



**Coordenação de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas - CATE**  
**Centro de Tecnologia Mineral - CETEM**  
**Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI**

**TIPOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS  
E CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS**

**Maria Heloísa B. O. Frascá**  
Geóloga, Dsc. MHB consultoria.

**Rio de Janeiro, junho de 2014**

**CCL-0016-00-14 CAPÍTULO DO LIVRO TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS:  
PESQUISA, LAVRA E BENEFICIAMENTO. Vidal, F.V.; Azevedo, H.C.A.; Castro, N. F. Rio de  
Janeiro: CETEM/MCTI. ISBN: 987-85– 8261-005-3. p 43 - 97**

# Capítulo 2

---

## **Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas**

## 1. Definições e características

Rochas são materiais naturais usados pelo homem desde os tempos mais remotos nas mais diferentes finalidades, dentre as quais destacadamente como material de construção, na qual a rocha inicialmente desempenhou principalmente função estrutural ou de alvenaria nos diversos tipos de edificações (Fig. 1).



(a) Igreja de São Justo e São Pastor, em Granada (Espanha).



(b) Duomo (Milão, Itália).



(c) Mosteiro dos Jerônimos (Lisboa, Portugal).



(d) Torre de Belém (Lisboa, Portugal).

**Figura 1-** Exemplos de construções e monumentos europeus em rocha. FOTOS: M.H.B.O. Frascá.

Com a ampliação das técnicas e da variedade de materiais de construção, ao longo do tempo, essas funções foram suplantadas pela de revestimento tanto de pisos e paredes como de fachadas, além de também constituírem elementos funcionais (tampos de pias e balcões) ou ornamentais (arte estatutária e funerária).

Este capítulo compreenderá a apresentação dos diferentes materiais rochosos utilizados no revestimento de edificações, suas propriedades distintivas e as finalidades e importância dos ensaios para sua caracterização, com ênfase na análise e interpretação destas características na sua seleção para os diferentes usos na construção civil.

## 1.1. Terminologia

A terminologia é uma questão ainda não resolvida no setor de rochas ornamentais e para revestimento, pois apesar de ser objeto de normalização pelas mais importantes entidades, com destaque para a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), CEN (*European Committee for Standardization*) e ASTM (*American Society for Testing and Materials*), é notável a ausência de uniformidade e consenso, como assinalado na Tabela 1 (ABNT, 2013; BSI, 2002; ASTM, 2012).

**Tabela 1-** Comparação das principais definições ligadas às rochas ornamentais. Elaboração da autora.

ABNT	ASTM	CEN
<b>Rocha ornamental</b>		
material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária	termo correspondente a <i>monumental stone</i> : rocha de qualidade adequada para ser lavrada e cortada como rocha dimensionada, tal qual existe na natureza e ser usada pela indústria de monumentos e memorial	não define
<b>Rocha para revestimento</b>		
rocha ornamental submetida a diferentes graus ou tipos de beneficiamento e utilizada no revestimento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas	termo correspondente a <i>building stone</i> : rocha natural, com qualidades necessárias para ser lavrada e cortada como rocha dimensionada, tal qual existe na natureza e ser usada na construção civil	termo também corresponde a <i>building stone</i> : rocha natural usada em construções e em monumentos
<b>Rocha dimensionada</b>		
não define	Termo correspondente a <i>dimension stone</i> : rocha natural que foi selecionada e beneficiada em tamanho e formas específicos	termo usado como sinônimo de bloco bruto ( <i>rough block</i> )

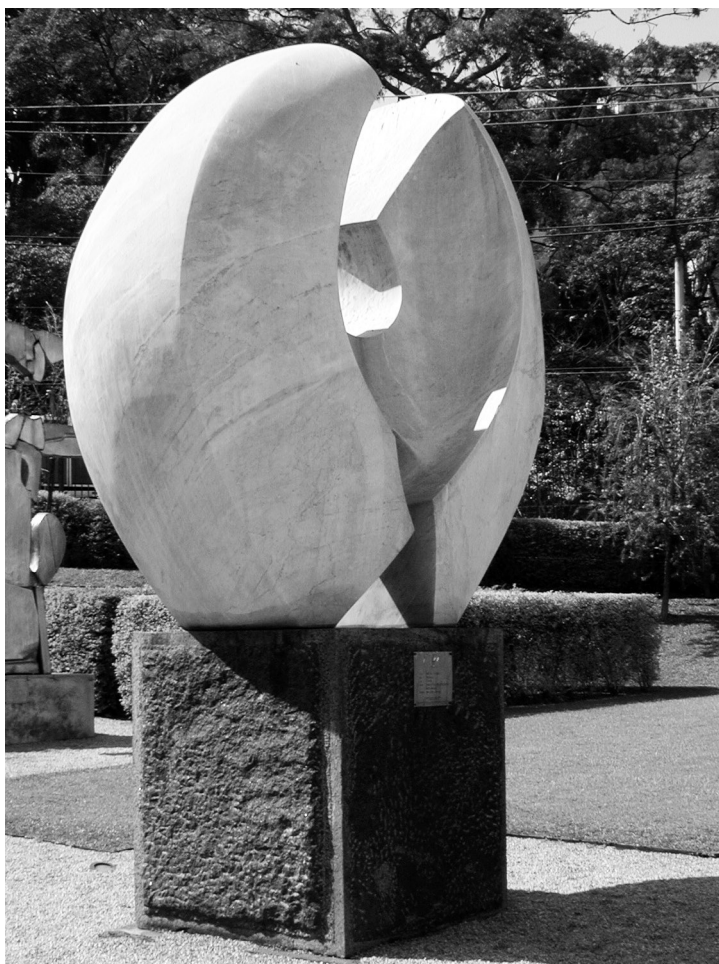


O CEN congrega os comitês de normalização, mas não publica as normas por eles elaboradas. Na tabela 1, acima, foi adotada a norma publicada pela BSI (*British Standards Institution*): BS EN 12670/2002: *Natural stone: terminology*.

A ABNT (2013) inclui no termo "cantaria" toda pedra aparelhada ou afeiçãoada, destinada a revestir edificações ou servir de elementos decorativos ou funcionais, com geometria e acabamento preestabelecido por um projeto.

A preocupação de esclarecer a nomenclatura desses materiais e também de torná-la mais aplicável à realidade brasileira levou Frascá (2010) a propor algumas definições, conforme relatado a seguir.

Sob a designação "rochas ornamentais" se incluíam todos os materiais rochosos aproveitados pela sua aparência estética para utilização em trabalhos artísticos, como estatuária (Fig. 2), como elemento decorativo (tampas, balcões e outros) e como materiais para construção.



**Figura 2** - Escultura em mármore Carrara – Tensão (Bruno Giorgi, 1970) – exposta nos jardins da FAAP (Faculdade Armando Álvares Penteado), em São Paulo, SP. Foto: M.H.B.O. Frascá.

O revestimento de edificações, seja em pisos, paredes ou fachadas, é a principal aplicação das rochas ornamentais na construção civil, para a qual são especificamente designadas de rochas para revestimento. Compreendem os produtos do desmonte de materiais rochosos em blocos, seu subsequente desdobramento em chapas, processamento e corte em placas e ladrilhos.

Referindo-se às rochas que também são usualmente utilizadas em revestimentos de interiores, geralmente exibindo estruturação muito heterogênea, baixas resistências mecânicas e produção limitada, Frasca (2010) indicou a denominação "rochas decorativas", que abrange parte das rochas comercialmente designadas de "exóticas" e que tipicamente apresentam aspecto estético diferenciado (Fig. 3) e ocorrência geológica relativamente rara, seja de natureza ígnea, metamórfica ou sedimentar.



**Figura 3** - Aspecto estético de rochas genericamente designadas "exóticas". Foto: M.H.B.O. Frasca.

## 1.2. Nomenclatura comercial

A designação comercial de rochas ornamentais não é objeto de regulação ou normalização. A fim de se estabelecer uma organização mínima, tradicionalmente orientava-se ao produtor designar seu material utilizando-se da cor, seguida pela localidade em que a rocha ocorria, como, por exemplo: Vermelho Capão Bonito, Branco Ceará, Branco Paraná, entre outras.

Com a enorme diversidade de tipos atualmente existentes no mercado, essa orientação tornou-se desatualizada; todavia é importante registrar que, apesar da preocupação em se criarem nomes exclusivos para cada tipo ou variedade de rocha existente, não é incomum encontrarem-se no mercado rochas diferentes com a mesma designação, nem rochas iguais com designações diferentes.

No contexto comercial, os diversos tipos de rochas e a grande variedade existente em cada um (como será abordado mais adiante), são, resumidamente, agrupadas em duas grandes categorias, mesmo que muitas vezes confundidas entre si:

- "Granitos": designação que engloba as rochas silicáticas (ígneas e metamórficas) independentemente da cor e da correta tipificação.

- “Mármore”: comercialmente abrangendo qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar (calcários) ou metamórfica (mármore propriamente ditos), passível de polimento.

Com a evolução do uso e das variedades de materiais pétreos e das tecnologias associadas, essas designações se ampliaram e agora também englobam “quartzitos”, “arenitos”, “calcários”, “travertinos” e “ardósias”, cada qual, como será visto, objeto de normalização e especificação próprias.

Muitos autores, como Mello *et al.* (2011) subdividem as rochas ornamentais em silicáticas (que abrangem os granitos, gnaisses e similares), silicosas (quartzitos, cherts e outros), carbonáticas (mármore, travertinos e calcários), ultramáficas (serpentinitos e pedra-sabão) e síltico-argilosas foliadas (ardósias), sendo que esta última poderia também se encaixar no grupo das silicáticas.

As “rochas exóticas”, já mencionadas, incluem representantes de todos os grupos rochosos.

### 1.3. Usos

Nos países europeus, as rochas têm longa história de uso e foram e ainda são muito empregadas como elementos estruturais em edificações, ou seja, constituem a alvenaria da construção (residências com um ou dois pavimentos) compondo paredes. Nesses casos, além das funções de revestimento, desempenham importante função de sustentação (ou *loading-bearing*), resistindo a cargas compressivas (Fig. 4).



**Figura 4** - Residências europeias construídas com alvenaria de pedra (granito) e com telhados revestidos de ardósias. Foto: M.H.B.O. Frascá.



No Brasil, as técnicas construtivas trazidas pelos colonizadores não empregavam a rocha entre os principais materiais de construção, de forma que o país não desenvolveu fortemente a denominada “cultura da rocha”.

Costa (2009), em um dos raros livros nacionais sobre o patrimônio em rochas: “Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas”, menciona que a utilização da pedra nas construções no Brasil remonta à primeira metade do século XVI. Complementa informando que “para a Capitania de Minas, as construções edificadas inteiramente em pedra são muito raras. Normalmente, estas construções dispensavam o uso de argamassa, ocorrendo uma justaposição de pedras maiores e menores”.

Nessa técnica construtiva, outrora bastante empregada em todo o país, a rocha é usada na sua forma natural, principalmente na construção de pontes e muros de arrimo (Fig. 5). Esse trabalho era realizado por artífices, com o uso de técnicas artesanais, das quais, infelizmente, praticamente inexistem registros.



**Figura 5** - Muro construído com pedras irregulares, hoje ligadas com argamassa. Foto: M.H.B.O. Frascá.

Como exemplo de rochas utilizadas na época colonial, Costa (*op.cit.*) cita o uso do Lioz, um calcário esbranquiçado encontrado nas proximidades de Lisboa (Pero Pinheiro e arredores), que nos séculos XVII, XVIII e XIX foi transportado para o Brasil como lastro em navios portugueses ou como atendimento a encomendas diversas de particulares, ordens religiosas e outros. Deixado nos cais de vários portos, como Belém, Recife, Salvador e Rio de Janeiro, era utilizado nos revestimentos de

passeios e na construção ou embelezamento de seus monumentos. Cita-se, para eventual aprofundamento, o belo relato de Silva (2007) sobre o uso do Lioz na arte baiana.

UNITAR (1988) aponta os fortes e muralhas de proteção como os primeiros trabalhos arquitetônicos no Brasil, que totalizariam cerca de 200, espalhados por todo território nacional e construídos a partir de 1553. Durante o período colonial, a rocha passaria a ser empregada como material de construção especialmente nas cidades mineiras como Ouro Preto, Tiradentes, Mariana e São João Del Rey, além de São Luiz (MA) e Olinda (PE).

O uso da pedra-sabão (esteatito) tanto em construções como na arte escultórica religiosa, especialmente em Minas Gerais, foi extensivo. Nessa época, a pedra também foi bastante empregada em pavimentação, nessas mesmas cidades, sendo digna de nota aquela da cidade de Parati (RJ).

Outra aplicação muito relevante até os tempos atuais é em arte funerária, tanto na cobertura de túmulos como na estatuária.

Frequentemente, a rocha era utilizada em fundações de edifícios ou na sua parte mais próxima ao solo (Fig. 6), a partir de onde se passava ao uso de alvenarias cerâmicas e outros.



**Figura 6** - Base em alvenaria de pedra talhada, com acabamento apicoado. Castelo Mourisco, Rio de Janeiro (RJ). Foto: M.H.B.O. Frascá.

Nas últimas décadas, concomitantemente ao declínio do uso da rocha nessas aplicações é crescente seu emprego como placas ou ladrilhos, destacadamente no revestimento de pisos e paredes de interiores e exteriores, e de fachadas (Figura 7), nos quais exerce funções estéticas e de proteção das estruturas, o que é estimulado pela enorme diversidade de rochas graníticas (mais de 250 tipos diferentes) e pelo desempenho do setor no contexto internacional.





(a) Edifício com fachada inteiramente revestida com placas de rocha polida.



(b) Fachada revestida com arenito.



(c) Pilares revestidos com placas de ladrilhos polidos de rocha granítica.



(d) Opera House, em Oslo (Noruega), revestida com mármore "Carrara".

**Figura 7** - Exemplos de aplicação de rochas no revestimento de edificações. Fotos: M.H.B.O. Frascá.



As rochas também são bastante consumidas na forma de peças acabadas e semiacabadas, ou seja, como tampos de mesas e de bancadas de cozinhas ou de lavatórios (Fig. 8), além da continuidade do expressivo emprego em arte funerária.



**Figura 8** - Exemplo de aplicação da rocha em peças de lavatório (tampo e cubas). Foto: M.H.B.O. Frascá.



**Figura 9** - Exemplo de aplicação da rocha na pavimentação de rua e passeio público. Foto: M.H.B.O. Frascá.

Outro uso extensivo da rocha é na pavimentação de calçadas (Fig. 9), ruas e sarjetas, onde é geralmente empregada em seu estado natural, sem processamento, na forma de paralelepípedos e lajotas; produtos que são objeto de normativa específica da CEN (BSI 2001 a, b).

O principal uso das rochas, em escala mundial, segundo Montani (dados de 2010, publicados na edição de 2011), é no revestimento de pisos (35%). São relativamente menos utilizadas no revestimento de paredes (interiores) – 10% – e de fachadas (exteriores) – 8%. Destinam-se a trabalhos especiais (tampos de banheiros e cozinhas, bancadas etc.) 18% das rochas ornamentais. Arte funerária e usos estruturais, pouco expressivos no Brasil, respondem por aproximadamente 26% do consumo mundial. O consumo interno brasileiro é da ordem de 69,7 milhões de metros quadrados, referidos a chapas com dois centímetros de espessura (ver capítulo 10).

#### **1.4. As rochas nos diferentes usos e ambientes**

O crescimento da exportação de rochas ornamentais e do consumo nacional da rocha no revestimento de edificações ensejou, ao longo das últimas décadas, a modernização de todo setor produtivo e a concomitante demanda por geólogos, arquitetos e engenheiros familiarizados com as características tecnológicas dos diferentes materiais pétreos e capacitados para atuar em todas as etapas de produção e na orientação da escolha da rocha mais adequada ao uso pretendido.

No entanto, a seleção e especificação da rocha continuam sendo aspectos decisivos, por envolver a integração entre o padrão estético desejado – sem dúvida, o principal critério para escolha e valorização de uma rocha ornamental e caracteristicamente inter-relacionado com a moda – com os requisitos da função a exercer no revestimento de edificações. Ou seja, a seleção implica em integrar beleza e funcionalidade.

