

**CAPÍTULO**

---

---

**3**

---

**GEOLOGIA**

Luiz Carlos Bertolino  
Geólogo/UFRJ, D.Sc.  
Engenharia Metalúrgica/PUC-Rio.  
Tecnologista Sênior do CETEM/MCT.

Nely Palermo  
Geóloga/UFRJ, D.Sc. Geologie Minière  
Ecoledes Mines de Paris.  
Professora Adjunta da UERJ.

Ana Valéria F. A. Bertolino  
Geógrafa/UFRJ, D.Sc. Geografia/UFRJ.  
Professora Adjunta da UERJ.





## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais rochosos utilizados na construção civil na forma granular são denominados *agregados* e, em placas são denominadas rochas ornamentais ou pedras de revestimento.

Desde a antiguidade o Homem utiliza as rochas como materiais de construção em forma bruta ou pouco trabalhada. Nos tempos atuais, é utilizada nas mais variadas formas (bruta, britada, moída, etc) e para diferentes usos (filtros, lastro de ferrovia, drenos em obras civis, etc).

No entanto, apesar da contínua demanda da sociedade moderna por esse material, principalmente nas obras de construção civil, a exigência ambiental além do alto custo de transporte são alguns dos desafios enfrentados pela atual mineração de agregados (Mello e Calaes, 2006).

## 2. MATÉRIA PRIMA DOS AGREGADOS

Os materiais naturais utilizados como agregados na construção civil são rochas consolidadas e sedimentos como areias e cascalhos. As rochas podem passar por processos de britagem e moagem para atingir as especificações de granulometria.

### 2.1. Rocha

Rocha é um material consolidado composto por um conjunto de minerais resultantes de um processo geológico determinado. Pode ser formada por um ou mais minerais, dispostos segundo as condições de temperatura e pressão existentes durante sua formação. Pode também ser formada por material não cristalino como o vidro vulcânico e por material sólido orgânico como o carvão. Quanto à origem, as rochas se classificam em ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas. Dentro desses grupos, de forma geral, a textura e a composição mineral são os critérios para a identificação dos diferentes tipos de rochas ou tipos litológicos.

## 2.2. Rochas Ígneas ou Magmáticas

São formadas a partir da consolidação do magma em profundidade (rocha ígnea plutônica) ou em superfície (rocha ígnea vulcânica). O magma é uma fusão silicatada, contendo gases e elementos voláteis, gerada em altas temperaturas no interior da Terra.

Quando o magma resfria lentamente, usualmente em profundidades de dezenas de quilômetros, ocorre a cristalização de minerais formando as rochas plutônicas cuja granulação varia de fina (milimétrica) à grossa (até 3 cm).

As rochas magmáticas extrusivas são formadas quando o magma resfria rapidamente, normalmente próximo a superfície da terra, resultando em uma rocha de granulação muito fina ou de textura vítrea, ou seja, os minerais não são indentificáveis a olho nu.

Existem várias classificações para as rochas ígneas baseadas na composição química das rochas, percentagem de minerais essenciais, granulometria etc. (Press *et al*, 2006). Na Tabela 1 é apresentada a classificação sugerida pelo IAEG (1981) e sintetizada em Frascá e Sartori (1996).

Tabela 1 – Classificação das rochas ígneas (adaptada de IAEG, 1981 *in* Press *et al*, 2006).

Rochas	Ácidas (>66% SiO <sub>2</sub> )	Intermediárias (66-52%SiO <sub>2</sub> )	Básicas (52-45% SiO <sub>2</sub> )	Ultrabásica (<45%SiO <sub>2</sub> )
Plutônica	Granito	Sienito	Gabro	Peridotito e Piroxenito
Vulcânica	Riolito	Andesito	Basalto	

De uma maneira geral, as rochas plutônicas ácidas são compostas essencialmente por quartzo e feldspatos, e a coloração é clara (Figura 1). As rochas plutônicas básicas são em geral compostas por minerais ferromagnesianos (anfíbolios, olivinas e piroxênios) e plagioclásios. Em geral, são rochas mais escuras e mais densas (Figura 2).

