

MINERAIS FORMADORES DE ROCHAS

5 TÓPICO

Christine Laure Marie Bourotte

5.1 Introdução

5.2 Minerais

5.2.1 Como se formam os minerais?

5.2.2 Como são classificados os minerais?

5.3 Identificação de minerais

5.4 Rochas e seus Minerais

5.1 Introdução

Uma paisagem não pode ser compreendida apenas pela observação da vegetação, da fauna e de seu aspecto fisiográfico geral. A paisagem é fruto de uma longa e contínua história, na qual a dinâmica interna e a dinâmica externa da Terra são os principais atores. Como observadores, deparamo-nos também com diversos materiais geológicos, como as rochas, os minerais, os sedimentos, os solos etc. As rochas são agregados de minerais e são classificadas em três grandes categorias, em função de sua origem: rochas **ígneas**, cristalizadas a partir de magmas, rochas **sedimentares**, formadas na superfície terrestre pelo acúmulo e consolidação de sedimentos, e rochas **metamórficas**, que resultam da transformação em profundidade de rochas pré-existentes.

Toda a matéria do planeta Terra é constituída de elementos químicos, os mesmos que compõem o sistema solar e que foram sintetizados desde a formação do Universo, durante a evolução natural das estrelas.

Os elementos não estão distribuídos atualmente de maneira uniforme na Terra, em seus diferentes compartimentos ou geosferas (**Figura 5.1**). Assim, o núcleo, o manto, a crosta, a atmosfera, a hidrosfera e a criosfera, por exemplo, possuem materiais com composições químicas características. Na atmosfera moderna, por exemplo, predominam o nitrogênio e o oxigênio; na hidrosfera, o hidrogênio e o oxigênio; na crosta, o silício, o oxigênio e o alumínio. No manto, o magnésio predomina junto com silício e oxigênio, e o núcleo é constituído por ligas de ferro e níquel (ver tópico “Estrutura Interna da Terra”).

Na verdade, os elementos químicos ocorrem associados em compostos, constituindo os materiais sólidos naturais como as rochas e os minerais. Por definição, as rochas são agregados de minerais cristalizados durante seus processos de formação, como no caso das rochas ígneas (derivadas do

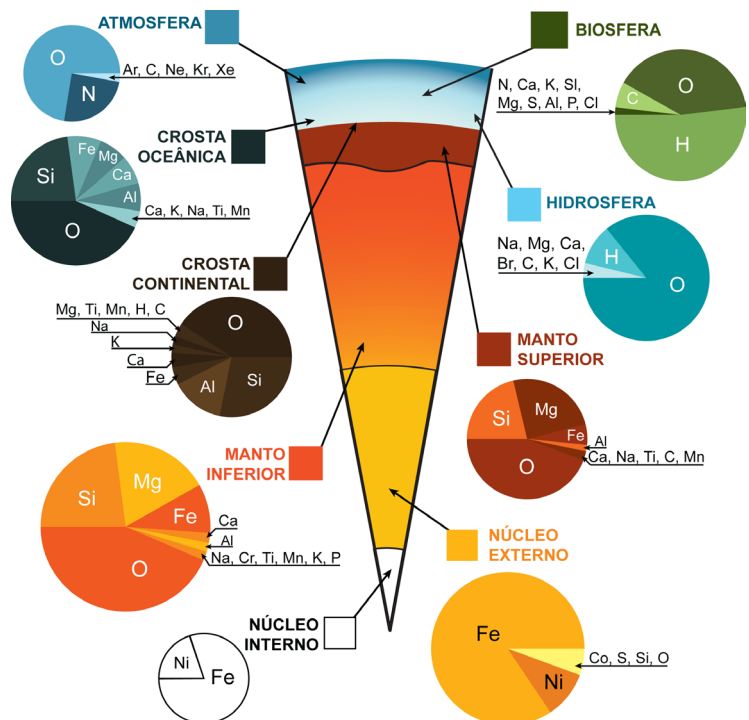


Figura 5.1: Composição química das diferentes esferas terrestres.

magma) e metamórficas (geradas em profundidade pela ação conjunta da pressão e da temperatura), mas podem ser formadas por partículas (fragmentos de outras rochas ou grãos minerais isolados) cimentadas entre si ou ainda por precipitados a partir de uma solução, como é o caso das rochas sedimentares (**Figura 5.2**).