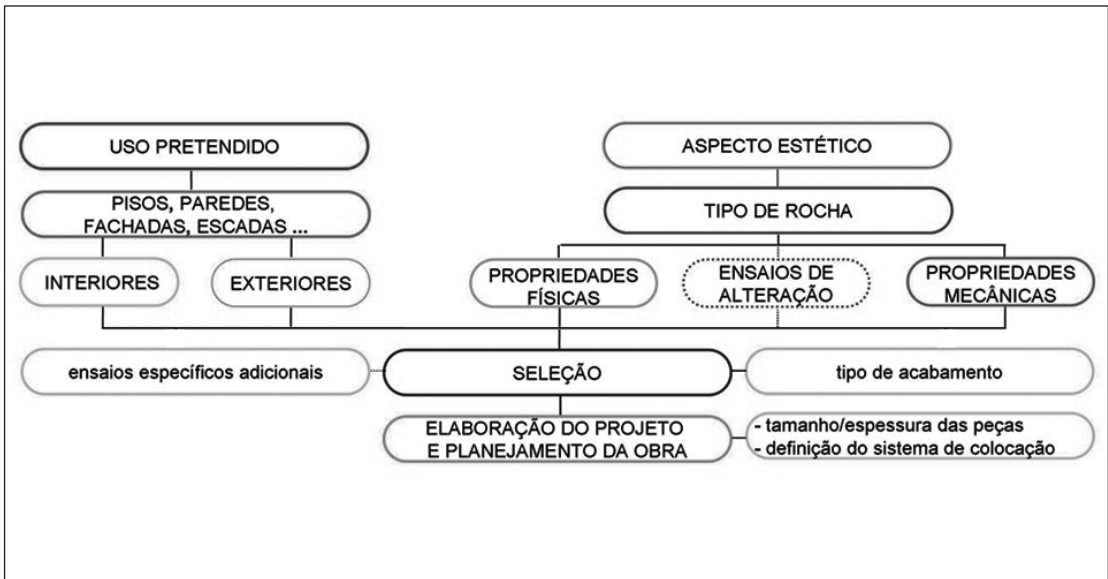
Projetos arquitetônicos elaborados sem o correto conhecimento dos materiais rochosos selecionados e, em especial, de suas propriedades, costumam, com relativa frequência, resultar em deteriorações ou patologias diversas devido ao emprego das rochas em ambientes inadequados, a práticas construtivas impróprias, à associação de materiais incompatíveis e muitos outros (ASTM, 2009), que geralmente causam prejuízos financeiros e emocionais.

O padrão estético – como a seguir enfatizado – é, no entanto, inerente à natureza e evolução geológica da rocha, representando as inúmeras e diversificadas feições daí derivadas tais como, composição mineralógica, granulação, intensidade e tipo de alteração mineral, presença de tensões confinadas, heterogeneidade estrutural e textural etc. Este conjunto de feições constitui as características intrínsecas, que irão se manifestar nas propriedades petrográficas, físicas e mecânicas da rocha, ou seja, nas propriedades tecnológicas, que por sua vez serão os fatores condicionantes para os diferentes e mais adequados usos e conseqüentemente na durabilidade almejada.

Por essa razão é obrigatória a incorporação das propriedades tecnológicas e das técnicas de construtivas (fixação, assentamento e outros) na seleção da rocha, como esquematizado na Figura 10.

As propriedades tecnológicas são determinadas por meio de ensaios e análises laboratoriais, conforme será abordado neste capítulo.

A depender do uso pretendido, as rochas estarão submetidas a diferentes solicitações, denominadas fatores extrínsecos, que compreendem os agentes atmosféricos, os poluentes, o desgaste abrasivo e choques, os produtos de limpeza, e as ações antrópicas, como pichações e outros, que atuarão na durabilidade da rocha na situação escolhida, assunto a ser detalhado no fim deste capítulo.



**Figura 10** - Roteiro para escolha e seleção de rochas para revestimento. Modificado de Frascá, 2010.

## 2. Rochas: tipos e características

Rochas são corpos sólidos naturais resultantes de um processo geológico determinado, formadas pelo agregado de um ou mais minerais, arrançados segundo as condições de temperatura e pressão existentes durante sua formação, cujas características permitem a separação em três grandes grupos: ígneas, sedimentares e metamórficas, cada qual com propriedades peculiares, que as tornam mais ou menos adequadas para o uso na construção civil.

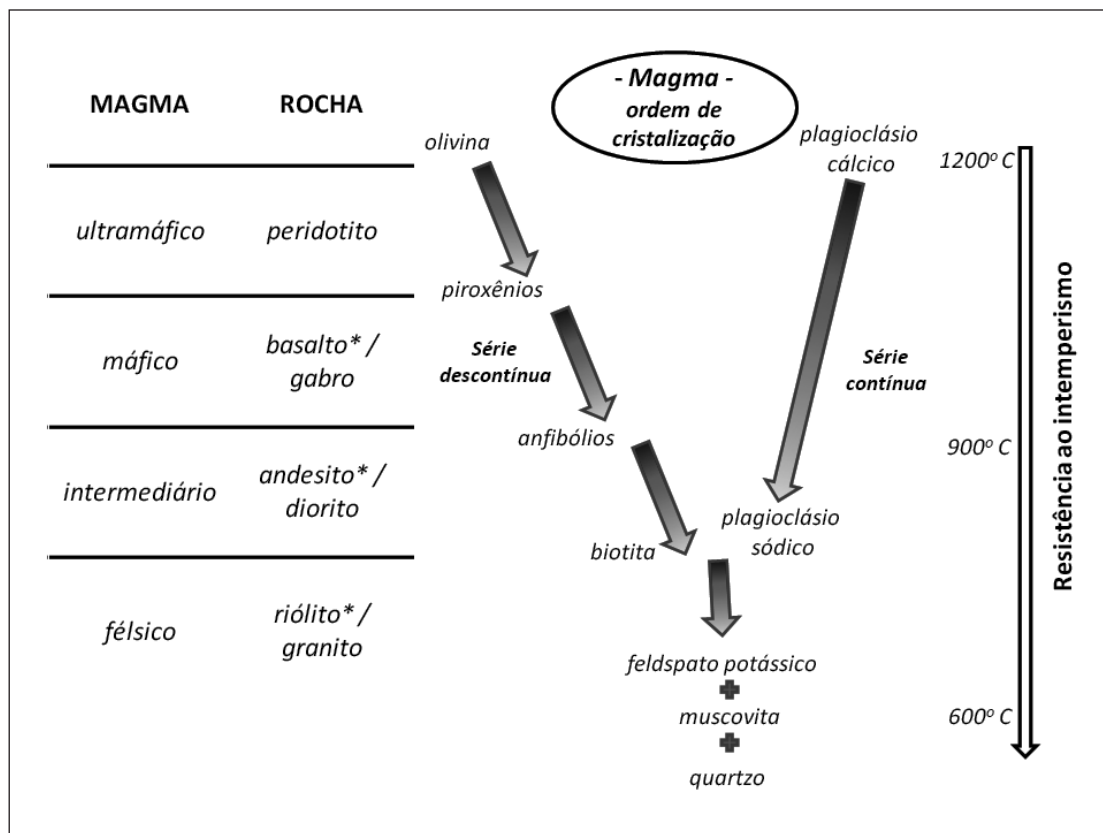
### 2.1. Minerais

Mineral é uma substância sólida natural, inorgânica e homogênea, que possui composição química definida e estrutura atômica característica. Forma-se, na natureza, pela cristalização a partir de líquidos magmáticos ou soluções termais, pela recristalização em estado sólido ou, ainda, constitui produto de reações químicas entre sólidos e líquidos.

A cristalização se processa quando os átomos, íons ou grupos iônicos, em proporções definidas, são atraídos por forças eletrostáticas e distribuídos ordenadamente no espaço.

A classificação dos minerais é feita com base no ânion ou grupo aniônico dominante em sua fórmula química. Simplificadamente, são agrupados em silicatos e não silicatos.

Os silicatos são os principais constituintes de rochas ígneas e vão se formando à medida que a temperatura atinge seus pontos de cristalização. N. L. Bowen, um petrólogo americano, com base em estudos petrográficos e petrológicos, estabeleceu que os silicatos ricos em Mg e Fe constituem uma serie de tipos de minerais relacionados entre si por reações descontínuas (Fig. 11), enquanto os plagioclásios representam uma serie de reação contínua na qual aqueles ricos em anortita (variedade rica em Ca) se cristalizam primeiro, e os ricos em albita (variedade rica em Na), por último (KLEIN; HULBURT, 1999).



**Figura 11** - Série de reação de Bowen, ilustrando os grupos de minerais de cristalização contínua e descontínua, a ordem de grandeza das temperaturas envolvidas e os tipos de magmas e respectivos grupos de rocha (plutônicas e vulcânicas, com asterisco), relacionados. Fonte: Elaboração da autora.

É interessante notar que a resistência ao intemperismo<sup>1</sup> é inversamente relacionada à ordem de cristalização, ou seja, ao serem expostos às condições atmosféricas, os minerais que se cristalizaram em temperaturas mais altas tendem a se alterar mais prontamente que aqueles cristalizaram mais tardiamente.

Genericamente, os silicatos (Tabela 2) constituem dois grupos:

- Máficos: compostos por silicatos de ferro e magnésio. Ex. olivina, piroxênios, anfibólios (hornblenda) e mica (biotita).
- Félsicos: compostos por silicatos de alumínio, sódio, cálcio e potássio. Ex. feldspatos cálcico e sódico (plagioclásios), feldspatos alcalinos, quartzo e mica (muscovita).

Os minerais não silicáticos (Tabela 3) constituem os grupos dos elementos nativos, sulfetos, óxidos e hidróxidos, carbonatos, haloides e sulfatos.

<sup>1</sup> Intemperismo: a desintegração física e decomposição química de rochas que produz um manto residual in situ e prepara sedimentos para o transporte. A maioria dos processos intempéricos ocorre em condições superficiais, mas também podem ocorrer em certas profundidades, no caso de rochas muito fraturadas, nas quais as condições permitam a penetração de oxigênio atmosférico e circulação de água.

**Tabela 2** - Exemplos de minerais silicáticos primários.

Classe (grupos)	Mineral	Fórmula química	Minerais de alteração(*)
Nesosilicatos	Olivina	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	serpentina, óxidos de ferro
	Granada	$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	clorita, hidróxidos de ferro
Inossilicatos (piroxênios)	Augita	$(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$	clorita, serpentina, talco, óxidos de ferro
	Aegirina	$\text{NaFe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	
	Diopsídio	$\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$	
	Hiperstênio	$(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	
Inossilicatos (anfíbólios)	Hornblenda	$(\text{Na,Ca})_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$	clorita, argilominerais carbonatos, hidróxidos de ferro
	Riebeckita	$\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}_3+2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	
Tectossilicatos	Feldspato potássico	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	sericita, caulinita, carbonato
	Plagioclásio	$(\text{Na,Ca})(\text{Al,Si})\text{AlSi}_2\text{O}_8$	sericita, caulinita, carbonato $\pm$ epídoto
	Quartzo	$\text{SiO}_2$	-
Tectossilicatos (feldspatoides)	Nefelina	$\text{KNa}_3(\text{SiAlO}_4)_4$	albita, zeólitas, caulinita, analcima
	Leucita	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	
	Sodalita	$\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$	
Tectossilicatos (zeólitas)	Analcita	$\text{NaSi}_2\text{AlO}_6\cdot\text{H}_2\text{O}$	produto de alteração da nefelina
Filossilicatos (micas)	Muscovita	$\text{K}_2\text{Al}_4\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH})_4$	caulinita, gibbsita
	Biotita	$\text{K}_2(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$	clorita, vermiculita
	Flogopita	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{F,OH})_2$	Illita, vermiculita

**Nota: (\*) Minerais de alteração:** principais minerais resultantes da alteração intempérica do mineral primário citado.

**Tabela 3** - Exemplos de minerais não silicáticos comuns.

Classe	Mineral	Fórmula química
Elementos nativos	Grafita	C
Sulfetos	Pirita	$\text{FeS}_2$
Óxidos	Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
	Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
	Ilmenita	$\text{FeTiO}_3$
Carbonatos	Calcita	$\text{CaCO}_3$
	Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Haloides	Halita	NaCl
Sulfatos	Gipso	$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Hidróxidos	Goethita	$\alpha\text{FeO}(\text{OH})$
	Limonita	$\text{FeO}\cdot\text{OH}\cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Gibbsita	$\text{Al}(\text{OH})_3$



### Minerais secundários ou de alteração

Os minerais podem se alterar, ou seja, mudar de composição química e estrutura cristalina, pela interação com líquidos magmáticos tardios (geralmente ricos em voláteis), por processos designados de hidrotermais; ou pela exposição às condições atmosféricas da superfície terrestre, pela ação do intemperismo as quais levam à geração dos minerais de alteração ou secundários. Alguns filossilicatos e os argilominerais (Tabela 4) são resultantes deste processo.

**Tabela 4** - Exemplos de minerais silicáticos usualmente secundários.

Classe (Grupos)	Mineral	Fórmula Química
Filossilicatos	Clorita	$(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
	Serpentina	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
	Talco	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Filossilicatos (argilominerais)	Caulinita	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
	(*)Montmorilonita ou Esmectita	$(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{H}_2\text{O,OH})_2$
	Vermiculita	$\text{Mg}_{0,7}(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

**Nota:** (\*) Argilominerais do grupo da montmorilonita, também designados de esmectitas, são expansivos na presença de água, aspecto que frequentemente leva à desagregação física das rochas que os contêm.

O termo argila refere-se a material natural composto primariamente por minerais de granulação muito fina, geralmente plásticos, quando o conteúdo em água é apropriado e que endurecem quando secos ou queimados. Por meio de técnicas de raios X, tem sido mostrado que as argilas constituem um grupo de substâncias cristalinas conhecidas como argilominerais, que são essencialmente silicatos hidratados de alumínio, em camadas.

Em condições intempéricas, os aluminossilicatos e em especial os feldspatos, podem se decompor em outros minerais por dois principais mecanismos:

- Lixiviação dos elementos solúveis (sais de K, Na, Ca, Mg,  $\text{Fe}^{2+}$ ) que podem migrar por distâncias consideráveis e, em condições favoráveis, precipitar na forma de minerais salinos ou outros minerais não silicáticos.
- Acumulação (concentração *in situ*) dos elementos pouco solúveis ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ), que constituirão as crostas de alteração (laterita) ou depósitos de rochas residuais (bauxita).

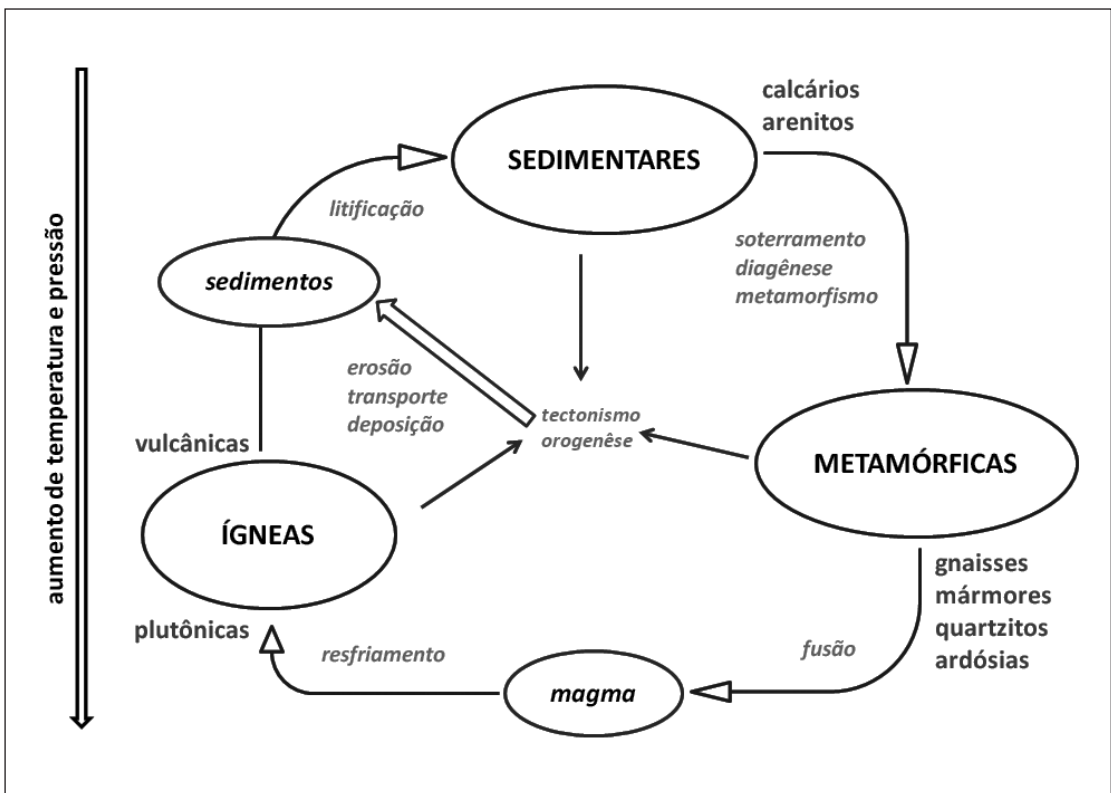
## 2.2. Tipos de rochas

A formação dos diferentes grupos de rochas mencionados (ígneas, sedimentares e metamórficas) é inter-relacionada configurando um caráter cíclico (Fig. 12) e dinâmico.

1. Rochas ígneas e metamórficas ao serem expostas às condições físico-químicas da superfície terrestre são submetidas a processos intempéricos que podem resultar na desintegração física e/ou na decomposição química, originando os sedimentos.