Os pegmatitos são rochas plutônicas ácidas de granulação muito grossa (acima de 3 cm). Os minerais constituintes são principalmente quartzo e feldspatos, que são comumente utilizados na indústria de vidros e/ou abrasivos.



Figura 1 – Granito. Pedreira abandonada, Monsuaba, Rio de Janeiro.



Figura 2 – Afloramento de rocha basáltica homogênea, Ituiutaba, MG.

Os granitos, dioritos e basaltos são rochas comumente utilizadas como agregados no Brasil.

Os produtos gerados numa erupção vulcânica são classificados como lavas (material rochoso em estado de fusão que extravasa na superfície) e depósitos piroclásticos (constituídos por materiais soltos ou misturas de cinzas vulcânicas, bombas, blocos e gases produzidos durante erupções). Essas rochas devido à dureza elevada podem ser usadas como abrasivos.

Modos de ocorrências das rochas magmáticas:

**Batólitos** - são grandes corpos de rochas plutônicas formados em profundidade, podendo ter mais de 100 km<sup>2</sup>.

**Lacólito** - são intrusões de rochas ígneas lentiformes, geralmente circulares ou subcirculares, concordantes com as rochas encaixantes.

**Dique** - intrusão de forma tabular discordante, preenchendo uma fenda aberta em outra rocha. Quando o dique é concordante com as rochas encaixantes chama-se sill.

**Derrames de lavas** - podem ser subaquática ou aérea, podem atingir milhares de km<sup>2</sup> em superfície.

**Neck Vulcânico** - corpos intrusivos discordantes formados pela consolidação do magma dentro de chaminés vulcânicas que após erosão sobressaem na topografia.

### 2.3. Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são resultantes da consolidação de sedimentos, ou seja, material resultante da ação do intemperismo, erosão e posterior transporte de uma rocha preexistente, ou da precipitação química ou ainda da ação biogênica. São geralmente classificadas em detríticas, químicas ou bioquímicas segundo sua origem.

As rochas detríticas são em geral denominadas, segundo o tamanho dos grãos (Pettijohn, 1975), em: conglomerado e brecha (mais de 25% dos grãos com tamanho >2 mm), arenito (mais de 50% dos grãos com tamanho entre 2 e 0,06 mm), siltito (0,06 e 0,004 mm) e argilito (<0,004 mm). Folhelho é a denominação para siltito e argilito com maior grau de fissilidade. Essas rochas são muitas vezes friáveis devido à baixa coesão dos constituintes, interferindo diretamente nas características mecânicas dessas rochas.

As rochas de origem química são os calcários e os dolomitos formados por mais de 50% de minerais carbonáticos (calcita ou dolomita). Podem ser classificados segundo o conteúdo mineralógico (calcário dolomítico, dolomito calcítico) e a granulometria (calcirudito, calcarenito, calcissilito, calcilito). São muito utilizadas como matérias-primas para as indústrias cimenteira, vidreira, siderúrgica, corretivo de solo entre outras. As formações ferríferas apresentam alternância de bandas ricas em quartzo e em óxido de ferro, sendo a fonte de minério de ferro explotado no Brasil.

As rochas derivadas de processos químicos/bioquímicos são: evaporitos (precipitação de sais como halita e gipsita), cherts (precipitação de sílica), fosforitos (fosfatos), diatomitos (formados da acumulação de carapaças silicosas de diatomáceas) e carvão (formado pela decomposição de restos de vegetais que foram soterrados).

## 2.4. Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas podem ser formadas a partir de rochas ígneas, sedimentares ou mesmo metamórficas, preexistentes, submetidas a novas condições de pressão e temperatura. Quando as rochas através de processos geológicos são submetidas a condições diferentes (temperatura e pressão) das quais foram formadas, ocorrem modificações denominadas de metamorfismo.

O efeito do metamorfismo progressivo é a geração de foliações, recristalização dos minerais e em condições extremas, a fusão dos constituintes. A textura metamórfica e estruturas presentes são determinantes para a utilização das rochas como agregados.

Principais tipos de rochas metamórficas:

**Gnaise** - caracteriza-se pela alternância de bandas de cores claras (quartzo e feldspato) e escuras (biotita, anfibólio ou granada). É o tipo litológico predominante no estado do Rio de Janeiro, formando grande parte do maciço da Serra do Mar. Em geral, são maciças e granulares e servem como agregados de boa qualidade (Figura 3 e 4).



