óleo lubrificante automotivo
ketchup	Solução alcoólica de iodo (13 g/L)
maionese	Óxido de cromo em óleo leve (Edenor)
mostarda	Óxido de ferro em óleo leve (Edenor)
óleo de cozinha	Tinta de caneta esferográfica
vinagre	Tinta hidrográfica
vinho tinto	



Ilustração de ensaio de resistência ao manchamento (Foto: Eleno de Paula Rodrigues).

Após esse período, realizam-se procedimentos consecutivos de limpeza, com o intuito de remover os agentes utilizados e verificar eventuais manchamentos, em 4 etapas, com 2 minutos de duração cada, executadas manualmente com uma esponja macia.

Conforme a etapa em que o produto, ou a mancha decorrente do contato, é removido, é estabelecida a classe de limpeza do material, que varia de 1 (menor limpabilidade, ou seja, não há remoção da mancha após a lavagem 4) a 5 (maior limpabilidade).

Etapas de lavagem e classes de limpeza

LAVAGEM	PROCEDIMENTO DE LAVAGEM	CLASSE DE LIMPEZA
Lavagem 1	Água quente.	5
Lavagem 2	Água corrente e produto de limpeza fraco (detergente doméstico).	4
Lavagem 3	Água corrente e produto de limpeza forte.	3
Lavagem 4	Persistindo a mancha, aplicar hidróxido de potássio (200 g/L) sobre ela e deixar por 18 horas, seguido de lavagem em água corrente.	2
—	Não há remoção da mancha.	1

GRUPOS DE ROCHAS x RESULTADOS ESPERADOS

A caracterização tecnológica de cada tipo de rocha destinada ao uso como material de construção é fundamental para a sua correta escolha e aplicação, pois os resultados são próprios para cada rocha e muito variáveis em função das características intrínsecas de cada uma delas (mineralogia, arranjo e orientação dos minerais, granulação, grau de alteração e deformação, entre outros).

No entanto, os grupos de rochas têm características similares, de forma que simplificada, é possível um quadro comparativo, quando são comparados aos granitos “verdadeiros”, aqui considerando um granito típico como o “Verme-lho Capão Bonito” ou o “Cinza Andorinha”.

Para complementar, também se adicionam outros materiais graníticos comuns no mercado como os gnaisses e migmatitos (conhecidos como rochas movimentadas), os “granitos amarelos”, como o “Branco Siena” e os “granitos pretos”, como o “Preto São Gabriel”.

Sumário das diferentes propriedades e resultados esperados em comparação aos granitos típicos

GRUPO DE ROCHA	DENSIDADE (PESO)	ABSORÇÃO DE ÁGUA	RESISTÊNCIA AO DESGASTE	RESISTÊNCIA MECÂNICA ⁽¹⁾
Mármore e calcários	=	<	<<	= a <
Calcários	< a <<	>	<<	< a <<
Quartzitos	<	>	≥	≥
Arenitos	<< a <<<	>> a >>>	= a <	<< a <<<
Ardósias	<	=	<	> ⁽²⁾
“Granitos amarelos”	= a <	>	<	< a <<
“Granitos pretos”	>	=	<	=
“Rochas movimentadas”	=	=	=	< ⁽³⁾

Notas: ⁽¹⁾ resistências à compressão e flexão. ⁽²⁾ considera-se somente o módulo de ruptura.

⁽³⁾ propriedades determinadas segundo o plano de orientação da rocha (de menor resistência mecânica).

Visando à avaliação do material em foco para a aplicação em determinada função, ou seja, visando auxiliar o entendimento dos valores das diferentes propriedades da rocha, a ABNT e a ASTM, baseadas no tratamento estatístico de rochas ensaiadas ao longo de várias décadas e no desempenho histórico destas, estabeleceram valores típicos para algumas propriedades, também designados especificações, para os vários grupos de rochas.

IMPORTANTE: especificações são valores mínimos ou máximos para determinada propriedade, em função do tipo de rocha. Não são indicações de qualidade, mas sim, das opções de uso mais adequadas, ou da necessidade de eventuais detalhamentos técnicos para as rochas cujos valores sejam muito diferentes dos valores especificados.