2. O acúmulo de sedimentos depositados em uma bacia sedimentar possibilita que aqueles mais profundos, em condições adequadas, sejam litificados, ou seja, transformados em rochas sedimentares.
3. Com o aprofundamento na crosta ou atuação de processos tectônicos, ocorre o metamorfismo, que transforma as rochas sedimentares e outras (ígneas, ou mesmo as metamórficas preexistentes) em rochas metamórficas.
4. Em condições metamórficas intensas, pode haver a fusão do material (anatexia) que, sob condições específicas, torna a se solidificar, formando as rochas ígneas. Sua nova exposição à superfície terrestre completa o ciclo.  
Rochas constituem um importante, extenso e fascinante tema nas Geociências, de modo que



**Figura 12** - Ciclo das rochas. Elaboração da autora.

ressaltamos que não se constitui escopo deste capítulo quaisquer detalhamentos sobre o assunto, mas sim uma abordagem sucinta sobre os principais tópicos de interesse relativamente às rochas ornamentais e para revestimento.

Como evidência de tal riqueza e extensão, está anexado (Anexo 1) texto inédito de Ronaldo Simões Lopes de Azambuja (*In memoriam*) datado de 2003, que aborda, sob ótica diversa e mais detalhadamente, os mecanismos de formação dos diferentes grupos de rochas e as classificações e características mais importantes dos diferentes tipos de rocha que constituem a crosta terrestre.

### *Rochas ígneas*

As rochas ígneas ou magmáticas são aquelas que resultam da solidificação de material rochoso parcial a totalmente fundido (magma), gerado no interior da crosta terrestre. Distinguem-se dois tipos, conforme o local de formação:

- Plutônicas ou intrusivas: formadas em profundidade e resultantes de lentos processos de resfriamento e solidificação do magma, constituindo material cristalino geralmente de granulção grossa (Fig. 13). Ex.: granitos, gabros, sienitos, dioritos e outros.



**Figura 13** - Lavra de granito ornamental em Capão Bonito (SP). Foto: M.H.B.O. Frasca.

- Vulcânicas ou extrusivas: formadas na superfície terrestre, ou nas suas proximidades, pelo extravasamento, explosivo ou não, de lava (material ígneo que alcança a superfície da Terra) por orifícios vulcânicos (Fig. 14). O rápido resfriamento, devido ao qual geralmente não há tempo suficiente para os minerais se formarem, resulta em material vítreo ou cristalino de granulção fina. Ex.: riólitos, basaltos e outros.

As rochas ígneas são compostas essencialmente de minerais silicáticos: feldspatos, quartzo, piroxênios, anfibólios e/ou feldspatoides. Os minerais característicos de cada variedade são denominados essenciais, e aqueles que ocorrem em quantidades menores e cuja presença não é determinante são os acessórios (ex.: zircão, titanita, apatita, ilmenita, magnetita, rutilo e outros). A classificação petrográfica (científica) é feita de acordo com o conteúdo e proporções relativas desses minerais (Tabela 5).



**Figura 14** - Cratera do *White Island Volcano* (Nova Zelândia). Foto: M.H.B.O. Frascá

Dentre as rochas ígneas, dada a sua aparência, abundância e boas características físicas e mecânicas, que favorecem o emprego em obras civis, os granitos *sensu stricto* são as mais apreciadas para uso como rocha ornamental e para revestimento, especialmente pela grande variedade de cores, definidas pelo tipo de feldspato existente e impurezas neles presentes.

Outras rochas ígneas bastante utilizadas, mas que não constituem granitos propriamente ditos são:

- Gabros e dioritos, comercialmente designados de "granitos pretos": são rochas relativamente mais ricas em minerais máficos (anfíbólios, piroxênios, biotita) e opacos (óxidos e sulfetos), responsáveis pela cor escura. O "Preto Absoluto", "Preto Piracaia", "Preto São Gabriel" entre outros, são exemplos destes tipos de rochas ígneas.
- Charnockitos: constituem um grupo especial de rochas plutônicas, com aspectos macroscópicos, microscópicos e mineralógicos muito semelhantes aos das rochas graníticas (*sensu lato*), mas que caracteristicamente contêm o mineral hiperstênio e apresentam tipicamente cor verde-escura. Entre os tipos comerciais mais conhecidos citam-se "Verde Labrador", "Verde Pavão" explorados no Estado do Espírito Santo.
- Pegmatitos: são rochas cristalizadas a partir do magma residual, que se caracterizam pela granulção grossa a muito grossa – com a maioria dos cristais exibindo mais de um centímetro de diâmetro – e estrutura muito heterogênea, e que comumente ocorrem na forma de diques ou veios preenchendo fraturas nas bordas e interior de maciços graníticos. As cores em geral são claras; branco ou bege, com tonalidades verde, amarela e rosa, dentre outras. Embora possam apresentar composições mineralógicas semelhantes a quaisquer corpos rochosos, em geral são similares à dos granitos e podem incluir minerais raros ricos em elementos como lítio, boro, flúor, nióbio, tântalo, urânio e terras raras. Constituem grande parte das rochas exóticas hoje presentes no mercado, citando-se, como exemplo os Delicatus e Golden Himalaya.

**Tabela 5** - Classificação simplificada das rochas ígneas (KLEIN; HULBURT, Jr. 1999).

Feldspato	Quartzo > 5%		Sem quartzo ou feldspatóide		Nefelina ou leucita > 5%	
	Plutônica	Vulcânica	Plutônica	Vulcânica	Plutônica	Vulcânica
K-feldspato > Plagioclásio	granito	riólito	sienito	traquito	nefelina sienito / leucita sienito	fonólito / leucita fonólito
Plagioclásio > K-feldspato	granodiorito	dacito	monzonito	latito	nefelina monzonito	-
Plagioclásio (oligoclásio ou andesina)	tonalito	quartzo andesito	monzodiorito	latito basalto	nefelina diorito	tefrito (< olivina) basanita (> olivina)
Plagioclásio (labradorita ou anortita)	quartzo diorito	andesito	gabro	basalto	ijolito	nefelinito (< olivina) nefelina basalto (> olivina)
Sem feldspato	-	-	peridotito (olivina dominante) piroxenito (piroxênio dominante) hornblendito (hornblenda dominante)	-	-	-

### **Rochas sedimentares**

As rochas sedimentares são aquelas formadas por meio da erosão, transporte (fluvial, marítimo ou eólico) e deposição de sedimentos (clastos ou detritos) derivados da desagregação e decomposição de rochas na superfície terrestre – rochas detríticas ou terrígenas; da precipitação química – rochas ortoquímicas; ou do acúmulo de fragmentos biogênicos ou bioquímicos – rochas aloquímicas (Tabela 6).

**Tabela 6** - principais categorias de rochas sedimentares (Klein; Hulburt, Jr. 1999).

<b>Rochas terrígenas (textura clástica)</b>	<b>Rochas alquímicas (bioquímicas/ biogênicas com textura clástica)</b>	<b>Rochas ortoquímicas</b>
Conglomerados, brechas, arenitos e argilitos	Calcários, dolomitos, fosforitos, chert e carvão	Evaporitos, chert, travertinos e formações ferríferas
Arenitos e aglomerados vulcanoclásticos		

As rochas detríticas ou terrígenas são classificadas com base no tamanho dos grãos (clastos) (Tabela 7) que as compõem.

**Tabela 7** - Classificação das rochas detríticas.

Classificação	Grãos / Componentes			Observações
	Tamanho	Quantidade	Tipo	
Ruditos ou psefitos	> 2 mm (geralmente centimétricos até métricos)	> 25%	geralmente fragmentos de rocha	forma dos fragmentos: arredondada = conglomerado; angulosa = brecha
Arenitos ou psamitos	milimétrico a 0,06 mm	> 50%	quartzo	> 25% de feldspatos = arcóseos
Lutitos ou pelitos	0,06 mm a 0,004 mm / (< 0,004 mm)	-	argilominerais (principalmente illita e caulinita) e quartzo	grupo mais abundante de rochas sedimentares (também designados siltitos e argilitos)

A transformação dos sedimentos em uma rocha sólida e coerente ocorre por meio da litificação, que consiste em um conjunto de processos, como cimentação, compactação e cristalização, geralmente associados à diagênese<sup>2</sup>.

A cimentação é a cristalização de material inorgânico carregado pela água, que percola os vazios entre os grãos (poros), preenchendo-os e imprimindo coesão ao material. Calcita, hidróxidos de ferro (limonita), sílica (em diversas formas: quartzo, calcedônia etc.) e sais (gipso, halita, carbonatos) são os cimentos mais comuns.

As rochas pelíticas podem apresentar uma importante propriedade, denominada fissilidade, que permite a separação de placas segundo planos paralelos finamente espaçados, tais como o acamamento, e está relacionada à orientação dos minerais filossilicáticos. De acordo com a predominância de silte ou argila e o grau de fissilidade da rocha, recebem as designações siltito, argilito e folhelhos.

As principais rochas sedimentares aloquímicas usadas em revestimentos são os calcários e os dolomitos, rochas carbonáticas compostas por mais de 50% (geralmente entre 80% a 100%), de calcita ou dolomita, respectivamente.

<sup>1</sup> Diagênese compreende todas as mudanças químicas, físicas e biológicas em um sedimento após sua deposição inicial, e durante e após a litificação, excluindo-se o intemperismo e metamorfismo. Inclui os processos que ocorrem em condições de pressão de até 1 kb e de temperatura entre 100°C e 300°C, tais como compactação, sedimentação retrabalhamento, autigênese, substituição, cristalização, lixiviação, hidratação, ação bacteriana e formação de concreções (NEUENDORF *et al.* 2011).



- Calcários são formados predominantemente em ambientes marinhos, de águas rasas e, menos comumente, por fragmentos ou grãos carbonáticos mecanicamente transportados e depositados, geralmente na própria bacia de sedimentação. Ex. “Pedra Cariri”.
- Dolomitos, geralmente de cor cinza-claro e granulação fina, aparentemente são gerados a partir de calcários.

Os travertinos constituem uma variedade de rocha calcária, de cor bege, formada pela precipitação química a partir de águas superficiais ou subsuperficiais ao redor de fontes, especialmente termais. Difere dos calcários pela estrutura laminada e presença de cavidades irregulares, com até vários centímetros. Uma rocha bastante utilizada e conhecida internacionalmente é o “Travertino Romano”. No Brasil, é muito utilizada em revestimentos rocha calcária de cor bege que ocorre na região de Ourolândia (BA), geologicamente um calcrete ou caliche (RIBEIRO *et al.* 2002) e explorada e comercializada como “Travertino Bege Bahia” (Fig. 15).



**Figura 15** - Aspecto de frente de lavra de “Bege Bahia”, em Ourolândia (BA). Foto: M.H.B.O. Frascá.

### ***Rochas metamórficas***

Rochas metamórficas são derivadas de outras preexistentes que, no decorrer dos processos geológicos, passaram por mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, no estado sólido, em resposta a alterações nas condições físicas e químicas existentes em profundidades superiores àquelas da diagênese.



A composição da rocha resultante de um processo metamórfico depende essencialmente da sua composição original, das condições de temperatura e pressão e da presença e atuação de fluidos. Pode ocorrer desde a recristalização, que implica unicamente no aumento de tamanho e/ou a modificação na forma externa dos minerais formadores, até reações metamórficas, com o aparecimento de novos minerais em equilíbrio estável com as condições reinantes.

Ao atingirem determinados valores de temperatura e pressão e na presença de água, as rochas podem se fundir (processo de anatexia), gerando material magmático, possibilitando a geração de novas rochas, em geral compostas de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, com granada, muscovita e silicatos de alumínio (sillimanita, principalmente).

As principais rochas ornamentais metamórficas usadas em revestimento são:

- Gnaisses: rochas usualmente quartzo-feldspáticas, de granulação média a grossa e com moderada a forte direção planar fornecida pela isorientação de minerais placoides (micas) ou de hábito prismático (feldspatos, anfibólios, piroxênios), denominada estrutura ou foliação gnáissica.

Podem ser derivadas da deformação de rochas graníticas, ou da total reorganização mineralógica e textural de rochas sedimentares. Constituem, juntamente com os mármore, as rochas metamórficas mais utilizadas em revestimento e, de modo semelhante aos granitos, exibem grande variedade de cores, mas diferenciam-se daqueles pela diversidade de padronagens propiciadas pela orientação estrutural.

Os gnaisses brancos e amarelos, comercializados com a designação “granitos amarelos” (Fig. 16), que constituem um dos tipos mais valorizados e importantes para o setor brasileiro de rochas ornamentais, devem sua característica coloração amarelo-ferruginosa à ação intempérica, em graus variados, que promove a oxidação do ferro presente em minerais e a modificação da cor original da rocha, usualmente clara. Geologicamente, pelo geral, trata-se de rochas de composição granítica que tipicamente contém granada e silicatos de alumínio (sillimanita), comumente apresentam abundante microfissuramento dos minerais, o que pode afetar a resistência mecânica e a porosidade da rocha.



**Figura 16** - Mina de gnaiss, comercialmente conhecidos como “granitos amarelos”. Foto: M.H.B.O. Frascá

- Mármore: são rochas derivadas de calcários e/ou dolomitos e contêm mais de 50% de calcita e/ou dolomita. Os mármore “Branco Espírito Santo”, “Branco Pighes”, “Branco Thassos” são compostos de dolomita, praticamente sem a presença de outros minerais. O mármore “Carrara”, explorado na cidade de mesmo nome, na Itália, é muito apreciado pelos arquitetos e consumidores brasileiros. Trata-se de calcita mármore de cor branca, com vênulas irregulares e heterogeneamente dispostas, nas quais é comum a presença de sulfetos de ferro (pirita).
- Quartzitos: rochas compostas essencialmente de quartzo, produtos da recristalização de sedimentos silicosos: quartzo arenitos ou *cherts*. Comumente, têm cor branca, com variações para vermelho (pela presença de hidróxidos de ferro) e até azul (dumortierita quartzitos: “Azul Macaúbas”). A riqueza em quartzo lhes confere uma dureza alta, o que provoca grande desgaste nos equipamentos de corte e polimento. Também são resistentes à alteração, tanto intempérica como hidrotermal.
- Quartzitos foliados (*flagstone*): devido à presença de minerais micáceos dispostos orientadamente, e com cores amareladas a esverdeadas são abundantes e muito explorados em alguns estados brasileiros, constituindo a rocha quartzosa mais comum em revestimento, popularmente conhecida como “pedra mineira”, “pedra São Tomé” (Fig. 17), “pedra Goiás” e outros.



**Figura 17** - Placas de quartzito foliado, artesanalmente produzidas, na própria lavra (São Tomé das Letras, MG).  
Foto: M.H.B.O. Frasca.

- Milonitos: são rochas que exibem estruturação (foliação ou lineação) muito bem definida, nos mais variados graus de intensidade. Citam-se como exemplo, no Brasil, a pedra Miracema ou Paduana, de cor predominantemente cinza, e a Pedra Madeira, uma variação com cores rosa ou amarela, em decorrência da alteração por intemperismo.

- Migmatitos (do grego: rocha misturada): são rochas gnáissicas, com granulação média a grossa e que caracteristicamente apresentam composição e estrutura heterogêneas (migmatíticas), que se constituem em intercalações irregulares de porções ora de cor clara (leucocráticas) e de composição quartzo-feldspática; ora de cor escura (melanocrática), geralmente foliadas e compostas de minerais máficos. É comum serem referidas, comercialmente, como “rochas movimentadas”.
- Ardósias, filitos e xistos: caracterizam-se pela riqueza em minerais micáceos e pela xistosidade bem desenvolvida. A ardósia é o tipo mais usado em revestimentos de telhados em países de clima frio; apresenta granulação muito fina e é composta por micas, clorita e quartzo. É originada pelo metamorfismo de folhelhos, com os quais muitas vezes se confunde dadas as sutis modificações que sofrem nessa transformação. Sua marcante fissilidade, denominada clivagem ardosiana, favorece a extração na forma de placas (Fig. 18).



**Figura 18** - Aspecto de ardósia em extração em lavra em Papagaios (MG). Foto: M.H.B.O. Frascá.

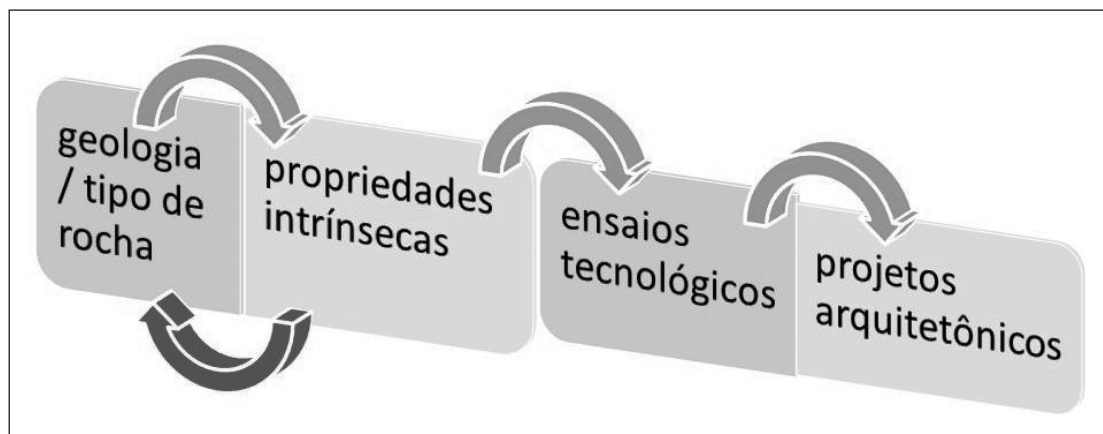
### 3. Caracterização tecnológica

Rochas, como já comentado, são materiais cujas propriedades decorrem da sua natureza, sendo então inerentes ao modo de formação, às inter-relações com outros corpos rochosos, à composição mineral, à granulação e às alterações, às deformações e outras modificações resultantes dos processos de geológicos a que foram submetidas.