Figura 3 – Afloramento de rocha gnáissica com variação composicional.  
Pedreira Anhanguera, São Gonçalo, RJ.

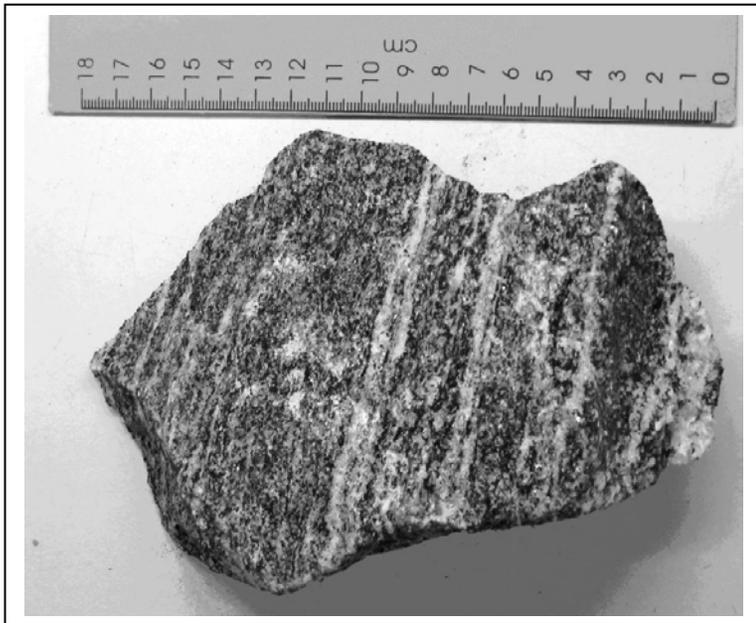


Figura 4 – Detalhe de uma rocha gnáissica com bandamento composicional.  
Pedreira para extração de brita, Valença, Rio de Janeiro.

**Xisto e filito** - ausência de bandamento e presença de finas lâminas ao longo da qual a rocha pode ser quebrada mais facilmente. Em geral, sua utilização é limitada como agregado.

**Ardósia** - rocha de granulação extremamente fina com boa clivagem, normalmente utilizada na construção civil como revestimento.

**Mármore** - calcário metamórfico, amplamente utilizado como rocha ornamental.

**Quartzito** - derivada do metamorfismo do arenito, formada quase exclusivamente de quartzo. Fonte de agregados de alta qualidade.

## 2.5. Sedimentos

Os sedimentos ocorrem como depósitos residuais, coluvionares, aluvionares, marinhos ou glaciogênicos.

**depósitos residuais** - formados *in situ* pela alteração intempérica física e/ou química de rochas. Em países tropicais, a ação intempérica é intensa. Depósitos quartzosos derivados de gnaisses e granitos são de boa qualidade. Lateritas derivam da ação do intemperismo químico de rochas ricas em minerais de ferro e são eventualmente utilizadas em locais sem outra fonte de agregados.

**depósitos coluvionares** - formados pelo movimento de massa nas encostas (depósitos de tálus). Refletem a mineralogia das rochas das quais derivam. São em geral pouco espessos.

**depósitos aluvionares** - as planícies aluvionares são importante fonte de agregados. Em geral, transportam e depositam sedimentos de granulometria areia e argila, mas em rios torrenciais em regiões de alta pluviosidade, podem depositar cascalhos, blocos e matacões.

**depósitos marinhos** - os sedimentos marinhos são em alguns países, uma opção a falta de material no continente. Em geral, apresentam baixo conteúdo de material fino, no entanto uma desvantagem é a presença de sal e conchas.

**depósitos glaciogênicos** - são depósitos derivados da ação de geleiras. Os sedimentos são heterogêneos, compostos de areia, argila e cascalho (Figura 5).

**depósitos eólico** - derivados da ação dos ventos em áreas desérticas. Em geral, são formados de areia.



Figura 5 – Depósito glaciogênico (areia, argila, cascalho e blocos), Trondjheim, Noruega.