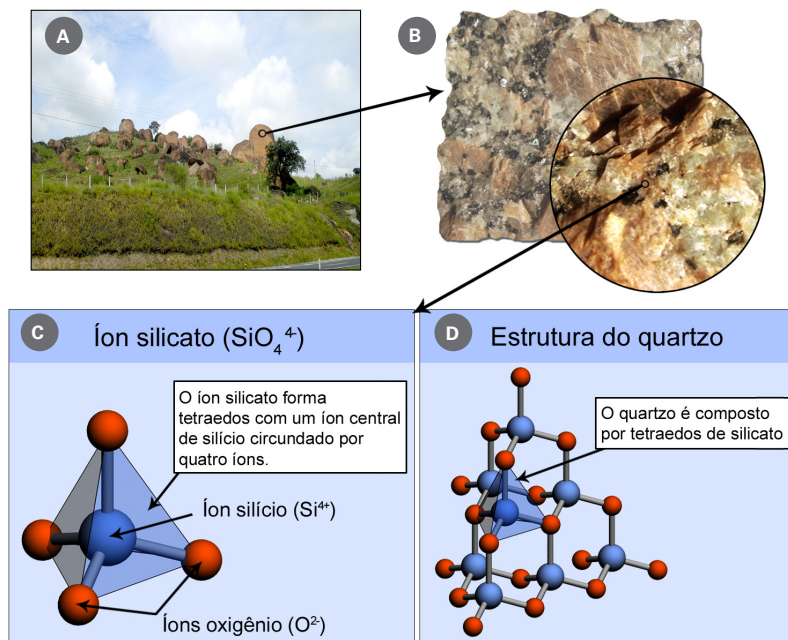


Figura 5.2: **A.** Na paisagem, as estruturas maiores são sustentadas por rochas e materiais associados, como os solos. **B.** Reduzindo a escala de observação, vemos que as rochas são formadas por grãos minerais. **C.** Os silicatos são os minerais mais comuns, constituídos por diferentes associações de tetraedros de SiO_4^{4-} . **D.** O quartzo é um dos minerais mais abundantes na crosta continental. No exemplo, a rocha é formada por grãos de quartzo, feldspato e mica, todos minerais silicáticos, em que a base estrutural é formada por tetraedros de sílica (SiO_4^{4-}).

Rochas e minerais, além de constituírem a Terra Sólida, são também a matéria-prima das atividades humanas e dos produtos que a sociedade utiliza, como veremos nos próximos tópicos. Quando esses materiais apresentam um valor econômico são denominados minérios. Rochas e minerais registram também a história da Terra: as rochas sedimentares, por exemplo, contêm fósseis de animais ou plantas, tão importantes para entendermos a evolução da vida. Da mesma forma, a composição e a estrutura das rochas sedimentares informam sobre as condições ambientais reinantes na época da deposição dos sedimentos que as originaram. Tanto os fósseis como os minerais e as rochas são verdadeiros cronômetros dos eventos naturais passados; são utilizados tanto para a datação relativa (reconhecimento dos materiais mais ou menos antigos que outros) como para a datação absoluta (quantificação da idade dos materiais em unidades de tempo - ver tópico “Tempo geológico: a história da Terra e da vida”).

A importância dos minerais e rochas na evolução da humanidade é tamanha que eles são utilizados para denominar fases da nossa civilização, conforme o grau de conhecimento sobre eles e sua utilização como recurso: Idade da Pedra Lascada (ou período Paleolítico, do grego *Palaios*, antigo, e *lithos*, pedra; de 1,8 milhões de anos até 15.000 anos atrás), com uso de obsidiana e sílex; Idade da Pedra Polida (Neolítico, 5.000 a 2.000 anos); Idades do Bronze (2.000 a 1.000 anos atrás) e do Ferro (a partir de 1.000 anos atrás). O uso de minerais não-metálicos em arte, adornos e ornamentos também ocorreu desde a pré-história. Assim, pode-se dizer que o desenvolvimento da humanidade esteve sempre relacionado à capacidade de reconhecer os minerais e rochas e fazer uso de suas propriedades.