Tal aspecto torna praticamente cada rocha única, tornando o estudo destes materiais e de suas propriedades um tema bastante complexo e particular.

A determinação das propriedades das rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises normalizados, em laboratórios especializados, que objetivam a obtenção dos parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos característicos, cuja análise permitirá a recomendação do uso mais adequado no revestimento de edificações, bem como subsidiarão a elaboração de projetos arquitetônicos (Fig. 19).



**Figura 19** - Ilustração da inter-relação entre geologia, tipo de rocha, tecnologia de rochas e construção civil. Elaboração da autora.

Quanto à sua periodicidade, a CEN recomenda a realização de ensaios pelo menos a cada três anos para controle tecnológico do material, conforme o avanço da frente de lavra e a qualquer momento em casos de mudanças bruscas na geologia do corpo rochoso em exploração.

### 3.1. Normalização

Os procedimentos de ensaios procuram simular as diversas solicitações às quais a rocha é submetida, desde a extração, esquadreamento, serragem dos blocos em chapas, processamento, polimento, recorte em ladrilhos etc., até seu emprego final, incluindo-se as variadas formas de aplicação de cargas que poderá vir a suportar no uso especificado.

A padronização de procedimentos, que é a função básica da normalização, tem como finalidade principal possibilitar a obtenção de parâmetros numéricos homogêneos para as diferentes propriedades, independente do laboratório que venha a realizar os ensaios, de modo a permitir a comparação entre os diferentes materiais rochosos e a escolha do mais apropriado ao uso em foco.

As normas são elaboradas por comissões técnicas ligadas a entidades normalizadoras. No caso das rochas ornamentais estão envolvidas a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, no âmbito nacional, e a *American Society for Testing and Materials* - ASTM e o *European Committee for Standardization* - CEN, no internacional.

As normas elaboradas pelo CEN são publicadas pelas entidades dos vários países europeus que a integram, dentre as quais se destacam a *British Standards Institution* – BSI (inglesa) e a *Deutsches Institut für Normung* – DIN (alemã).

Em geral, a elaboração de normas se realiza em dois níveis: o dos procedimentos de ensaios e o das especificações e requisitos que os materiais devem cumprir de acordo com os usos a que se destinam. Relativamente aos tipos de rochas abrangidos pelas diversas normas, é importante mencionar que as brasileiras não contemplam a determinação das propriedades de ardósias, rochas que constituem objeto de normalização específica, tanto pela ASTM, como pelo CEN.

As normas do CEN para ardósias para telhas são as mais abrangentes e contemplam várias etapas: teste-tipo, que constituem a caracterização inicial, na qual se baseará o controle de qualidade das telhas produzidas: medidas dimensionais (comprimento e largura, retilinearidade de bordas, retangularidade, espessura das telhas embaladas, espessura individual), curvatura (planicidade), teor de carbono e carbonato, exposição ao dióxido de enxofre, absorção de água, além da resistência à flexão, ao congelamento e degelo e a ciclo térmico.

No tocante à apresentação dos resultados, a ABNT recomenda que os laboratórios elaborem Relatórios de Ensaio contemplando os seguintes itens:

- Nome e endereço do Laboratório responsável pelo ensaio e número do relatório;
- nome e endereço do cliente;
- indicação, informada pelo cliente, da procedência da amostra (estado, cidade, jazida, local de coleta etc.); designação da amostra e designação comercial da rocha (se já existente);
- tipo petrográfico, conforme ABNT NBR 15012 (ABNT 2003);
- todos os dados relativos aos corpos de prova ensaiados e resultados obtidos;
- média aritmética dos resultados ( $\bar{x}$ ), respectivo desvio padrão ( $S$ ) e coeficiente de variação ( $\delta$ );

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \text{Equação 1}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum x - \bar{x}}{n - 1}} \quad \text{Equação 2}$$

$$\delta = \frac{S}{\bar{x}} \quad \text{Equação 3}$$

onde:

$x$ : valores observados e  $n$ : quantidade de ensaios

- data da finalização do ensaio;
- nome e assinatura do responsável pelo ensaio;
- identificação da norma utilizada; e
- observações complementares que se fizerem necessárias.

Os principais procedimentos rotineiramente envolvidos na caracterização tecnológica de mármore e granitos ornamentais são apresentados a seguir.

### 3.2. Amostragem

Para a realização de ensaios tecnológicos, a amostragem tem papel primordial, devendo ser realizada pelo produtor, preferencialmente acompanhado por um técnico do laboratório, e ser o mais representativa possível do material a ser explorado, inclusive contendo as variações mais comuns.

A amostra a ser encaminhada aos laboratórios corresponde a dois cubos, informalmente denominados bloquetes, com 30 cm a 35 cm de arestas, livres de fraturas ou quebras e devidamente identificados. Devem ser obtidas na frente de lavra ou do maciço rochoso em prospecção e não devem constituir sobras do processo de beneficiamento (aparas, casqueiros etc.).

Caso a rocha a ser caracterizada apresente estruturação, as amostras devem ser retiradas de acordo com a orientação geral (Fig. 20).



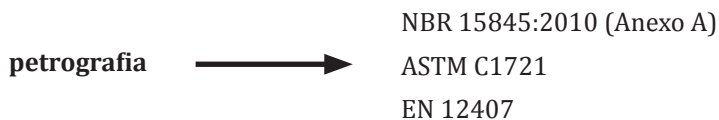
**Figura 20** - Ilustração orientativa para a amostragem (bloquetes) de rochas com estruturação (gnaises), com a seta indicando o sentido da estrutura. À direita, exemplo de “bloquete”. (Desenho: Fabiano C. Navarro). Foto: M.H.B.O.Frască.

### 3.3. Preparação de corpos de prova

A cuidadosa preparação dos corpos de prova, atendendo aos requisitos das normas, e o uso de equipamentos e instrumentos em bom estado de funcionamento e calibrados são de fundamental importância para a realização de quaisquer ensaios laboratoriais, pois só assim são garantidos a precisão e repetibilidade dos parâmetros tecnológicos, que por sua vez serão responsáveis pela boa qualidade do projeto, da obra, da manutenção e, enfim, pela durabilidade do revestimento.

Frască (2002b, 2003) demonstrou que há grandes variações nos valores absorção de água, para as mesmas rochas e de acordo com os mesmos procedimentos de ensaio, quando determinados adotando-se diferentes formatos e dimensões dos corpos de prova.

#### Caracterização petrográfica

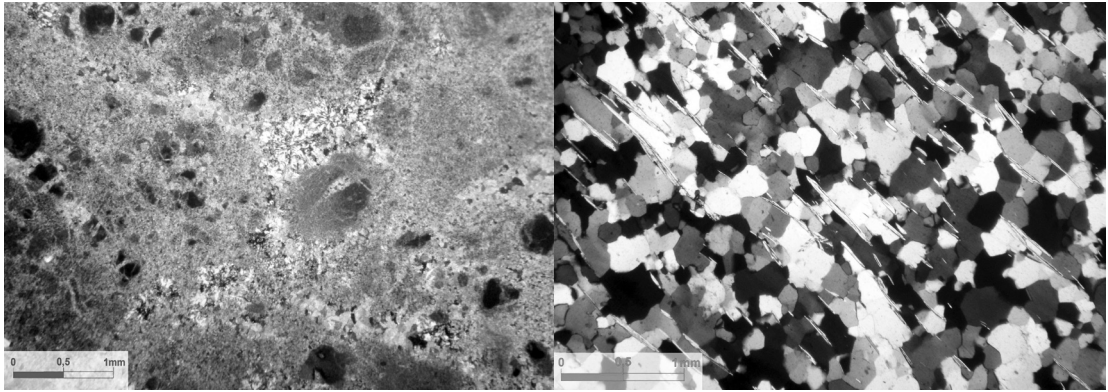


A análise petrográfica estabelece a classificação da rocha e compreende a descrição macroscópica (estruturação, cor) e microscópica (mineralogia, textura, granulação), com ênfase em características tais como alteração, deformação, padrão de microfissuramento e outros que possam influenciar o comportamento mecânico e a durabilidade sob as condições de uso a que será submetida. É uma ferramenta muito importante para análise dos dados tecnológicos, frequentemente esclarecendo as diferenças nas propriedades físicas e/ou mecânicas de rochas aparentemente semelhantes. Também é essencial para diagnosticar e caracterizar deteriorações em rochas.

A análise petrográfica propriamente dita consiste na observação de seções delgadas da rocha (com espessura de 30 µm) em microscópio óptico de luz transmitida (Fig. 21). A classificação petrográfica, baseada nos tipos e na quantidade dos minerais presentes, segue várias orientações,

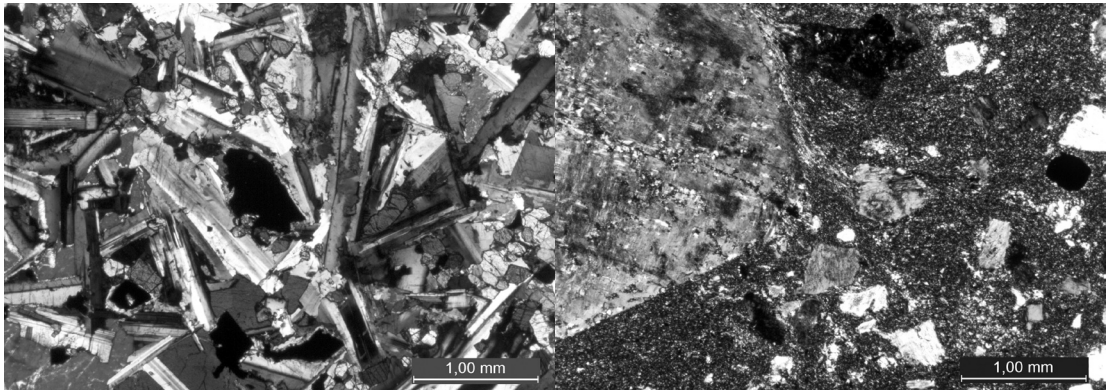


sendo as mais comuns as da IUGS (*International Union of Geological Sciences*) ou de autores consagrados, como Pettijohn (1975), para rochas sedimentares, Winkler (1976), para rochas metamórficas, e Le Maitre (1989), para rochas ígneas.



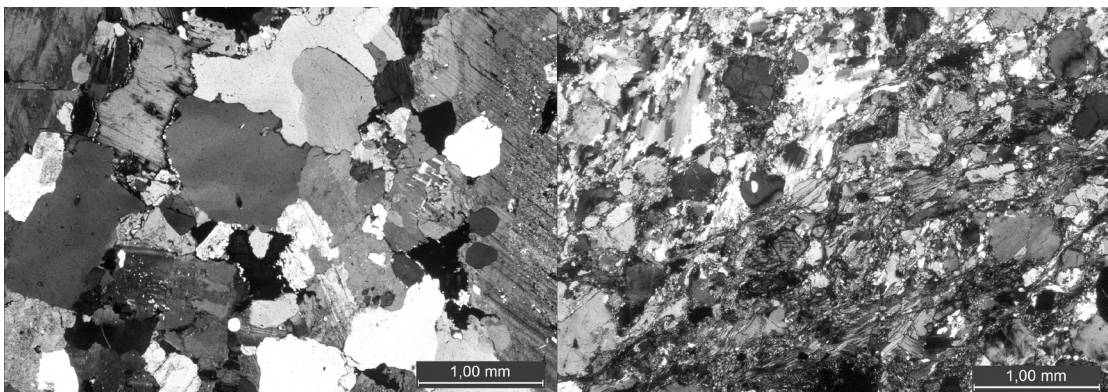
(a) travertino – rocha sedimentar

(b) quartzito – rocha metamórfica



(c) gabro – rocha ígnea plutônica

(d) riólito – rocha ígnea vulcânica



(e) granito – rocha ígnea plutônica

(f) gnaisse milonítico – rocha metamórfica

**Figura 21** - Diferentes aspectos exibidos ao microscópio por alguns dos diversos tipos de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas (FOTOS: M.H.B.O. Frascá, obtidas em microscópio óptico de luz transmitida com polarizadores cruzados).

A análise petrográfica de rochas ornamentais é feita com dois enfoques; o macroscópico e o microscópico.

A descrição macroscópica deve relatar algumas feições, das quais se destacam: cor e estrutura.

### **Cor**

A despeito da subjetividade inerente à sua identificação, a cor é parâmetro essencial na qualificação de rochas ornamentais, pois embora muitas vezes variável para um mesmo tipo de rocha, é característica para um determinado corpo rochoso servindo para diferenciá-lo e valorizá-lo comercialmente. A cor está relacionada aos minerais e impurezas presentes no material rochoso:

Rochas ígneas: aspecto fortemente dependente do tipo e variedade dos feldspatos presentes, que podem exibir coloração rosa a vermelho-escuro, cinza, verde-claro a escuro, entre outras. A presença de hidróxidos de ferro, em clivagens ou fissuras dos minerais presentes, em virtude da alteração intempérica, lhes confere tonalidades amarelo-ferruginosas. Entretanto, não são incomuns as cores estarem relacionadas a outros minerais formadores, tais como quartzo azul, sodalita (feldspatoide de cor azul intenso), piroxênios e outros minerais.

Rochas sedimentares:

- Detríticas, como os arenitos: a cor comumente varia entre branco, bege ou rosa a avermelhado, neste caso, devido ao recobrimento dos grãos por finíssima película de óxidos ou hidróxidos de ferro.
- Pelíticas, o conteúdo de material carbonoso (grafita) ou estado de oxidação do ferro conferem cores cinza-escura a preta e avermelhada, respectivamente.

Rochas metamórficas:

- Mármore: comumente exibem cor branca a cinzenta. Tonalidades esverdeadas e outras estão ligadas aos minerais não carbonáticos presentes, tais como: talco, anfibólio (tremolita), piroxênios (diopsídio), olivina (forsterita) e outros.
- Quartzitos: a cor branca é a mais habitual, mas podem exibir uma grande variedade de cores, com variações para vermelho (pela presença de hidróxidos de ferro) e até azul (dumortierita quartzitos: "Azul Macaúbas").

### **Estrutura**

A estruturação compreende a orientação e a posição de massas rochosas em uma determinada área, bem como as feições resultantes de processos geológicos como falhamentos, dobramentos, intrusões ígneas e outros.

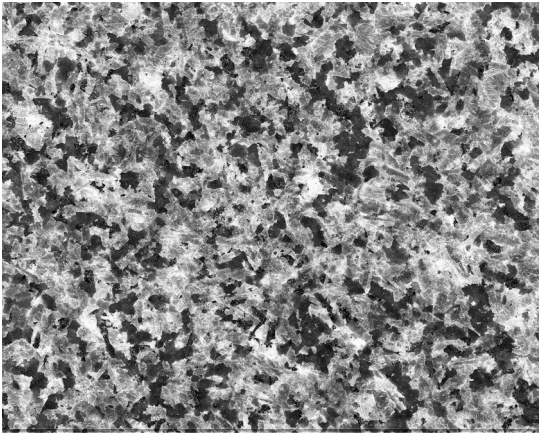
As rochas ígneas usualmente são maciças, ou seja, os minerais não exibem orientação preferencial segundo direções determinadas (Fig. 22), e o aspecto, tanto em afloramento como em amostra de mão, é de uma massa rochosa compacta, o que lhes confere características físicas e mecânicas homogêneas (isotropia).

No entanto, as rochas ígneas também podem mostrar estruturação, como a fluidal ou fluxionar, em que os minerais exibem orientação preferencial, expressando movimento direcional do magma na sua colocação, antes da solidificação.

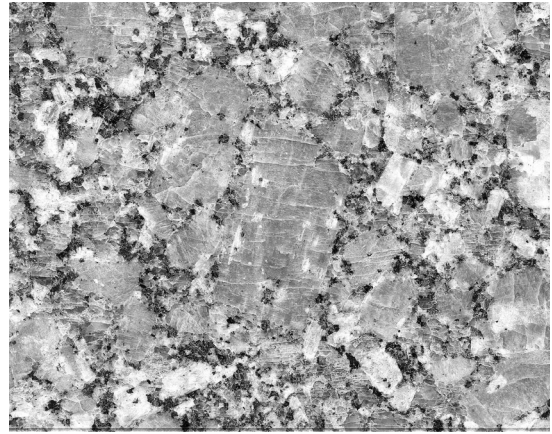
A estratificação ou acamamento são estruturas típicas de rochas sedimentares (Fig. 23) e representam o arranjo dessas rochas em camadas distintas, com espessuras variando de centímetros até poucos metros. O termo laminação é utilizado para se referir aos estratos com espessura menor que 1 cm.