### 3. CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS

A classificação dos agregados de uma maneira adequada a seu uso na construção civil é assunto controvertido na literatura. A ASTM (*American Society for Testing Material*) e a ISRM (*International Society for Rock Mechanics*) propõem uma classificação baseada na análise petrográfica das rochas e na descrição tecnológica relacionada às propriedades físicas e mecânicas das rochas. Segundo Collins e Fox (1985), a classificação de agregados deve levar em consideração as seguintes informações: a origem do material (agregados naturais ou artificiais), a classe ou nome petrográfico, além de idade da rocha, cor, granulometria e fissilidade.

Frazão e Paraguassu (1998), Frazão (2006), definem os agregados como materiais granulares sem forma e volume definidos que podem ser classificados considerando a origem, a densidade e o tamanho dos fragmentos. Quanto à origem são denominados *naturais* os extraídos diretamente como fragmentos, como areia e cascalho e, os *artificiais* aqueles que passam por processos de fragmentação como britagem ou moagem. Os agregados *leves* são pedra-pomes, vermiculita, argila etc, os agregados *pesados* barita, limonita etc, e os agregados *normais* as areias, cascalhos e pedras britadas.

No entanto, parece que a classificação mais utilizada é a que considera o tamanho dos fragmentos, classificando os agregados em *finos* (até 0,2 mm), *médios* (entre 0,2 e 2 mm) e *grossos* (> 2 mm). Por vezes, a indústria utiliza valores superiores a 5 mm para os agregados grosseiros (Prentice, 1990).

#### 4. PROSPECÇÃO E PESQUISA MINERAL

A primeira etapa na prospecção de agregados é a definição do tipo de material rochoso necessário, e que irá guiar a pesquisa mineral para determinados ambientes geológicos. A utilização dos mapas geológicos e visitas aos locais irão indicar: a espessura do material rochoso potencial para a extração, a relação com rochas encaixantes para estimativa da espessura e tipo de estéril, a presença de estruturas geológicas como dobras, falhas, fraturas, a composição do material rochoso e o grau de intemperismo. Essas informações irão definir o potencial geológico na região para o determinado tipo de material rochoso.

Em áreas sem conhecimento geológico básico, os métodos indiretos são bastante utilizados para a identificação de possíveis alvos prospectivos como o uso de imagens de satélite e fotografias aéreas, e levantamento geofísico de superfície. Nesse último caso, utilizado principalmente na prospecção de areia e cascalho aluvionar, os métodos utilizados são eletroresistividade, que mede genericamente a diferença de condutividade elétrica dos materiais e, a sísmica rasa que indica os limites entre materiais com velocidades sísmicas diferentes. A geofísica auxiliará também na etapa de avaliação do depósito combinado as informações de sondagens.

No entanto, a prospecção de novas áreas potenciais para a exploração de agregados deverá levar em consideração principalmente a distância do mercado, já que o transporte é o fator determinante para a extração de materiais de baixo valor. Outros fatores determinantes são a presença de estradas, a disponibilidade de suprimento de água e combustível dentre outros.

Para a avaliação em subsuperfície do depósito, principalmente de conglomerados e areias naturais (mais rasos), utilizam-se trincheiras feitas com auxílio de retroescavadeira, quando disponível, que proporciona a visão em três dimensões do depósito e a coleta de amostras de grande volume. No caso de exploração mais profunda será necessário o uso de sondagens.

## 5. USOS E FUNÇÕES

Os agregados grossos são, em geral, utilizados como ingrediente na fabricação do concreto, ou como constituinte de estradas. Devem reagir favoravelmente com o cimento e o betume, resistir a cargas pesadas, alto impacto e abrasão severa e ser durável. Por essa razão, foram desenvolvidos testes empíricos e em laboratórios para prever o comportamento desse material. As propriedades testadas são resistência à compressão, absorção de água, resistência à abrasão, abrasividade, comportamento ao polimento, forma dos constituintes e resistência ao intemperismo (Oliveira e Brito, 1998).

Os agregados médios e finos são, em geral, utilizados para preenchimento ou para proporcionar rigidez em uma mistura. Nesse caso, a granulometria, densidade relativa, a forma das partículas (grau de arredondamento e de esfericidade) e a composição mineralógica (presença de minerais carbonáticos, minerais em placas e partículas friáveis como carvão) são parâmetros importantes.