A ciência que estuda os minerais é a **mineralogia**. Em “Viagem ao centro da Terra” (1864), Jules Verne, por meio da fala de Alex, sobrinho do Prof. Lidenbrock, professor de mineralogia na Alemanha, menciona algumas maneiras utilizadas para identificar os minerais e classificá-los:

“Apesar de muitas vezes partir as suas amostras e fazer experiências com demasiada brusquidão, ele juntava ao gênio do geólogo a visão do mineralogista. Com o seu martelo, a sua talhadeira de aço, a sua agulha com ímã, o seu maçarico de sopro e o seu frasco de ácido nítrico, era de fato um homem muito forte. Pela resistência a fratura, aspecto, dureza, som, cheiro e gosto de um mineral qualquer, ele o classificava sem hesitar entre as seiscentas espécies conhecidas pela ciência [...]”

Hoje, conhecemos muito mais espécies minerais do que no século XIX e, com o avanço da tecnologia, existem outros métodos científicos que permitem identificar os minerais, mas essa classificação com base nas propriedades físico-químicas dos minerais é o resultado do desenvolvimento da ciência da Antiguidade até os tempos modernos.

Aristoto (384 - 322 a.C.) foi o primeiro a dividir o mundo mineral em duas classes: os metais e os fósseis. Teofraste (em 315 a.C.), como naturalista, descreveu alguns minerais em *De Lapidibus*, levando a descoberta de elementos químicos. Arquimedes foi o primeiro a diferenciar as espécies minerais por sua densidade e dureza. Plínio, o Velho (23 - 79 d.C.), dedicou quatro volumes de sua História Natural aos minerais e gemas, o que demonstra a importância desses minerais já naquela época.

Na Idade Média, do século X ao século XIV, com o desenvolvimento da alquimia e os trabalhos dedicados aos metais, estabeleceu-se uma primeira classificação em pedras, gemas, minerais, combustíveis e sais. No século XVI, Georg Bauer (apelidado Agrícola) publicou um tratado, “*De re metalica*”, considerado como o primeiro tratado de mineralogia, no qual faz referência às propriedades dos minerais, tais como cor, brilho, sabor, além da dureza e densidade.

No século XII, Nicolau Steno, ao estudar cristais de quartzo de diferentes formas e tamanhos, descobriu a constância dos ângulos e iniciou assim os primeiros trabalhos de cristalografia do mundo ocidental. Em 1669, Erasmus Bartholin descreveu a dupla refração da luz em um cristal de calcita. Mas foi no século XVIII que a mineralogia conheceu seu primeiro grande desenvolvimento: René Just Haüy publicou em 1784 um trabalho sobre a estrutura dos cristais, sugerindo que a repetição organizada de pequenos blocos idênticos seria responsável pela forma externa dos minerais; descreveu regras de simetria e propôs uma classificação em sete sistemas cristalinos, os mesmos utilizados até hoje. Em 1801, publicou um “*Tratado de Mineralogia*”, no qual reuniu todos os conhecimentos cristalográficos e mineralógicos da época e detalhou um grande número de espécies minerais encontradas na natureza. Friedrich Mohs classificou os minerais em função da dureza (independentemente da composição química) e estabeleceu uma escala relativa, utilizada até hoje: a **escala de Mohs**, a ser descrita mais adiante.

A mineralogia conheceu outra “revolução” quando os minerais começaram a ser estudados ao microscópio (em 1828, William Nicol criou um filtro polarizador de luz que, utilizado no microscópio, permitiu associar as propriedades ópticas dos minerais à sua simetria e composição química). Posteriormente, com a descoberta dos raios X por Gustav Roentgen em 1895, os trabalhos de Max Von Laue e de William Henri Bragg e seu filho puderam ser desenvolvidos, utilizando a difração de raios X pelos cristais, revelando a estrutura atômica interna dos minerais; esta técnica é empregada até hoje para o estudo dos minerais. Modernamente, o uso do microscópio eletrônico de varredura, a microsonda eletrônica e a fluorescência de raios X permitiram realizar microanálises de grande precisão, aperfeiçoando o amplo campo da mineralogia.

5.2 Minerais

Uma espécie mineral tem um conceito bem diferente daquele que é dado a uma espécie animal ou vegetal. A definição de um **mineral** tem como base principal a sua composição química e estrutura cristalina. Assim, por definição, um mineral é um **sólido cristalino** (estrutura interna ordenada) com **composição química** bem definida, formado por processos **inorgânicos naturais**. Como tal, os minerais são constituídos de átomos ou elementos químicos unidos entre si por ligações químicas. Contudo, na natureza, os minerais de uma mesma espécie podem apresentar variedades que se distinguem pelo formato, pela cor ou por uma pequena alteração na sua composição química.