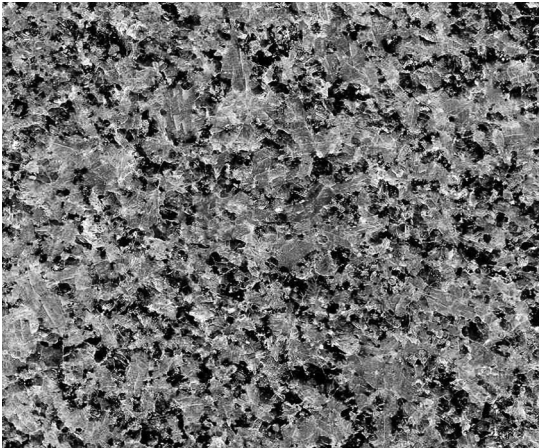
As rochas metamórficas podem exibir estrutura maciça, como mármore e quartzitos, ou, mais frequentemente, estrutura orientada (Fig. 24), resultante do metamorfismo dinâmico, no qual há o predomínio da pressão sobre a temperatura, além da formação de novos minerais. Em resposta aos esforços envolvidos ocorrem deformação e orientação preferencial dos minerais, desenvolvidas ortogonalmente à direção de compressão máxima, e sua intensidade se reflete no tipo e forma das estruturas geradas, como a seguir descritas.



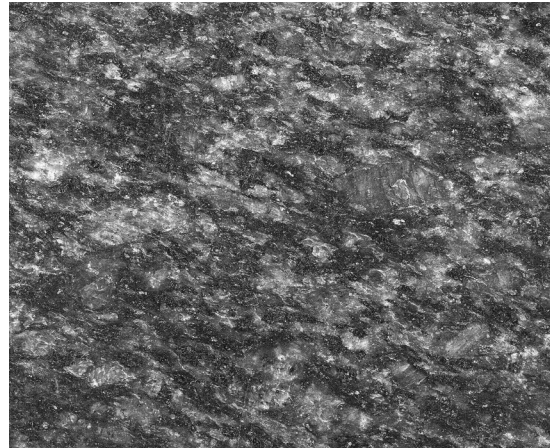
(a) nefelina sienito



(b) biotita sienito porfirítico



(c) biotita monzogranito



(d) biotita-hornblenda monzonito

**Figura 22** - Diferentes aspectos texturais e estruturais de algumas rochas ornamentais ígneas. (Fotos: Catálogo de rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo – Frascá *et al.* 2000).

- Foliação: corresponde a estruturas planares penetrativas resultantes do achatamento dos constituintes minerais.
- Xistosidade: arranjo planar caracterizado pela disposição subparalela e isorientada de minerais filossilicáticos, em xistos, filitos e outras rochas.
- Lineação: refere-se a estruturas que não se caracterizam como foliações, englobando qualquer estrutura linear na rocha, como minerais alongados, segundo as direções de deformação.



**Figura 23** - Classicamente conhecida estratificação das rochas sedimentares do *Grand Canyon*, no Arizona, EUA. Foto: M.H.B.O.Frasca.



**Figura 24** - Exemplo de estrutura gnáissica. Foto: M.H.B.O.Frasca.

A descrição microscópica de rochas ornamentais enfatiza os seguintes aspectos descritivos: tipo e quantidade dos minerais essenciais, acessórios e de alteração, relações texturais, granulacão, com especial enfoque nos padrões de fissuramento e de alteração intempérica. Ressalta-se que a despeito da importância geológica das alterações hidrotermais e metassomáticas, no estudo petrográfico de rochas ornamentais não lhes é dado o mesmo destaque que para a alteração intempérica, visto que não estão relacionadas às modificações na porosidade ou nas resistências mecânicas de interesse no seu emprego na construção civil.



- **Composição mineralógica:** reflete a composição química e as condições de formação e de alteração de cada mineral componente e tem influência decisiva nas propriedades da rocha e na sua durabilidade.
- **Textura:** é o arranjo espacial microscópico dos minerais, muitas vezes exclusivos para alguns tipos de rochas, e está intimamente relacionada à mineralogia e às condições físicas vigentes durante a formação. A porosidade/permeabilidade e as resistências mecânicas, em parte, dependem da textura, que também reflete o grau de coesão da rocha.
- **Granulação:** refere-se ao tamanho dos grãos. É um dos principais critérios de classificação das rochas sedimentares. Diferencia, macroscopicamente, rochas ígneas vulcânicas (mais finas: afaníticas) e plutônicas (mais grossas: faneríticas) e responde pela maior resistência mecânica das primeiras, devido ao maior imbricamento e à coesão dos minerais. Visando orientar a classificação do tamanho de grãos Frascá e Sartori (1998) apresentaram os limites usualmente adotados em petrografia (Tabela 8).

**Tabela 8** - Classificação de tamanho de grãos adotada em descrições petrográficas.

<b>Granulação</b>	<b>Tamanho (mm)</b>
Muito grossa	> 30
Grossa	5 - 30
Média	1 - 5
Fina	< 1

Para as rochas detríticas, o tamanho dos grãos segue a classificação granulométrica de Wentworth, conforme Tabela 9.

**Tabela 9** - Escala de classificação granulométrica dos sedimentos detríticos.

<b>Tamanho limite de classe (mm)</b>	<b>Classe</b>	<b>Sedimento</b>
> 256	matacão	Cascalho
256 - 64	bloco	
64 - 4	seixo	
4 - 2	grânulo	
2 - 1	areia muito grossa	Areia
1 - 0,5	areia grossa	
0,5 - 0,25	areia média	
0,25 - 0,125	areia fina	
0,125 - 0,06	areia muito fina	
0,06 - 0,004	silte	Silte
< 0,004	argila	Argila

Nos estudos petrográficos merecem destaque alguns aspectos que controlam e condicionam praticamente todas as propriedades das rochas. Tais aspectos são abordados a seguir.

Uma grande dificuldade na descrição petrográfica é a padronização da abordagem de dois aspectos fundamentais: grau de alteração intempérica e grau de microfissuramento.

Frasca (2003) propôs uma graduação microscópica dessas feições em quatro classes quando avaliadas, preferencialmente, em lupa estereoscópica binocular, no aumento aproximado de 50X, conforme Tabela 10.

### 3.4. Propriedades físicas

As propriedades físicas mais relevantes nos estudos de rochas para revestimento são descritas a seguir. Para cada qual inicialmente se apresentam as normas vigentes<sup>3</sup> e o nome técnico dos parâmetros a serem caracterizados.

<b>densidade</b>		NBR 15845:2010 (Anexo B) ASTM C97
<b>absorção de água</b>	→	ASTM C121 (ardósias) EN 1936
<b>porosidade aparente</b>		EN 13755

- Densidade: fornece 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.

**Tabela 10** - Graus de alteração intempérica e de microfissuramento, aplicados principalmente a rochas ígneas e metamórficas quartzo-feldspáticas (FRASCÁ 2003).

<b>Grau</b>	<b>Alteração intempérica</b>	<b>Microfissuramento</b>
Incipiente	Cristais praticamente límpidos e sem presença de hidróxidos de ferro, mesmo em fissuras.	fissuras praticamente imperceptíveis.
Fraco	Muito leve turbidez de cristais de plagioclásio, incipientes modificações em minerais máficos e poucos hidróxidos de ferro associados.	microfissuras perceptíveis; predominantemente intragranulares, fechadas e, frequentemente, sem preenchimento
Moderado	Cristais de plagioclásio, especialmente nos núcleos, turvos por argilominerais, frequentemente com carbonato, sericita e hidróxidos de ferro associados. Biotita parcialmente alterada, com liberação de hidróxidos de ferro. Outros minerais também podem estar parcialmente alterados, como sillimanita, em filossilicatos secundários.	microfissuras totalmente perceptíveis; predominantemente intra e intergranulares, preenchidas, mas pouco largas.
Forte	Feldspatos, especialmente plagioclásio, parcialmente alterados em argilominerais, com sericita, carbonato e hidróxidos de ferro associados. Demais minerais, exceto quartzo, apresentam-se, em diferentes intensidades, parcial a totalmente alterados, principalmente em argilominerais e hidróxidos de ferro.	microfissuras totalmente perceptíveis, trans, inter e intragranulares, preenchidas e largas.

<sup>3</sup> A relação completa encontra-se após a bibliografia, no final deste capítulo.

- Absorção: é a capacidade de assimilação ou incorporação de água pela rocha, ou seja, a relação entre a massa seca e o volume de água absorvida, em porcentagem.

a) densidade aparente ( $\rho_a$ ) é relação entre a massa e o volume aparente da rocha, em kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{(M_{sec} - M_{sub})} \times 1000 \quad \text{Equação 4}$$

NOTA: Valor assumido para a densidade aparente da água como sendo de 1 000 kg/m<sup>3</sup>.

b) porosidade aparente ( $\eta_a$ ) é a relação entre o volume de vazios e o volume total, determinada pela razão entre a massa seca e a massa saturada em água, em porcentagem.

$$\eta_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

c) absorção de água ( $\alpha_a$ ), em porcentagem. Usualmente considera-se este parâmetro como o valor numérico que reflete a capacidade de incorporação de água que, por sua vez, é elemento cujo contato prolongado e repetitivo pode levar à deterioração do material.

$$\alpha_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

onde:

$M_{sec}$ : massa seca (g);

$M_{sat}$ : massa saturada (g);

$M_{sub}$ : massa submersa (g).

**capilaridade**



EN 1925

A absorção depende do sistema poroso da rocha, que é responsável pela permeabilidade à água, que por sua vez depende da estrutura capilar. A determinação do coeficiente de capilaridade indica a máxima absorção de uma rocha ao ser imersa em água por tempo previamente estabelecido.

Não se trata de ensaio rotineiro no Brasil, por não ser adequado para rochas com porosidade menor que 1%, ou seja, granitos, gnaises e quartzitos, muito comuns no país.

**dilatação térmica**



NBR 15845:2010 (Anexo C)

EN 14581

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.

$$\beta_1 = \frac{\Delta L}{L_0 \times \Delta T} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

- $\beta$ : coeficiente médio de dilatação térmica linear (no aquecimento e resfriamento), em mm/m°C;
- $\Delta L$ : diferencial de comprimento do corpo de prova (no aquecimento e resfriamento), em mm;
- $L_0$ : comprimento inicial do corpo de prova, em m;
- $\Delta T$ : diferencial de temperatura (no aquecimento e resfriamento), em °C;

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 pétreas, que causa, ao longo do tempo, fissuramentos e até quebra, com risco de queda do material.

**Dureza Knoop**



**EN 14205**

- Dureza: corresponde à resistência do mineral ao risco ou abrasão, usualmente medida por meio da resistência que a superfície do mineral oferece ao risco por outro mineral ou outro material.

A determinação desta propriedade é referida a uma escala padrão de dez minerais, conhecida como Escala de Mohs (Tabela 11).

**Tabela 11** - Escala de dureza Mohs.

Escala de Dureza	Minerais Padrões	Composição Química	Referências Relativas	Tipos de Minerais
1	Talco	$Mg_3Si_4(OH)_2$	Riscam-se com a unha	Moles
2	Gipso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$		
3	Calcita	$CaCO_3$	Risca-se com objeto de cobre	
4	Fluorita	$CaF_2$	Riscam-se com canivete ou vidro	Semiduros
5	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$		
6	Ortoclásio	$KAlSi_3O_8$	Risca o vidro com dificuldade	
7	Quartzo	$SiO_2$	Riscam o vidro	
8	Topázio	$Al_2SiO_4(OH,F)_2$		Duros
9	Coríndon	$Al_2O_3$	Riscam o vidro com facilidade	
10	Diamante	C		

Relativamente às rochas ornamentais e para revestimento, dureza tem sido referida como:

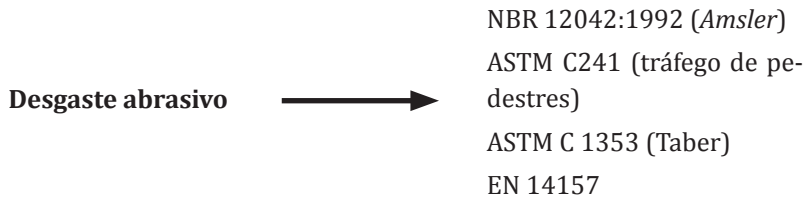
- Resistência ao corte pelos instrumentos utilizados na lavra e processamento (corte e polimento) e, consequentemente, na velocidade de desgaste dos diversos insumos (lâminas, granalha etc.), ou
- resistência ao desgaste abrasivo pelo trânsito de pedestres ou veículos.



A microdureza Knoop (HK ou HKN) é uma das técnicas disponíveis para inferir a dureza das rochas. Realizada ao microscópio, consiste em pressionar a superfície polida da rocha com uma força conhecida, com uma ponta de diamante de formato piramidal, por um tempo definido, e medir a indentação resultante. Essa determinação é feita em 20 a 40 pontos e os valores obtidos para HK (*Hardness Knoop*) em geral situam-se no intervalo entre 1 GPa e 10 GPa.

Essa técnica ainda é pouco utilizada devido à difícil generalização para rochas pluriminerálicas (como granitos e gnaisses), pois as diferenças tanto nas proporções quanto na dureza dos minerais formadores interferem nos resultados. Por isto, na ausência de técnicas e ensaios amplamente adotados e sua extensão para a fabricação de insumos e equipamentos, é frequente se considerar a dureza dos diferentes minerais formadores e o seu estado de coesão e alteração, para inferir a dureza da rocha.

Assim, é possível, como orientação geral, se hierarquizar a “dureza” dos diferentes grupos de rochas: quartzitos > granitos/gnaisses > ardósias ≥ calcários e mármore (FRASCÁ 2004, 2010).



O desgaste abrasivo por atrito, devido ao tráfego de pessoas ou veículos, é objeto de várias normas distintas, conforme a entidade normalizadora e material, cujos resultados não são comparáveis entre si, pouco colaborando para o conhecimento do comportamento dos diferentes materiais rochosos.

No Brasil, adota-se a determinação de desgaste por meio do tribômetro *Amsler*, que consiste na medição da redução de espessura (mm) que placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo de 1.000 m, com o uso de areia essencialmente quartzosa como abrasivo.

O desgaste, importante parâmetro para placas pétreas aplicadas no revestimento de pisos, é inicialmente notado pela modificação no brilho da face polida, sendo que a perda de material propriamente dita somente ocorre após um tempo relativamente longo de uso, desde que o material tenha sido adequadamente especificado para a intensidade de tráfego do local.

### 3.5. Propriedades mecânicas

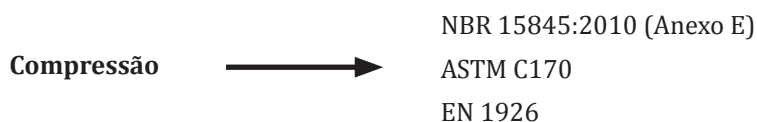
A resistência mecânica dos diferentes tipos rochosos é diretamente influenciada por algumas características que permitem antecipar o comportamento do material perante as diversas solicitações de carga ou esforços.

- **Estrutura:** a isorientação mineral decorrente das deformações tectônicas de parte das rochas metamórficas, e a estratificação presente em algumas rochas sedimentares conferem-lhes anisotropia, entendida como a variação espacial das propriedades mecânicas, conforme o plano considerado. Para conhecimento dos valores nos diferentes planos convencionou-se, nos ensaios laboratoriais, independentemente da entidade normalizadora, a determinação da resistência mecânica segundo aqueles que representariam os maiores e menores valores, quais sejam paralela e ortogonalmente à direção da estruturação principal.

A ASTM sugere a utilização dos menores valores na elaboração de projetos de revestimento, ampliando a segurança da obra.

- Granulação: rochas com granulação mais fina são, usualmente, relativamente mais resistentes que aquelas de granulação mais grossa. A heterogeneidade granulométrica, como nas rochas porfíricas (ígneas) ou porfiroblásticas (metamórficas), também afeta a resistência mecânica, pois cristais com grandes dimensões tornam-se pontos de fraqueza (sujeitos à ruptura com menores cargas).

A ABNT e ASTM solicitam a realização de ensaios mecânicos em corpos de prova secos (em estufa) e saturados (em água), pois diversos estudos mostram que a presença da água na rocha provoca vários efeitos, dentre os quais a redução da resistência mecânica, provavelmente ligada à geração de tensões internas.