Os agregados podem ter seus fragmentos unidos por ligantes como cimento e betume, para uso como concreto hidráulico e betuminoso, respectivamente. Quando os fragmentos são usados, sem ligantes, servem para lastro de ferrovias, filtros e enrocamentos.

Devido as características geológicas do território brasileiro, existe uma grande diversidade de rochas utilizadas como agregados. O tipo de rocha utilizada vai depender basicamente da disponibilidade local ou regional. A seguir são apresentados alguns exemplos:

- (i) granito e gnaisse: são utilizadas na maioria dos estados brasileiros.
- (ii) basalto: regiões sul e sudeste (bacia do Paraná);
- (iii) calcários e dolomitos: Minas Gerais, Goiás, Bahia e norte fluminense;
- (iv) lateritas: Região Amazônica e Minas Gerais;
- (v) areia/cascalho: maioria dos estados.

## 6. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade das rochas para aplicação na construção civil, envolvem uma variada gama de ensaios e testes com objetivo de se obter parâmetros químicos, físicos, mecânicos e petrográficos (Frasca e Frazão, 2002). Esses procedimentos são normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Nesse capítulo serão descritos os parâmetros petrográficos. Os outros ensaios serão abordados nos capítulos que se seguem.

### 6.1. Descrição Petrográfica

A descrição petrográfica fornece informações importantes sobre a sua composição mineralógica, textura, grau de fraturamento das rochas e grau de alteração dos minerais que a compõem. Possibilita a classificação da rocha fornecendo subsídios quanto a sua aplicação. A observação da rocha é usualmente feita com auxílio de lupa e/ou microscópio petrográfico (microscópio óptico de luz polarizada e refletida).

A descrição da rocha inicia-se em campo, onde devem ser observados com auxílio da lupa os seguintes aspectos da rocha: composição mineralógica, cor, granulometria, homogeneidade, estruturas, grau de fraturamento e grau de alteração (Sales e Moraes, 2003). A amostragem da rocha em campo é muito importante para a confiabilidade e boa representatividade dos resultados obtidos durante a fase de caracterização.

A partir da amostra representativa coletada em campo, prepara-se a lâmina delgada para descrição no microscópio petrográfico (Figura 6). No caso de sedimentos não consolidados como areia e cascalho, a identificação e a caracterização dos minerais são feitas com auxílio da lupa.

Os principais parâmetros utilizados na descrição petrográfica são: identificação dos minerais, análise quantitativa dos minerais (análise modal da rocha), textura e estruturas, granulometria, relação entre grãos e alteração de minerais.

Para uma melhor visualização da forma e relação entre os grãos minerais utiliza-se o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) que também fornece uma análise química semi-quantitativa dos minerais.



Figura 6 – Microscópio petrográfico utilizado na descrição das lâminas delgadas.

Através da descrição petrográfica detalhada obtém-se informações importantes para a compreensão do comportamento da rocha utilizada como agregado. Por exemplo, no exame macroscópico, uma rocha pode parecer pouco alterada, enquanto que na análise da lâmina delgada, observam-se minerais parcialmente alterados, representando uma importante informação quanto à sua aplicação (Figuras 7 e 8).