Os átomos dos elementos químicos são a base das espécies minerais, cuja combinação confere uma composição química característica a cada espécie mineral (**Tabela 5.1**). Alguns minerais são

formados por átomos de um único elemento. É o caso, por exemplo, do ouro (apenas ouro – Au) ou do diamante (apenas carbono – C). Os íons também se unem de maneira ordenada, formando uma rede cristalina tridimensional e dando formas geométricas características aos minerais. Os íons menores (de silício, de cloro, por exemplo) se alojam nos interstícios deixados pelo empacotamento de íons maiores (oxigênio, sódio, por exemplo), formando uma associação geométrica, que representa a composição química do mineral e que se repete no espaço, gerando a sua estrutura cristalina; a porção mínima da estrutura que representa a espécie mineral é chamada de cela unitária.

Os elementos químicos das diferentes esferas terrestres (**Figura 5.1**) são os constituintes dos principais minerais formadores de rochas características dessas esferas. Assim, na crosta terrestre, os principais elementos são Si, O e Al e, subordinadamente, K, enquanto, no manto, Fe e Mg predominam, além de Si e O, enquanto Ca, Na e Al ocorrem em menores quantidades (ver “Estrutura Interna da Terra”).

Por outro lado, a estrutura dos cristais depende de como os átomos estão ligados uns aos outros. Do ponto de vista químico, podemos fazer a distinção entre diferentes tipos de ligação química: iônica, covalente e metálica. Na ligação química iônica, há uma troca de elétrons entre os ânions e os cátions. Na ligação química do tipo covalente, os elétrons da camada mais externa são compartilhados, enquanto nas ligações metálicas os elétrons se movimentam de maneira aleatória ao redor dos cátions metálicos.

| Elemento | Símbolo | % do n° de átomos | Características |
|------------|---------|-------------------|--|
| Oxigênio | O | 60,2 | Elemento mais abundante na crosta terrestre. Forma um íon grande com duas cargas negativas, que, associado com íons menores de carga positiva, constitui um grupo aniônico, o qual serve de base para a classificação da maioria dos minerais. |
| Silício | Si | 20,3 | Associado com o oxigênio, constitui o grupo atômico estrutural do grupo dos silicatos. |
| Alumínio | Al | 6,2 | Presente nos minerais como cátion individual ou como substituto de parte do silício em alguns silicatos (aluminossilicatos). |
| Hidrogênio | H | 2,9 | Com o oxigênio, forma o grupo hidroxila ((OH) ⁻) e água (H ₂ O). |
| Sódio | Na | 2,5 | Abundante nos feldspatos. Responsável pela salinidade do oceano (NaCl). |
| Cálcio | Ca | 1,9 | Presente em quase todas as classes de minerais. |
| Ferro | Fe | 1,9 | Presente na maioria das classes de minerais. |
| Magnésio | Mg | 1,8 | Abundante nos silicatos, com o ferro forma os silicatos ferromagnesianos. |
| Potássio | K | 1,3 | Átomo grande comum em feldspatos e micas. |
| Titânio | Ti | 0,2 | Existe principalmente em forma de óxidos. |

Tabela 5.1: Abundância dos principais elementos na crosta terrestre e sua importância na constituição dos minerais. / Fonte: DEFERNE, 2009.

Existem também substâncias semelhantes aos minerais, mas que não atendem a todos os critérios da definição. Essas substâncias são denominadas **mineraloides**. É o caso, por exemplo, de substâncias originadas por atividades ou processos biológicos (animal ou vegetal), que, portanto, não são de origem inorgânica, como a pérola, o âmbar, o carvão natural, o marfim e as conchas. Outras substâncias, que não apresentam estrutura cristalina (os átomos não são ordenados), são classificadas como amorfas e, portanto, não são minerais. É o caso do vidro e da opala (**Figura 5.3**). Mas existem duas exceções à regra: o gelo natural, encontrado em geleiras, por exemplo, e o mercúrio (líquido); apesar de não contemplarem os critérios da definição de mineral, são definidos como tal pelos mineralogistas (**Figura 5.3**).