EXEMPLOS: 1. Se uma rocha granítica apresentar um valor de absorção de água de 0,6%, significa que tem uma absorção relativamente maior que a normalmente esperada, o que indica que seria mais adequado ser usada em áreas secas. **2.** Se um mármore exibir um módulo de ruptura <7 MPa, é um indicativo que a espessura deverá ser cuidadosamente calculada, caso seja utilizado em pisos.

Especificações para granitos – ABNT e ASTM (Frasca 2013, atualizado)

PROPRIEDADE	NORMA	
	ABNT NBR 15844	ASTM C 615
Densidade aparente (kg/m ³)	> 2550	≥ 2560
Porosidade aparente (%)	1,0	n.e.
Absorção de água (%)	< 0,4	≤ 0,40
Compressão uniaxial (MPa)	> 100	≥ 131
Módulo de ruptura (MPa)	> 10,0	≥ 10,3
Flexão (MPa)	> 8,0	≥ 8,3
Coefficiente de dilatação térmica linear [10 ⁻³ mm/ (m x °C)]	< 8,0	n.e.
Impacto de corpo duro (m / J)	> 0,3 / > 3	n.e.
Desgaste Amsler (mm/1000 m)	< 1,0	n.e.

Notas: n.e. = não especificado; J = Joules.

Especificações da ASTM para mármore, calcários, travertinos, arenitos, quartzitos e ardósias (Frasca 2013, atualizado).

TIPO DE ROCHA	USO	PROPRIEDADE					NORMA REFERÊNCIA
		DENS. (kg/m ³)	ABS. (%)	COMP. (MPa)	MR (MPa)	FLEX. (MPa)	
Calcita Mármore	Exterior	≥ 2600	≤ 0,20	≥ 52	≥ 6,9	≥ 6,9	ASTM C 503
Dolomita Mármore		≥ 2800					
Calcário	I - Baixa densidade	≥ 1760	≤ 12	≥ 12	≥ 2,8	n.e.	ASTM C 568
	II - Média densidade	≥ 2160	≤ 7,5	≥ 28	≥ 3,4	n.e.	
	III - Alta densidade	≥ 2560	≤ 3	≥ 55	≥ 6,9	n.e.	
Travertino	I - Exterior	≥ 2300	≤ 2,5	≥ 52	n.e.	≥ 3,4	ASTM C 1527
	II - Interior			≥ 34			
Arenito "impuro"		≥ 2000	≤ 8	≥ 28	≥ 2,4	n.e.	ASTM C 616
Arenito quartzítico		≥ 2400	≤ 3	≥ 69	≥ 6,9	n.e.	
Quartzito		≥ 2560	≤ 1	≥ 140	≥ 13,8	n.e.	
Ardósia	I - Exterior	n.e.	≤ 0,25	n.e.	≥ 50 ⁽¹⁾ / ≥ 62 ⁽²⁾	n.e.	ASTM C 629
	II - Interior	n.e.	≤ 0,45	n.e.	≥ 38 ⁽¹⁾ / ≥ 50 ⁽²⁾	n.e.	

Abreviações: DENS. = densidade aparente (kg/m³); ABS. = absorção de água (%); COMP. = resistência à compressão uniaxial (MPa); MR = módulo de ruptura (MPa); FLEX. = resistência à flexão (MPa); n.e. = não especificado. **Notas:** ⁽¹⁾ determinação em direção concordante com a estruturação.

⁽²⁾ determinação em direção perpendicular à estruturação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15012/2013. Rochas para revestimento de edificações – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT. 2013.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. de P. Guia de aplicação de rochas em revestimentos. São Paulo: ABIROCHAS, 2009. 160 p.

FRASCÁ, M. H. B. O. Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas. In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (Eds.). Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. p. 43-98.