A resistência à compressão (MPa) 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 rochoso a ser utilizado como elemento estrutural, ou seja, com a finalidade de suportar cargas.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \qquad \text{Equação 8}$$

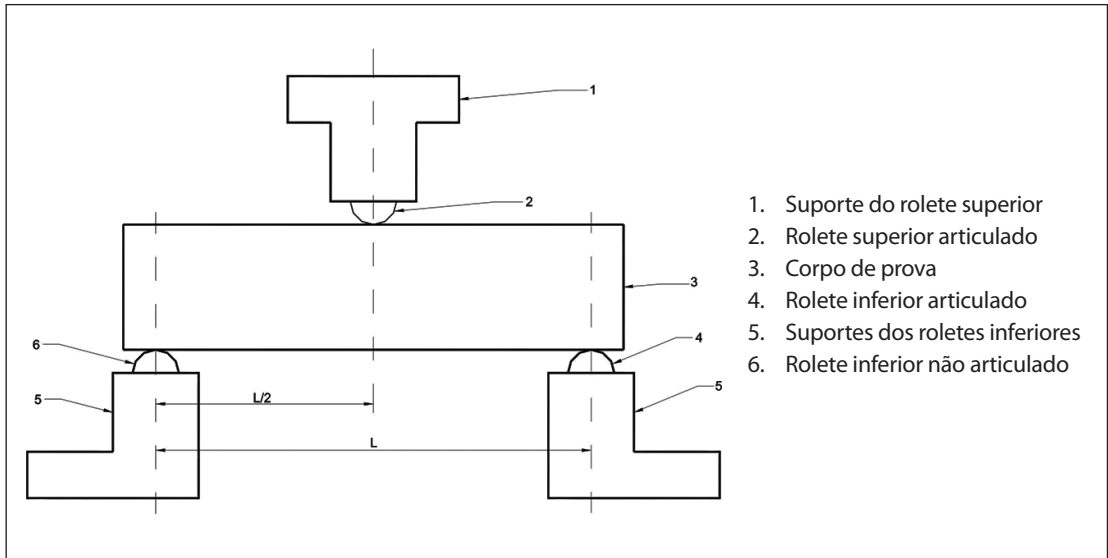
onde:

- $\sigma_c$ : tensão de ruptura na compressão (MPa);
- $P$ : força máxima de ruptura/ (kN);
- $A$ : área da face do corpo de prova submetida a carregamento (m<sup>2</sup>).

Indiretamente, fornece informações acerca da integridade física da rocha, pois a obtenção de valores menores do que aqueles característicos para o tipo rochoso em questão sugerem a presença de discontinuidades (fissuras, fraturas), alteração intensa e outros.



O ensaio de determinação do módulo de ruptura (ou flexão por carregamento em três pontos) determina a tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores (Fig. 25), no caso, também provocando esforços de tração na face oposta ao rolete superior. Permite se avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, possibilitando o cálculo de parâmetros, como espessura.



**Figura 25** - Corpo de prova e dispositivo de ensaio para determinação do módulo de ruptura em rochas (Extraído de: ABNT NBR 15845:2010 - Anexo F).

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad \text{Equação 9}$$

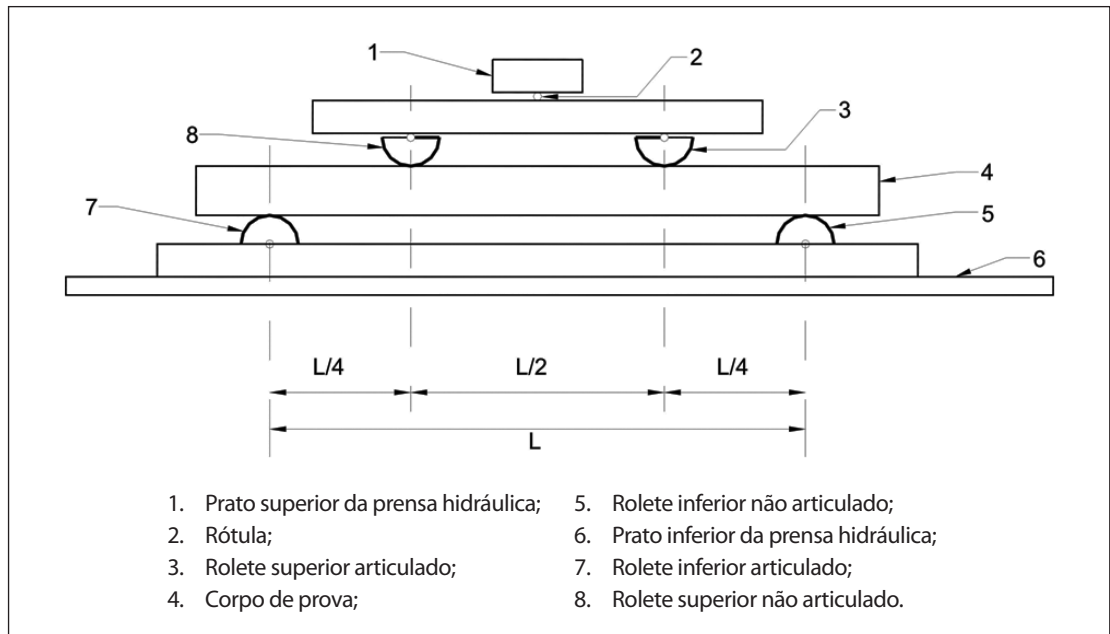
onde:

- $\sigma_f$ : valor numérico do módulo de ruptura (MPa);
- $P$ : força de ruptura (KN);
- $L$ : distância entre os roletes inferiores (m);
- $b$ : largura do corpo de prova (m);
- $d$ : espessura do corpo de prova (m).

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.

flexão → NBR 15845:2010 (Anexo F)  
ASTM C99  
EN 12372

O ensaio de flexão (ou flexão por carregamento em quatro pontos) simula os esforços flexores em placas de rocha, com espessura predeterminada (Fig. 26), no caso simulando efeito do vento em placas de rocha fixadas em fachadas com ancoragens metálicas. Por isso é obrigatório em rochas destinadas a esse fim, preferencialmente em amostras com as mesmas características (tamanho, espessura e acabamento) daquelas que serão utilizadas na obra.



**Figura 26** - Corpo de prova e dispositivo de ensaio para determinação da resistência à flexão em rochas (Extraído de: ABNT NBR 15845:2010 - Anexo G).

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{4 \times b \times d^2} \quad \text{Equação 10}$$

onde:

$\sigma_f$ : módulo de ruptura (MPa);

$P$ : força de ruptura (KN);

$L$ : distância entre os roletes inferiores (m);

$b$  é o valor numérico da largura do corpo de prova, expresso em metros (m);

$d$  é o valor numérico da espessura do corpo de prova, expresso em metros (m).

### 3.6. Outros ensaios

Vários outros ensaios, alguns deles listados na Tabela 12, estão disponíveis nas diferentes entidades normalizadas para determinação de propriedades específicas, importantes, mas consideradas não tão fundamentais como as descritas nos itens anteriores.

Especial menção é feita à propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, que permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas, cuja relevância consiste em ser um dos ainda raros ensaios não destrutivos disponíveis para verificação de propriedades rochosas. Vários fatores influenciam a velocidade de propagação de ondas em uma rocha: composição mineralógica, granulção, textura, tamanho, porosidade, anisotropia, temperatura ambiente etc. Em um conjunto de corpos de prova de uma mesma amostra ou entre amostras de rochas semelhantes, valores relativamente mais altos, indicam um menor grau de alteração e uma maior coesão dos minerais, geralmente interpretados como indicadores de boa resistência mecânica.



Esta técnica é muito empregada na avaliação da degradação de rochas, especialmente em estudos de conservação de monumentos históricos. Também é bastante útil para avaliação de resultados laboratoriais inesperados em corpos de prova aparentemente homogêneos e similares.

**Tabela 12** - Alguns exemplos de ensaios tecnológicos complementares.

Ensaio	Norma	
	ASTM	CEN
Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais	ASTM D 2845	EN 14579
Módulo de Elasticidade	ASTM C 1352 (na flexão)	EN 14146 (frequência de ressonância)
Resistência ao escorregamento	-	EN 14231
Resistência nos pontos de ancoragem	ASTM C1354	EN 13364
Impacto de corpo duro	ABNT NBR 15845:2010 (H)	EN 14158

### 3.7. Especificações e requisitos

Especificações constituem-se na proposição de valores limites, máximos e mínimos, para as propriedades determinadas nos diferentes materiais rochosos, com o objetivo de auxiliar a avaliação da qualidade tecnológica das rochas, independentemente, em princípio, do tipo de utilização futura dos produtos beneficiados. Têm sido alvo de trabalho de várias comissões e de publicações no âmbito da ABNT, da ASTM e do CEN, estas com características distintas no tratamento e entendimento dessa questão.

Pedras de alvenaria, seja na forma natural (sem aparelhamento ou processamento), seja como aproveitamento de resíduos de marmorarias, empregadas na construção ou revestimento de muros e paredes, não são objeto de normas ou especificações conhecidas. Porém, por se tratarem de materiais comumente usados em exteriores, eventualmente com função de suportar cargas, é importante que sejam inalterados e com dimensionamento adequado para a finalidade.

#### *Normativas americana e brasileira*

A normativa americana e a brasileira têm uma abordagem bastante semelhante. Ambas estabelecem valores típicos para propriedades físicas e mecânicas de grandes grupos de rochas para revestimento (Tabelas 13, 14, 15) visando orientar a avaliação tecnológica de um material pétreo com base na comparação com aqueles apresentados por rochas semelhantes. Assim, em caso de características muito discrepantes em relação às esperadas, são recomendáveis investigações complementares ou alterações no projeto arquitetônico, como, por exemplo, a readequação da espessura e/ou tamanho das placas pétreas.

Os valores expressos nestas especificações mostram que nas rochas ígneas e metamórficas a porosidade é relativamente mais baixa e as resistências mecânicas relativamente mais altas que nas rochas sedimentares, por serem mais compactas e coesas e por seu sistema poroso ser configurado pelas relações entre microfissuras, alterações em minerais (como, por exemplo, núcleos alterados de feldspatos) e não por espaços entre grãos (poros propriamente ditos).

**Tabela 13** - Especificações para granitos – ABNT e ASTM.

Propriedade	Norma	
	ABNT NBR 15844	ASTM C 615
Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	>2.550	≥2.560
Porosidade aparente (%)	1,0	n.e.
Absorção d'água (%)	<0,4	≤0,4
Compressão uniaxial (MPa)	>100	131
Módulo de ruptura (carregamento em três pontos) (MPa)	>10,0	10,34
Flexão (carregamento em quatro pontos) (MPa)	>8,0	8,27
Coefficiente de dilatação térmica linear [10 <sup>-3</sup> mm/(m x °C)]	<8,0	n.e.
Impacto de corpo duro (m)	>0,3	n.e.
Desgaste Amsler (mm/1000 m)	<1,0	n.e.

Nota: n.e. = não especificado.

**Tabela 14** - Especificações para mármore, calcários, travertinos, arenitos e quartzitos - ASTM.

Norma	Tipo de Rocha	Uso	$\rho$	$\alpha$	$\sigma_c$	$\sigma_{trf}$	$\sigma_f$
ASTM C 503	Calcita Mármore	Exterior	≥2.595	≤0,20	≥52	≥7	≥7
	Dolomita Mármore		≥2.800				
ASTM C 568	Calcário	I - Baixa densidade	≥1.760	≤12	≥12	≥2,9	n.e.
		II - Média densidade	≥2.160	≤7,5	≥28	≥3,4	
		III - Alta densidade	≥2.560	≤3	≥55	≥6,9	
ASTM C 1527	Travertino	I - Exterior	≥2.305	≤2,5	≥52	≥6,9	≥6,9
		II - Interior			≥34,5	≥4,8	≥4,8
ASTM C 616	I – Arenito (≥60% sílica livre)		≥2.003	≤8	≥27,6	≥2,4	n.e.
	II – Arenito quartzítico (≥90% sílica livre)		≥2.400	≤3	≥68,9	≥6,9	
	III – Quartzito (≥95% sílica livre)		≥2.560	≤1	≥137,9	≥13,9	

Nota:  $\rho$  = densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>);  $\alpha$  = absorção d'água (%);  $\sigma_c$  = resistência à compressão uniaxial (MPa);  $\sigma_{trf}$  = resistência à tração na flexão (MPa);  $\sigma_f$  = resistência à flexão (MPa) ; n.e. = não especificado.

**Tabela 15** - Especificações para ardósias - ASTM.

Norma	Uso	$\rho$	$\alpha$	$\sigma_c$	$\sigma_{trf}$	$\sigma_f$	Profundidade de amaciamento <sup>(a)</sup> (mm)
ASTM C 629	I – Exterior	n.e.	0,25	n.e.	49,6* / 62,1**	n.e.	≤0,38
	II – Interior		0,45		37,9* / 49,6**		≤0,64
ASTM C 406	Grau S1(b)	n.e.	0,25	n.e.	62**	n.e.	≤0,05
	Grau S2(b)		0,38				≤0,20
	Grau S3(b)		0,45				≤0,36

Nota:  $\rho$  = densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>);  $\alpha$  = absorção d'água (%);  $\sigma_c$  = resistência à compressão uniaxial (MPa);  $\sigma_{trf}$  = resistência à tração na flexão (MPa);  $\sigma_f$  = resistência à flexão (MPa); n.e. = não especificado.

### Normativa europeia

A normativa europeia, a partir do conhecimento das propriedades tecnológicas da rocha mediante ensaios em laboratório, procura estabelecer procedimentos de controle de fornecimento e recepção em obras, com o intuito de garantir estatisticamente os valores característicos e as propriedades do produto, conforme o uso e projeto arquitetônico a que se destinam.

As normas do CEN também introduzem a obrigatoriedade do fabricante ter um sistema de qualidade interno que permita facilitar e garantir aos clientes os parâmetros que definem as características da rocha. Estabelecem, conforme o uso, as propriedades para a caracterização inicial do material, a frequência do controle da produção de fábrica, procedimentos para atestados de conformidade e, por fim, as características essenciais que deverão acompanhar o produto.

## 4. Alteração e alterabilidade das rochas ornamentais

O processo de alteração das rochas se inicia, naturalmente, ao serem expostas na superfície terrestre, em resposta às novas condições atmosféricas e pela atuação do intemperismo.

São reconhecidos dois tipos principais de intemperismo: físico e químico, que embora com características distintas geralmente ocorrem concomitantemente, com a prevalência de um sobre o outro a depender dos agentes intempéricos atuantes (clima, relevo etc.), da composição e características intrínsecas das rochas e do tempo de atuação.

O intemperismo físico consiste em uma série de processos acumulativos que culminam na quebra mecânica (fraturamento) das rochas e sua desintegração. O químico ocorre por meio de reações químicas entre minerais e solventes (essencialmente água e demais componentes transportados em solução), controladas pelas condições de pH e Eh (potencial de oxidação) do meio, que provocam a decomposição química dos minerais e a formação de novos produtos, estáveis nas novas condições. Note-se que neste processo, as reações são controladas tanto pela solubilidade dos constituintes minerais, como pela porosidade da rocha.

Caracteristicamente, os processos intempéricos atuam lentamente, e as modificações e/ou alterações são notadas ao longo de um tempo em escala geológica, ou seja, de milhares ou milhões de anos.

## 4.1. Alterabilidade

Ao serem utilizadas na construção civil, as rochas são expostas a condições ambientais diferentes daquelas em que se encontravam, bem como a novas solicitações de uso, as quais passaram a atuar na sua alteração e, muitas vezes, a acelerá-la.

Introduziu-se, então, o conceito de alterabilidade, como a aptidão da rocha em se alterar em função do tempo mas, neste caso considerado em escala humana, ou seja, em períodos de dias a anos, nos quais os fenômenos ocorrem concomitantemente ao uso e às obras de engenharia (AIRES-BARROS, 1991).

Constituem, para isto, como já mencionado, como os fatores relevantes:

Características intrínsecas da rocha (tipo e natureza da rocha, grau de alteração e de fissuramento, porosidade e configuração do sistema poroso e outros), agora com especial relevância para aquelas existentes na superfície da rocha que será exposta à alteração; em geral a face polida.

Relativamente às rochas para revestimento, os impactos e desgastes a que são submetidas na sua produção, ou seja, o desmonte em blocos e seu subsequente desdobramento em chapas, resinagem<sup>4</sup>, acabamento de superfície, corte em placas e ladrilhos e processamento<sup>5</sup>, passam a ter grande influência, pois tendem a modificar as características naturais da rocha, como aumentar o microfissuramento, porosidade e outros (DIB *et al.*, 1999; FRASCÁ, 2002 a, b, 2003), favorecendo ou acelerando a alteração dos constituintes ao serem expostos a novas condições ambientais.

Fatores extrínsecos: relacionados às características ambientais em que ocorre a alteração (temperatura, pH, Eh, umidade, forças bióticas) e das solicitações da situação de uso (Fig. 27), bem como dos materiais e procedimentos para colocação (assentamento e fixação) e manutenção (FRASCÁ; QUITETE, 1999, FRASCÁ, 2010). Nestes processos, são relevantes não só a intensidade, como também o caráter cíclico dos fatores externos.