Figura 5.3: Exemplos de mineraloides. Algumas espécies não são consideradas minerais, pois não atendem a todos os critérios de definição (não são inorgânicos ou não possuem estruturas cristalinas) e são chamados de mineraloides.

5.2.1 Como se formam os minerais?

Os minerais podem se formar por cristalização devido à evaporação lenta e gradual de uma solução (como o sal precipitado nas salinas, que constitui o mineral halita – cloreto de sódio) ou devido à diminuição de temperatura e/ou pressão. Podem ainda cristalizar em uma sequência de minerais condicionada ao resfriamento do magma, ou por precipitação de gás ou vapor vulcânico como, por exemplo, ocorre com o enxofre em regiões com atividade vulcânica (**Figura 5.4**). Como todos esses processos cristalinos resultam da associação de elementos químicos, a cristalização de um mineral depende da disponibilidade de elementos químicos no ambiente de cristalização, das condições adequadas de temperatura e pressão e de tempo.

Minerais que apresentam cristais bem desenvolvidos, com faces externas bem definidas e que refletem o ordenamento interno dos átomos, são raros e, por isso, são tão valiosos procurados por colecionadores. Os cristais bem formados, com faces bem definidas delimitadas por arestas, apresentam uma simetria (com planos, eixos e centros de simetria), o que permite organizá-los em sete principais sistemas cristalinos (**Tabela 5.2**).



Figura 5.4: Precipitação de enxofre de fumarolas em região vulcânica.

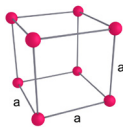

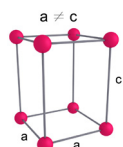

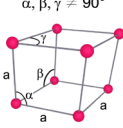

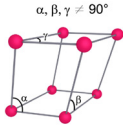

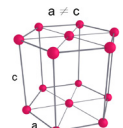

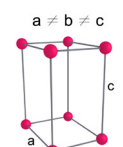

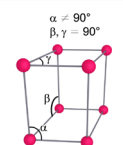
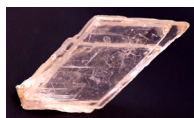
| Sistema cristalino | Constantes cristalográficas | Exemplo |
|--------------------|--|---|
| Cúbico |  <p>$(a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ)$</p> |  <p>Fluorita (CaF)</p> |
| Tetragonal |  <p>$(a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ)$</p> |  <p>Rutilo (TiO₂)</p> |
| Trigonal |  <p>$(a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 120^\circ)$</p> |  <p>Calcita (CaCO₃)</p> |
| Triclínico |  <p>$(a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma)$</p> |  <p>Cianita (Al₂SiO₅)</p> |
| Hexagonal |  <p>$(a = b \neq c, \alpha = \beta = 120^\circ, \gamma = 90^\circ)$</p> |  <p>Apatita Ca₅(F,Cl, OH)(PO₄)₃</p> |
| Ortorrômico |  <p>$(a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ)$</p> |  <p>Topázio Al₂SiO₄(F,OH)₂</p> |
| Monoclínico |  <p>$(a \neq b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma)$</p> |  <p>Gipsita CaSO₄·2H₂O</p> |

Tabela 5.2: Os sete sistemas cristalinos naturais; a, b e c são as dimensões da célula unitária e α , β , γ e δ são os ângulos entre seus eixos.
/ Fonte: fotos: [Alpinisme et Minéraux](#).

5.2.2 Como são classificados os minerais?

Existem cerca de 4.000 espécies minerais conhecidas, mas apenas algumas formam a maioria das rochas. Os minerais são geralmente classificados com base no radical aniônico (parte negativa da molécula básica do mineral: por exemplo, cloreto, fosfato, sulfato, silicato etc.) dominante em sua fórmula química. Por ser o silício o elemento químico mais abundante na Terra, seu radical aniônico (silicato) é o constituinte principal dos minerais. Em função dessa característica, na classificação usual em mineralogia, faz-se a distinção entre os silicatos e os não-silicatos.

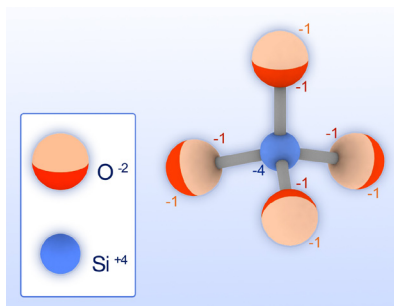


Figura 5.5: O tetraedro de sílica (SiO₄) e a distribuição de suas cargas.