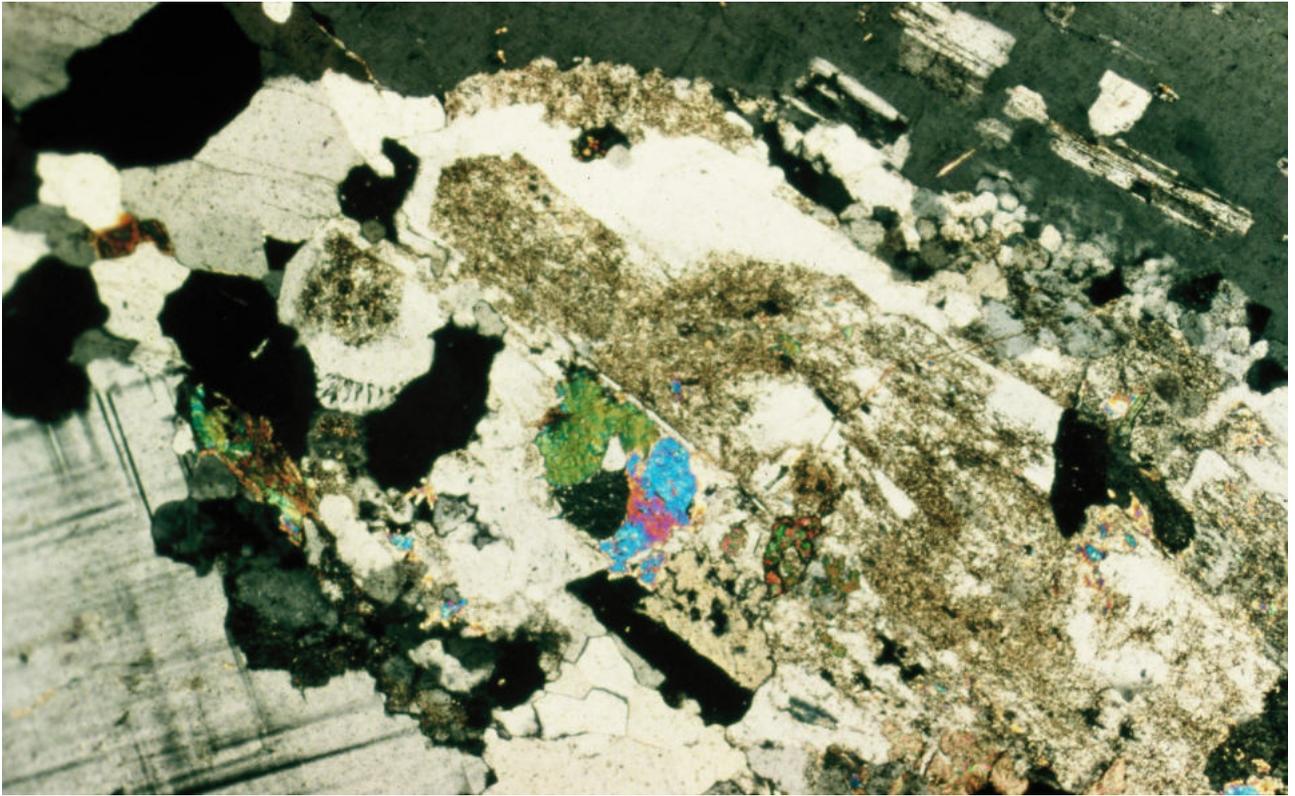
FRASCÁ, M.H.B.O. Rocha como material de construção. In: Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de Materiais. 3ª ed. São Paulo : IBRACON, 2017, v.1, p. 437-479. 2017

FRASCÁ, M. H. B. O.; PARAGUASSU, A. B. Caracterização de agregados e de materiais rochosos para construção. In: OLIVEIRA, A. M. S.; MONTICELI, J. J. (ed.). Geologia de engenharia e ambiental. São Paulo: ABGE, 2018. v. 2, p. 109-126.

FRASCÁ, M. H. B. O.; SARTORI, P. L. P. Minerais e rochas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; MONTICELI, J. J. (ed.). Geologia de engenharia e ambiental. São Paulo: ABGE, 2018. v. 2, p. 87-108.

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





Fotomicrografia de lâmina delgada de granito (Eleno de Paula Rodrigues).



Fotomicrografia de lâmina delgada de mármore (Eleno de Paula Rodrigues).

ABI ROCHAS
*Associação
Brasileira da
Indústria de
Rochas
Ornamentais*



**ACADEMIA
DAS ROCHAS**
Juntos pela qualidade.

CONFIRA A VERSÃO DIGITAL E MUITO MAIS EM:

www.academiadasrochas.com.br

 /ABIROCHAS  @ABIROCHAS  (61) 99840 6082

Contato: contatos@abirochas.com.br | (61) 3033 1478

www.abirochas.com.br

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-45530-04-6



9 788545 530046