Os principais agentes antrópicos e atmosféricos que atuam diretamente nas rochas utilizadas em revestimento, exibidos na figura 27, são:

- Umidade, nas suas várias formas (chuva, névoa, umidade relativa do ar e outras), é considerada um dos mais importantes agentes deletérios, pois possibilita a reação química dos constituintes da rocha, o transporte de sais solúveis e a ação de poluentes atmosféricos;
- Temperatura, que pode acelerar as reações químicas na presença de umidade, em especial as de oxidação (transformação de  $Fe^{2+}$  em  $Fe^{3+}$ );
- Insolação e resfriamento, responsáveis pelos movimentos térmicos (dilatação e contração e choques térmicos);
- Vento e energia cinética, que promovem ação abrasiva sobre as paredes e movimentos fletores; e
- Poluentes atmosféricos (gasosos e aerossóis), que aceleram e condicionam as alterações, especialmente as relativas à cristalização de sais.

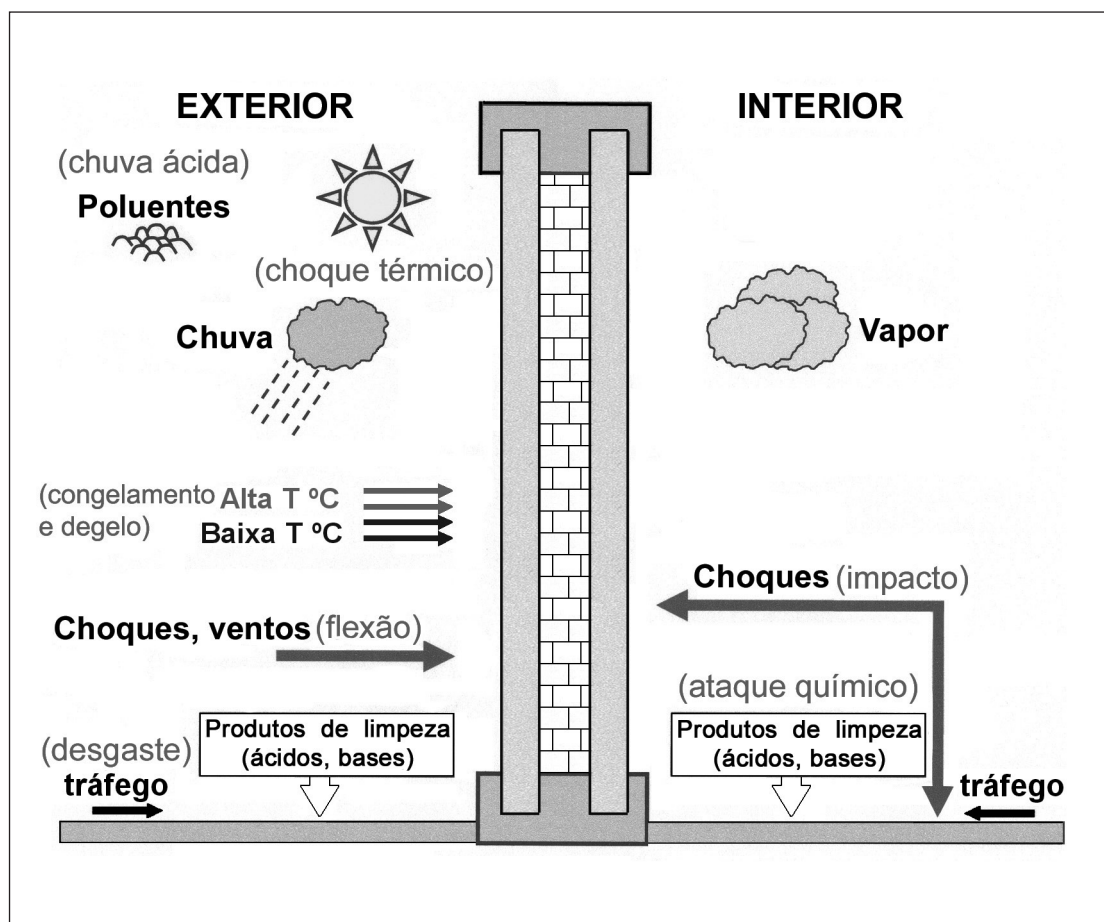
---

<sup>4</sup> Resinagem: processo de recuperação e valorização de chapas pétreas contendo cavidades, fissuras, fraturas ou outras irregularidades superficiais, que consiste na aplicação de uma resina adesiva à base de epóxi, poliéster ou acrílico na face da placa e aguardar sua cura para realização de polimento (ASTM, 2012).

<sup>5</sup> Processamento: trabalhos envolvidos na transformação de blocos em rocha dimensionada, incluindo: serragem, levigagem, furação, corte e outras operações necessárias para a colocação (ASTM, 2012).



A ação desses agentes isoladamente ou em conjunto pode provocar a deterioração da superfície exposta da rocha, por meio da modificação de seu aspecto estético (perda de brilho e alteração de cor ou manchamentos) até sua danificação (esfoliações, escamações, quebras etc.).



**Figura 27** - Principais solicitações em rochas para revestimento (Frasca 2010).

A durabilidade, termo antônimo, é definida como a capacidade da rocha em manter a aparência e as características essenciais e distintivas de estabilidade e resistência à degradação ao longo do tempo (ASTM, 2008). Esse tempo depende do meio ambiente, do uso e da finalidade da rocha em questão (por exemplo, em exteriores ou interiores) e está fundamentalmente relacionado à adequada manutenção e conservação.

## 4.2. Deteriorações – mecanismos e condicionantes

A deterioração é o conjunto de mudanças nas propriedades dos materiais de construção no decorrer do tempo, quando em contato com o ambiente natural. Implica na degradação e o declínio na resistência e aparência estética, nesse período (VILES, 1997).

As patologias, em especial nas rochas para revestimento, correspondem às degradações que podem ocorrer durante ou após a execução de uma obra, como resultado da utilização de procedimentos inadequados de colocação, de limpeza e de manutenção, muitas vezes em decorrência da adoção de critérios incorretos na escolha e dimensionamento da rocha (FRASCÁ 2003).

É importante ressaltar que modificações que ocorram ao longo do tempo, sob condições adequadas de uso e manutenção, são consideradas acomodações naturais (envelhecimento) da rocha e não devem ser classificadas como patologias.

Para que tanto a deterioração como as patologias se manifestem são necessários dois fatores: os agentes que as condicionam e os mecanismos para que ocorram.

Os estudos diagnósticos de patologias em rochas ornamentais, bem como das degradações de materiais rochosos empregados em construções e monumentos históricos, são realizados com o objetivo de caracterizar o processo de alteração e de identificar suas possíveis causas, ou seja, seus condicionantes e mecanismos.

A principal técnica para o estudo diagnóstico de degradações de materiais rochosos é a petrografia, auxiliada por outras técnicas como a difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de raios X, por dispersão de energia (EDS), acoplado (FRASCÁ; QUITETE 1999).

Em geral, as patologias são mais comumente relatadas em rochas empregadas no revestimento de pisos e, menos comumente, paredes e fachadas. A seguir, citam-se como exemplos, as deteriorações por manchamentos e cristalização de sais.

### ***Manchamentos***

Manchamentos geralmente constituem áreas irregulares, dispostas pela superfície exposta da rocha, exibindo mudanças de tonalidade ou de coloração. Normalmente representam uma deterioração predominantemente estética, pois na maioria dos casos não resultam em decaimento de propriedades físicas e mecânicas.

Decorrem da ação da umidade, geralmente em conjunto com a utilização de materiais inadequados para o assentamento e/ou a manutenção e podem ocorrer em períodos de dias a até poucos meses após a colocação.

Amarelecimento ou manchamento ferruginoso por vezes com tonalidades esverdeadas, em pisos, é um dos mais comuns. Ocorre principalmente em rochas de cor branca, sejam mármore ou granitos.

- Condicionantes: ainda não se dispõe de dados conclusivos sobre os agentes ou conjunto de fatores que desencadeia esta alteração. Entretanto, parece decorrer da ação da água da argamassa, percolando ascendentemente a placa pétrea, tanto “pura” como em solução com impurezas da própria argamassa ou outros elementos presentes na própria água ou em materiais a que estiveram expostas durante o assentamento;
- Mecanismos: evidências apontam dois possíveis mecanismos:
  1. alteração das condições físico-químicas, induzindo mudanças no ferro naturalmente presente na rocha, do estado ferroso para o férrico ( $\text{Fe}^{2+}$  para  $\text{Fe}^{3+}$ ).
  2. “deposição” de impurezas, provavelmente óxidos ou hidróxidos de ferro carreados pela água, em microdescontinuidades presentes nos minerais formadores da rocha.

Clareamento, branqueamento ou descoloração: modificação de cor que pode ocorrer em rochas escuras, comum em granitos, especialmente os “granitos pretos” e “pedra Miracema”, esta comumente aplicada em calçamentos públicos.

- Condicionantes: exposição a substâncias com pH ácido (ácido clorídrico, sulfúrico, dentre outros) e, mais raramente, com pH muito básico (soda cáustica, por exemplo), utilizadas na limpeza ou manutenção.
- Mecanismo: estudos petrográficos demonstraram que a mudança de cor se relaciona à oxidação e/ou lixiviação do ferro presente nos minerais máficos (principalmente biotita), que tendem a empobrecer nesse elemento (FRASCÁ 2004, 2010).

Considera-se manchamento o aparecimento de áreas com aspecto molhado ou “escurecimento” ao redor de juntas, em pisos, paredes e fachadas, se rejuntadas com materiais à base de silicone. Provavelmente resulta da absorção de componentes dessas resinas, que não se esvaecem, permanecendo no material, a despeito do aquecimento solar ou da chuva.

### ***Cristalização de sais***

A cristalização de sais é um dos agentes intempéricos mais poderosos, pois promove a degradação de rochas em ambientes marinhos, climas úmidos e ambientes poluídos. Sua ação em um meio poroso causa a perda de coesão entre os grãos.

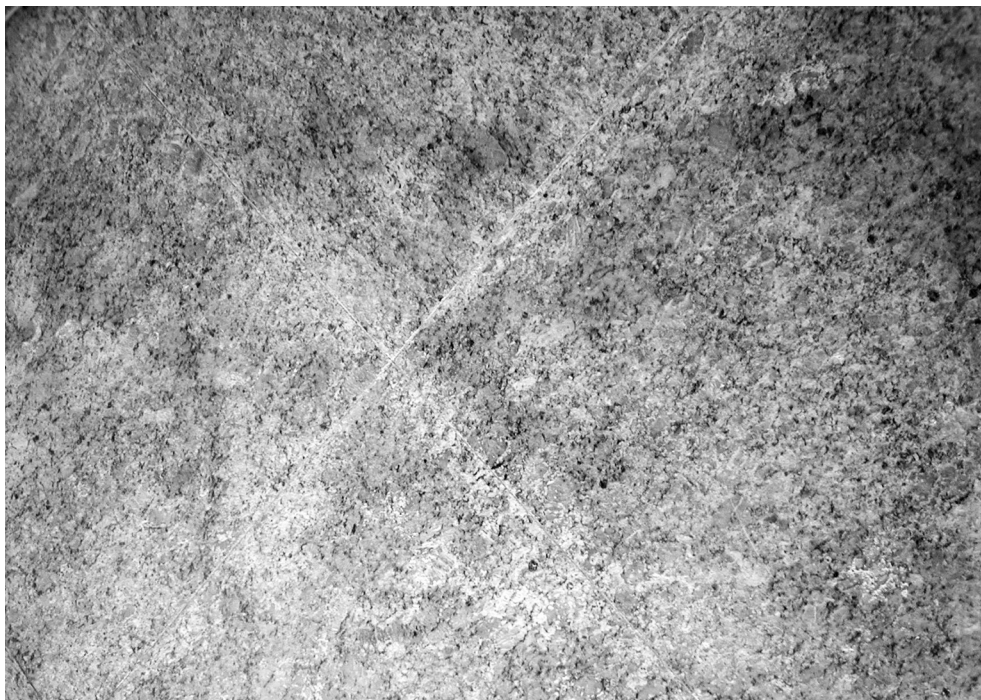
Em uma edificação, nas proximidades do solo, uma solução salina pode ascender através da rocha por capilaridade até a altura potencial de ascensão capilar, denominada zona capilar, na qual ocorre a evaporação e consequente cristalização dos sais.

A zona capilar, que depende do sistema poroso da rocha, é onde ocorrem as eflorescências (quando sais se cristalizam na superfície da rocha) e subeflorescências (quando sais se cristalizam abaixo da superfície exposta da rocha) (Fig. 28).



(a)





(b)



(c)

**Figura 28** - Efeitos de degradações por subeflorescência em edificação histórica (a) e em piso residencial recente (b). Em (c), exemplo de eflorescência em muro. FOTOS: M.H.B.O.Frască.



Os sais solúveis podem ser originários do solo ou da argamassa de assentamento. Sua cristalização dentro de poros ou microdescontinuidades gera pressões capazes de superar os limites elásticos do material, causando sua quebra. Esse mecanismo pode levar à completa degradação e destruição da rocha.

**Subeflorescências:** é uma patologia que provoca desde modificações estéticas até a desintegração das rochas. É um fenômeno verificado predominantemente em rochas graníticas, de procedências geológicas e locais de processamento distintos, destacadamente quando assentadas com argamassa, em pisos térreos de edificações – residenciais ou comerciais (Frasca 2004, 2010; Frasca; Yamamoto, 2004, 2006, 2008).

- **Condicionantes:** presença de elementos químicos (principalmente sulfatos) em solução e carregados com a água da argamassa em movimentação ascendente pela placa ou ladrilho.
- **Mecanismo:** é a pressão de cristalização dos sais em microfissuras subparalelas à face polida da placa de revestimento, cuja intensidade depende do grau de saturação da solução salina e do tamanho do poro ou capilar. A deterioração inicia-se pelo aspecto de umidade nas bordas de ladrilhos, próximas às juntas. Com o decorrer do tempo verifica-se a perda de brilho da face polida, em áreas de dimensões e formas variáveis, conferindo-lhe aspecto opaco. Na sequência, há o inchamento, que é o surgimento de protuberâncias em pontos aleatoriamente distribuídos e, finalmente, a escamação, que é o despegamento de fragmentos de minerais, resultando em cavidades.

**Eflorescências:** fenômeno mais comumente observado em paredes (exteriores), nas quais as pedras foram colocadas com argamassa. Constitui na cristalização de material, usualmente esbranquiçado, que aflora a partir das juntas, na superfície da rocha, formando crostas salinas que chegam a recobrir parte das placas de revestimento.

### **4.3. Ensaios de alteração acelerada**

Uma importante propriedade das rochas para revestimento é sua durabilidade, que pode ser comprometida pela interação com fenômenos externos.

O conhecimento dos mecanismos e da taxa de atuação dos agentes degradadores é muito útil para a seleção da rocha para determinado empreendimento e para o estabelecimento de medidas preventivas e de proteção do material rochoso para aumento da vida útil. Com esse intuito, são elaborados e realizados ensaios de envelhecimento ou alteração acelerada, em laboratório, que simulam situações potencialmente degradadoras, por meio da exposição da rocha a agentes intempéricos e poluentes atmosféricos (Tabela 16).

A avaliação dos efeitos geralmente é feita por inspeção visual ao final do ensaio, por comparação com corpos de prova padrão que não foram ensaiados; mas também pode ser realizada pela verificação da modificação na resistência mecânica após os ensaios.

O desenvolvimento dos ensaios é objeto de várias pesquisas e ações que, geralmente, resultam em normas, muitas já disponíveis pelo CEN, que os denominam ensaios de envelhecimento.

Ressalta-se que os ensaios de alteração acelerada compõem o quadro de ensaios de caracterização tecnológica e que visam o reconhecimento do potencial desempenho de materiais rochosos nas condições de aplicação e atmosféricas previamente ao seu uso e que não objetivam o reconhecimento das causas e mecanismos de degradações já ocorridas, para o que existem os estudos diagnósticos.

**Tabela 16** - Ensaio de alteração acelerada em rochas ornamentais.

<b>Ensaio</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Intempéries</b>	
Congelamento e degelo (ABNT NBR 15845 – Anexo C / EN 12371)	Verificação da eventual queda de resistência da rocha (por ensaios mecânicos) após 25 ciclos de congelamento e de degelo.
Choque térmico (EN 14066)	Verificação da eventual queda de resistência da rocha (por ensaios mecânicos) após simulação de variações térmicas bruscas que propiciem dilatação e contração constantes (Frascá; Yamamoto 2010)
Exposição a atmosferas salinas (EN 14147)	Simulação, em câmaras climáticas, de ambientes marítimos ricos em sais e potencialmente degradadores e verificação visual das modificações decorrentes.
<b>Ação de Poluentes</b>	
Exposição a atmosferas de dióxido de enxofre (FRASCÁ, 2003)	Simulação, em câmaras climáticas, de ambientes urbanos poluídos (umidade e H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), potencialmente degradadores de materiais rochosos, e verificação visual das modificações decorrentes.
<b>Cristalização de Sais</b>	
Imersão parcial (EN 13919 / FRASCÁ, 2003)	Imersão parcial de corpos de prova em soluções de natureza ácida (ácido sulfúrico) para simulação da cristalização de sais (eflorescências e subeflorescências) na face polida dos ladrilhos.
Saturação e secagem (EN 12370)	Consiste em número determinado de ciclos de imersão de corpos de prova em solução salina e secagem em estufa. Rochas porosas (arenitos, por exemplo) podem se desintegrar antes do final do ensaio. Pouco apropriado para granitos.