Na crosta terrestre, oxigênio e silício são os elementos químicos mais abundantes. Juntos, formam os silicatos (cerca de 90% dos minerais pertence a esse grupo), construídos a partir de um átomo de silício e quatro átomos de oxigênio, formando um tetraedro de SiO₄ (Figura 5.5). Esses tetraedros podem se unir e formar estruturas atômicas diferentes e, assim, originar minerais silicáticos diferentes. Além disso, o tetraedro de SiO₄ é eletricamente negativo, mas pode se tornar neutro ao incorporar, em sua estrutura, cátions de carga positiva como o cálcio (Ca²⁺), o potássio (K⁺), o sódio (Na⁺), o alumínio (Al³⁺), o magnésio (Mg²⁺) e o ferro (Fe²⁺ ou Fe³⁺), por exemplo.

A Tabela 5.3 apresenta a classificação dos silicatos, de acordo com a geometria da associação de tetraedros (tetraedros isolados, em cadeias simples, em cadeias duplas, em folha ou em arranjo tridimensional).

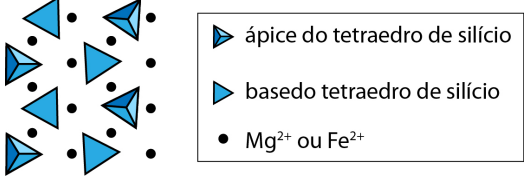

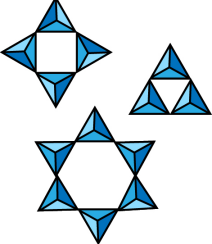

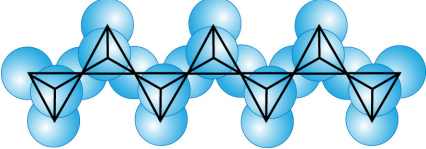

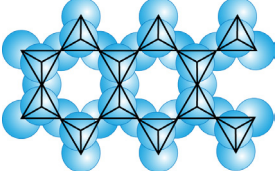

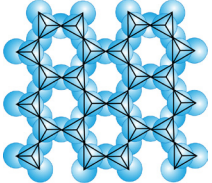

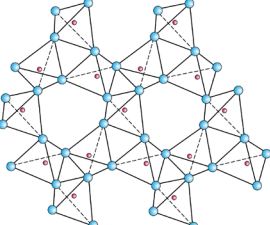

| Grupo | Estrutura | Exemplo |
|---------------------------------------|---|--|
| Tetraedros isolados (Nesosilicatos) |  |  |
| Anéis (Ciclossilicatos) |  |  |
| Cadeia simples (Inossilicatos) |  <p style="text-align: center;">Cadeia Simples</p> |  |
| Cadeia dupla (Inossilicatos) |  <p style="text-align: center;">Cadeia Dupla</p> |  |
| Folhas de tetraedros (Filossilicatos) |  <p style="text-align: center;">Folhas</p> |  |
| Estrutura em 3D (Tectosilicatos) |  |  |

Tabela 5.3: Classificação dos silicatos de acordo com a associação geométrica de tetraedros de sílica SiO₄.

Os principais silicatos, como espécies minerais encontradas nas rochas são, por exemplo:

- **Olivina:** um mineral escuro, silicato de Fe e Mg, freqüente nas rochas ígneas do manto terrestre;
- **Piroxênios e anfibólios:** minerais escuros, silicatos de Ca, Na, Fe, Mg, encontrados em rochas ígneas, do manto e da crosta oceânica;
- **Micas** (biotita, de cor escura e muscovita, de cor clara): silicatos com estrutura cristalina em folhas, comuns em rochas ígneas e metamórficas; (a muscovita é a popular “malacaxeta”, utilizada como resistência nos ferros de passar antigos);
- **Feldspatos:** minerais claros, os mais abundantes nas rochas da crosta, com muito alumínio em sua composição; são aluminossilicatos de K e Na (os feldspatos alcalinos) e de Na e Ca (feldspatos calco-sódicos ou plagioclásios);
- **Quartzo:** mineral claro, o único mineral comum inteiramente composto apenas de silício e oxigênio (SiO_2);
- **Granada:** mineral escuro com estrutura semelhante à da olivina, encontrado em rochas metamórficas principalmente;
- **Argilominerais:** não se formam em ambientes ígneos, mas são produtos do intemperismo de outros silicatos ou, eventualmente, de metamorfismo; a maioria encontra-se nos solos e são comuns em rochas sedimentares, sendo a caulinita o argilomineral mais comum.