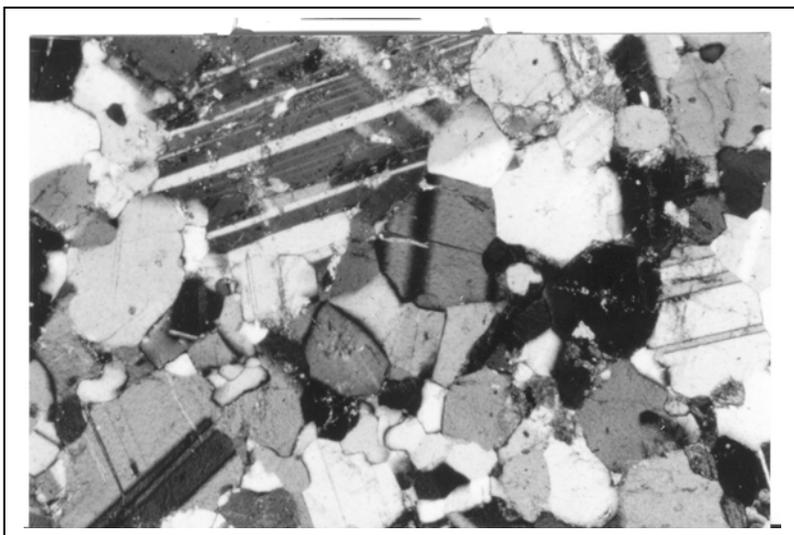


Figura 7 – Fotomicrografia de um gnaisse com grãos de feldspato parcialmente alterados. Luz polarizada, Macaé, Rio de Janeiro.

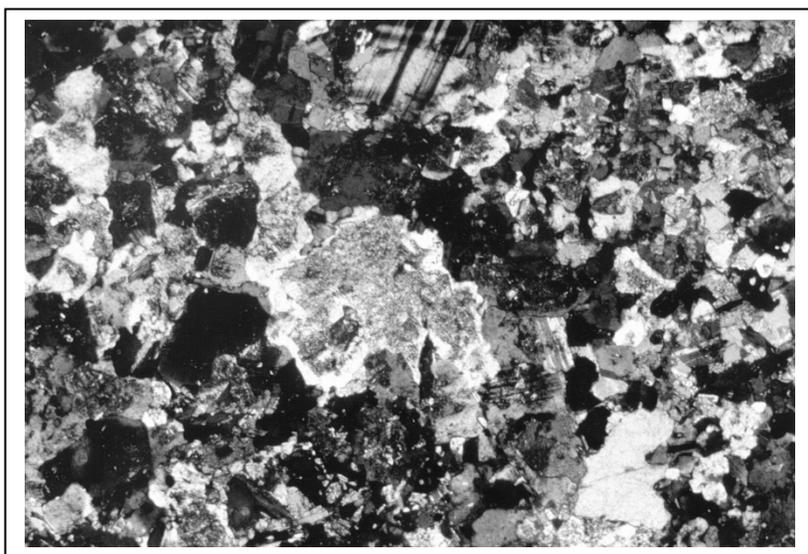


Figura 8 – Fotomicrografia de granito com grãos de feldspato alterado. Luz polarizada, Mara Rosa, Goiás.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- COLLINS, L. e FOX, R. A. (1985). Aggregates: sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes. The Geological Society publ., 220 p.
- FRASCÁ, M. H. B e FRAZÃO, E. B. (2002). Proposta de especificação tecnológica para agregados graúdos. *Areia & Brita*, nº 19, p. 28-33.
- FRAZÃO, E. B.; PARAGUASSU, A. B. (1998). Materiais Rochosos para Construção. In: Antônio Manoel dos Santos Oliveira; Sérgio Nertan Alves de Brito. (Org.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. único, p. 331-342.
- FRAZÃO, E. B. (2006). Tecnologia para a produção e utilização de agregados. In: *Agregados para a construção civil no Brasil. Contribuições para formação de políticas públicas*. Ed. Tannús, M. B. e Carmo, J. C. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.
- MATTOS, I. C. (2002). Uso/adequação e aplicação de rochas ornamentais na construção civil – Parte I. In: *Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste*. p. 2-1-6.
- MELLO, E. F. e CALAES, G. D. (2006). A indústria de brita na região metropolitana do Rio de Janeiro. UFRJ – Instituto de Geociências. 193 p.
- OLIVEIRA, A. M. S. e BRITO, S. N. A. (1998). *Geologia de Engenharia*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Oficina dos Textos, 582p.
- PETTIJOHN, F. J. (1975). *Sedimentary Rocks*. New York: Harper & Row, 3ª ed.
- PRENTICE, J. E. (1990). *Geology of Construction Materials*. Topics in the Earth Sciences, nº 4, Chapman and Hall ed. 202p.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J. AND JORDAN, T. H. (2006). *Understanding Earth*, Bookmans Ed., Tradução Menegat R., 656 p.
- SALES, F. A. C. B. e MORAIS, J. O. (2003). Proposta metodológica de pesquisa para rochas ornamentais. In: *Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste*. p. 2-12.