#### 4.4. Ensaio para orientação de manutenção

A principal regra da conservação é a da mínima intervenção, e a prevenção é a ação mais indicada, quando efetivada por meio de procedimentos adequados de manutenção e limpeza.

A limpeza é fundamental para valorizar as qualidades arquitetônicas das edificações e para uma adequada conservação dos materiais que as compõem. É uma operação delicada e realizada incorretamente, poderá danificar o material de maneira irreversível.

Com o intuito de orientar a limpeza e manuseio da rocha após sua aplicação, especialmente em pisos e balcões, tem sido rotineiramente utilizados ensaios laboratoriais (Tabela 17) com o objetivo de verificar a susceptibilidade das rochas a reagentes químicos presentes em produtos de limpeza aos quais pode ser exposta durante seu uso, manutenção e limpeza. Mais recentemente, passa a ser realizada a determinação da resistência ao manchamento visando avaliar, sob o ponto de vista estético, a ação deletéria de agentes manchantes, quando acidentalmente em contato com a rocha.

Para a conservação das obras e dos materiais de construção empregados, existe atualmente uma enorme oferta de produtos químicos, especialmente silicones e resinas de base acrílica, epóxi etc., que se propõem a preservá-los das intempéries e ações antrópicas, por meio de ações hifrofugantes, impermeabilizantes, consolidantes e outras. É um vasto campo em que as rochas também estão inseridas.

A despeito da importância destas ações, ainda há uma lacuna de conhecimento sobre os efeitos benéficos e a durabilidade desses produtos, especialmente nas rochas graníticas, visto que a maior parte das informações disponíveis sobre a utilização desses produtos é na conservação e recuperação de monumentos históricos europeus, predominantemente construídos com arenitos e calcários.

Com a finalidade de avaliar a efetividade de resinas aplicadas em materiais pétreos destinados a revestimentos de exteriores, experimentalmente recorre-se a ensaios de intemperismo artificial (FRASCÁ, 2004), que não tem norma específica, realizados em câmaras de condensação e radiação de luz ultravioleta que, por exposição a ciclos de umedecimento e secagem simulam as intempéries, e objetivam verificar a possível fotodegradação das resinas.

**Tabela 17** - Ensaios de resistência ao ataque de produtos químicos e agentes manchantes.

Ensaio	Objetivo
Resistência ao ataque químico (ABNT NBR 13.819, Anexo H, modificado)	Consiste na exposição, por tempos predeterminados, da superfície polida da rocha a alguns reagentes comumente utilizados em produtos de limpeza, para verificar-se a susceptibilidade da rocha ao seu uso.
Resistência ao manchamento (ABNT NBR 13.819, Anexo G, modificado)	Verificação da ação deletéria de agentes manchantes selecionados, de uso cotidiano doméstico e/ou comercial, quando acidentalmente em contato com a rocha. Objetiva à orientação do uso da rocha como tampos de pias de cozinha ou de mesas residenciais ou de escritórios.

## 5. Considerações

Neste capítulo, entre outros, pretendeu-se demonstrar a extensão e complexidade do mundo das rochas, no qual as rochas ornamentais acham-se inseridas e se destacam por sua resistência e beleza, que ensejaram sua utilização, pelo homem, tanto para expressão artística e cultural como para incremento de seu bem-estar, em suas moradias.

Embora o setor de rochas ornamentais e para revestimento venha exibindo notável avanço tecnológico e continuamente incrementando a variedade de materiais pétreos ofertados, ainda se verifica que as informações tecnológicas são relativamente pouco utilizadas para a correta seleção e aplicação desses materiais, de forma a alcançar mercados mais diversificados e a durabilidade desejada de seus produtos.

Assim, almejando contribuir para o desenvolvimento do setor, no espaço disponível, abordou-se a variedade e as propriedades dos diferentes tipos de rochas, dos recursos tecnológicos disponíveis para a caracterização destes parâmetros e sua importância na seleção e uso nas diferentes aplicações em revestimentos.

## 6. Bibliografia e referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Síntese das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2010. Informe ABIROCHAS 01/2011. São Paulo: ABIROCHAS. Disponível em [http://www.ivolution.com.br/news/upload\\_pdf/9576/Exporta\\_2010.pdf](http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/9576/Exporta_2010.pdf)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15012/13. Rochas para revestimento de edificações – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT. 2013.

AIRES-BARROS, L. Alteração e alterabilidade de rochas. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 1991. 384p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. C1528/09. Standard guide for selection of dimension stone for exterior use. West Conshohocken: ASTM, 2009.

\_\_\_\_\_. C119/12: Standard terminology relating to dimension stone. West Conshohocken: ASTM, 2012.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS EN 1341/2000: Slabs of natural stone for external paving: requirements and test methods. London: BSI, 2000.

\_\_\_\_\_. BS EN 1342/2001: Setts of natural stone for external paving. Requirements and test methods. London: BSI, 2001a.

\_\_\_\_\_. BS EN 1343/2001: Kerbs of natural stone for external paving. Requirements and test methods. London: BSI, 2001b.

\_\_\_\_\_. BS EN 12670/2002: Natural stone: terminology. London: BSI, 2002.

COSTA, A. G. Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas. Rio de Janeiro: Bem-Te-Vi, 2009. 291p.

DIB, P.P.; FRASCÁ, M.H.B.O.; BETTENCOURT, J.S. Propriedades tecnológicas e petrográficas do “Granito Rosa Itupeva” ao longo dos estágios de extração e beneficiamento. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6., 1999, São Pedro. Boletim de Resumos... São Pedro: SBG/UNESP. p.154. 1999.

FEILDEN, B.M. Conservation of historic buildings. Oxford: Reed Educational and Professional Publish, 1994. 345p.

FRASCÁ, M.H.B.O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. III SRONE, Recife-PE/Brasil, 2002a.

FRASCÁ, M.H.B.O. Porosity and technological properties of granite dimension stone and polished tiles In: 9th International Congress of the IAEG - Engineering Geology for Developing Countries, 2002, Durban. 9th Congress - Engineering Geology for Developing Countries. Pretoria: SAIEG. p. 2475-2484. 2002b.

FRASCÁ, M.H.B.O. Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento. São Paulo: USP, 2003. 281p. Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FRASCÁ, M.H.B.O. Rocha como material de construção. In: Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de Materiais. 2ª ed. São Paulo : IBRACON, 2010, v.1, p. 437-479.

FRASCÁ, M.H.B.O.; SARTORI, P.L.P. Minerais e rochas. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO. S.N.A. (Ed.) Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. p. 15-38.

FRASCÁ, M.H.B.O.; QUITETE, E.B. Estudos diagnósticos de patologias em rochas de revestimento. In: CONGRESSO IBERAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LAS CONSTRUCCIONES, 7., 1999, Montevideo. Memórias... Montevideo: Asiconpat/CIB. v.2, 1999. p. 1367-1373.

FRASCÁ, M. H. B. O., MELLO, I. S. C., QUITETE, E. B. Rochas Ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo. São Paulo : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, CD\_ROM, 2000.



FRASCÁ, M. H. B. O., YAMAMOTO, J. K. Efflorescence simulation on granite building stone In: II ICDS - II International Congress on Dimension Stone, 2008, Carrara. Dimension Stones - XXI Century Challenges - Proceedings. , 2008. p. 345 – 348.

FRASCÁ, M. H. B. O., YAMAMOTO, J. K. Ageing tests for dimension stone - experimental studies of granitic rocks from Brazil In: IAEG 2006 - 10th International Congress of the International Association of Engineering Geology and the Environment, 2006, Nottingham - UK. IAEG 2006 Pre-Congress proceedings. Londres: The Geological Society of London, 2006.

FRASCÁ, M. H. B. O., YAMAMOTO, J. K. Accelerated weathering of granite building stone by sulfur dioxide exposure In: STONE 2004 - 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 2004, Stockholm. 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Stockholm: ICOMOS, Sweden, 2004. v.1. p. 67 – 74.

KLEIN, C.; HURLBURT JR., C.S. Manual of mineralogy (after James D. Dana). 21st ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 681p.

LE MAITRE, R.W. (Ed.). A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Oxford: Blackwell Scientific Publ, 1989. 193p.

LÓPEZ JIMENO, C. (Ed.). Manual de rocas ornamentales: prospección, explotación, elaboración y colocación. Madrid: Entorno, 1996. 696p.

MELLO, I.S.C., CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D.K. Atlas de rochas ornamentais da Amazônia brasileira. São Paulo: CPRM, 2011. 300p.

MESONES, F.L.G, VILLÁN, J.E., AGGUIRRE, G.N. Manual para el uso de la piedra em la arquitectura. Bilbao: IT & B, S.L., 2001. 400p.

MONTANI, C. Stone 2010: world marketing handbook. Faenza: Gruppo Editoriale Faenza, 2010. 265p.

NEUENDORF, K. K. E., MEHL, J. P., Jr.; JACKSON, J. A. (ed). Glossary of Geology. American Geological Institute. <http://glossary.agiweb.org/> 2011.

PETTIJOHN, F.J. (ed.). Sedimentary Rocks. 3rd ed. New York: Harper & Row, 1975. 628p.

RIBEIRO, A.F. *et al.* 2002. Mármore Bege Bahia em Ouroândia-Mirangaba-Jacobina, Bahia: geologia, potencialidade e desenvolvimento integrado. Salvador: CBPM. 56p. (Série Arquivos Abertos; 17).

SILVA, Z. C. O Lioz português – De lastro de navio a arte baiana. Lisboa: Versal/Afrontamento, 2007.

SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 317p.

TEIXEIRA, W. *et al.* (Org.). Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 557p.

UNITAR – United Nations Institute of Training and Research. Stone In Brazil. 1988. 63p.

VILES, H.A. Urban air pollution and the deterioration of buildings and monuments. In: BRUNE, D. *et al.* (Ed.). The global environment: science, technology and management. Weinheim: Scandinavian Science Publ.; VCH, 1997, p. 599-609.

WINKLER, E.M. Stone in architecture: properties, durability. 3rd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 313p.

WINKLER, H.G. Petrogenesis of metamorphic rocks. 4. ed. New York: Springer-Verlag, 1976. 334p.

## NORMAS TÉCNICAS PARA ROCHAS ORNAMENTAIS - vigentes e em elaboração / outubro 2012 -

<b>ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)</b>	
NBR 15012	Rochas para revestimento de edificações: terminologia
NBR 15844	Rochas para revestimento - Requisitos para granitos
NBR 15845	Rochas para revestimento - Métodos de ensaio Anexo A: Análise petrográfica Anexo B: Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água Anexo C: Coeficiente de dilatação térmica linear Anexo D: Resistência ao congelamento e degelo Anexo E: Resistência à compressão uniaxial Anexo F: Módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos) Anexo G: Flexão por carregamento em quatro pontos Anexo H: Resistência ao impacto de corpo duro
NBR 15846	Rochas para revestimento - Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos Anexo A: Projeto de revestimento de fachadas de edificações com placas de rocha fixadas por insertos metálicos Anexo B: Execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas de rocha fixadas por insertos metálicos

<b>CEN (European Committee for Standardization)</b>	
EN 12670	<i>Natural stone. Terminology</i>
EN 12440	<i>Natural stone. Denomination criteria</i>

<b>Ensaio tecnológicos</b>	
EN 1925	<i>Natural stone test methods. Determination of water absorption coefficient by capillarity</i>
EN 1926	<i>Natural stone test methods. Determination of uniaxial compressive strength</i>
EN 1936	<i>Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity</i>
EN 13373	<i>Natural stone test methods. Determination of geometric characteristics on units</i>
EN 12372	<i>Natural stone test methods. Determination of flexural strength under concentrated load</i>
EN 12407	<i>Natural stone test methods. Petrographic examination</i>
EN 13161	<i>Natural stone test methods. Determination of flexural strength under constant moment</i>
EN 13364	<i>Natural stone test methods. Determination of the breaking load at dowel hole</i>
EN 13755	<i>Natural stone test methods. Determination of water absorption at atmospheric pressure</i>

EN 14146	<i>Natural stone test methods. Determination of the dynamic elastic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency)</i>
EN 14157	<i>Natural stones. Determination of abrasion resistance</i>
EN 14158	<i>Natural stone test methods. Determination of rupture energy</i>
EN 14205	<i>Natural stone test methods. Determination of Knoop hardness</i>
EN 14231	<i>Natural stone test methods. Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester</i>
EN 14579	<i>Natural stone test methods. Determination of sound speed propagation</i>
EN 14580	<i>Natural stone test methods. Determination of static elastic modulus</i>
EN 14581	<i>Natural stone test methods. Determination of linear thermal expansion coefficient</i>

### **Requisitos**

EN 1341	<i>Slabs of natural stone for external paving. Requirements and test methods</i>
EN 1342	<i>Setts of natural stone for external paving. Requirements and test methods</i>
EN 1343	<i>Kerbs of natural stone for external paving. Requirements and test methods</i>
EN 1467	<i>Natural stone. Rough blocks. Requirements</i>
EN 1468	<i>Natural stone test methods. Rough slabs. Requirements</i>
EN 1469	<i>Natural stone products. Slabs for cladding. Requirements - revisão em aprovação</i>
EN 12057	<i>Natural stone products. Modular tiles. Requirements - revisão em aprovação</i>
EN 12058	<i>Natural stone products. Slabs for floors and stairs. Requirements - revisão em aprovação</i>
EN 12059	<i>Natural stone products. Dimensional stone work. Requirements</i>
Sem número	<i>Prescriptions for use of natural stones – em elaboração</i>

### **Envelhecimento acelerado**

EN 12370	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to salt crystallization</i>
EN 12371	<i>Natural stone test methods. Determination of frost resistance</i>
EN 13919	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing</i>
EN 14066	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing by thermal shock –revisão em aprovação</i>
EN 14147	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing by salt mist</i>
EN 16140	<i>Natural stone test methods. Determination of sensitivity to changes in appearance produced by thermal cycles</i>
11/30246675	<i>EN 16306. Natural stone test methods. Determination of resistance of marble to thermal and moisture cycles –revisão em aprovação</i>
11/30245859	<i>EN 16301. Natural stone test methods. Determination of sensitivity to accidental staining – revisão em aprovação</i>

### **Ardósias**

EN 12326-1	<i>Slate and stone products for discontinuous roofing and cladding. Product specification</i>
EN 12326-2	<i>Slate and stone for discontinuous roofing and external cladding. Methods of test for slate and carbonate slate</i>

<b>ASTM (American Society for Testing and Materials)</b>	
ASTM C119	<i>Standard terminology relating to dimension stone</i>
<b>Guias</b>	
ASTM C1242	<i>Standard guide for selection, design, and installation of dimension stone attachment systems</i>
ASTM C1496	<i>Standard guide for assessment and maintenance of exterior dimension stone masonry walls and facades</i>
ASTM C1515	<i>Standard guide for cleaning of exterior dimension stone, vertical and horizontal surfaces, new or existing</i>
ASTM C1528	<i>Standard guide for selection of dimension stone</i>
ASTM C1722	<i>Standard guide for repair and restoration of dimension stone</i>
<b>Especificações</b>	
ASTM C406	<i>Standard specification for roofing slate</i>
ASTM C503	<i>Standard specification for marble dimension stone</i>
ASTM C568	<i>Standard specification for limestone dimension stone</i>
ASTM C615	<i>Standard specification for granite dimension stone</i>
ASTM C616	<i>Standard specification for quartz-based dimension stone</i>
ASTM C629	<i>Standard specification for slate dimension stone</i>
ASTM C1526	<i>Standard specification for serpentine dimension stone</i>
ASTM C1527	<i>Standard specification for travertine dimension stone</i>
<b>Métodos de ensaio</b>	
ASTM C97	<i>Standard test methods for absorption and bulk specific gravity of dimension stone</i>
ASTM C99	<i>Standard test method for modulus of rupture of dimension stone</i>
ASTM C170	<i>Standard test method for compressive strength of dimension stone</i>
ASTM C241	<i>Standard test method for abrasion resistance of stone subjected to foot traffic</i>
ASTM C880	<i>Standard test method for flexural strength of dimension stone</i>
ASTM C1201	<i>Standard test method for structural performance of exterior dimension stone cladding systems by uniform static air pressure difference</i>
ASTM C1352	<i>Standard test method for flexural modulus of elasticity of dimension stone</i>
ASTM C1353	<i>Standard test method for abrasion resistance of dimension stone subjected to foot traffic using a rotary platform, double-head abraser</i>
ASTM C1354	<i>Standard test method for strength of individual stone anchorages in dimension stone</i>
ASTM C1721	<i>Standard guide for petrographic examination of dimension stone</i>
<b>Ardósias</b>	
ASTM C120	<i>Standard test methods of flexure testing of slate (breaking load, modulus of rupture, modulus of elasticity)</i>
ASTM C121	<i>Standard test method for water absorption of slate</i>
ASTM C217	<i>Standard test method for weather resistance of slate</i>