Os **minerais não-silicáticos** são menos abundantes, mas têm grande importância, visto que muitos têm valor econômico e estratégico. Podemos classificá-los em:

- **carbonatos** – formados pelo radical aniônico CO_3^{2-} : as espécies mais comuns são a calcita (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), principais constituintes de rochas sedimentares como o calcário e o dolomito. São muito empregados como corretivo de solo e utilizados na fabricação de cimento, por exemplo. Têm um papel importante no ciclo do carbono (estocam CO_2) e são os principais constituintes das conchas e dos fósseis;
- **haletos** (Cl^- , F^- , Br^-) – formam os evaporitos (halita: NaCl ou sal de cozinha; silvita: KCl) ou são encontrados em filões hidrotermais (fluorita: CaF_2 , utilizada como fundente na indústria);
- **óxidos** (O^{2-}) – a maioria dessas espécies minerais, formadas com os elementos de transição, é uma fonte importante de metais, como é o caso, por exemplo, da hematita (Fe_2O_3), da cromita (CrO_4), do rutilo (TiO_2). A magnetita (Fe_3O_4), o principal mineral que registra o magnetismo terrestre, é importante para os estudos de paleomagnetismo das rochas.
- **sulfatos** (SO_4^{2-}) – são geralmente formados por precipitação química (em ambientes oxidantes). As espécies mais comuns são a anidrita (CaSO_4), a barita (BaSO_4) e a gipsita ou gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) utilizada na fabricação de gesso.

- **sulfetos** (S^{2-}) – formam importantes minerais de minérios como a pirita (FeS_2), a calcopirita ($CuFeS_2$) e a galena (PbS), entre outros;
- **fosfatos** (PO_4^{3-}) – espécie mais comum é a apatita [$Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$]; são a fonte quase única de fósforo com aplicação na agricultura e na indústria.
- **elementos nativos** – espécies que ocorrem como elementos puros, como o ouro (Au), a platina (Pt), o cobre (Cu), a prata (Ag), o mercúrio (Hg), o diamante (C) e o enxofre (S), por exemplo.

5.3 Identificação de minerais

As propriedades físicas dos minerais dependem de sua composição química e estrutura cristalina e é com base nessas propriedades que podemos identificá-los.

Os minerais são, muitas vezes, associados à ideia de cristais perfeitos, como aqueles exibidos em museus, com belas formas, como cubos, prismas, pirâmides etc. Mas só raramente os cristais apresentam uma estrutura externa geometricamente perfeita. Em função dessa característica, as espécies minerais podem ser classificadas de acordo com a sua forma externa, ou seja, o seu hábito, além de outros aspectos físicos particulares: cor, brilho, transparência, traço, fratura, clivagem, dureza e outras propriedades (magnética, elétrica, fotoluminescência).

- **Hábito** – é o formato geométrico externo característico que um mineral apresenta. Pode ser laminar, como o caso das micas (muscovita – $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), prismático [apatita – $Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$], fibroso (crisotila – $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$), tabular (barita – $BaSO_4$) ou equidimensional (granada almandina – $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$), havendo ainda outros hábitos caracterizados como ilustrado na **Figura 5.6**. Entretanto, nem todos os minerais apresentam um hábito característico, exclusivo, que permita utilizá-lo como critério de classificação; exceção é a mica; apenas minerais deste grupo são lamelares.



Figura 5.6: Hábitos cristalinos comuns de minerais.

Observando uma rocha, cristais perfeitos ou fragmentos de minerais, deparamo-nos também com espécies minerais de diversas cores, brilhos e transparências.

- **Cor** – é o que geralmente mais chama a atenção ao se observar um mineral. Trata-se, porém, de um critério ambíguo na identificação, uma vez que um mesmo mineral pode apresentar várias cores, como é o caso do quartzo, por exemplo (**Figura 5.7A**). A cor se deve à absorção seletiva de luz e varia em função da presença de certos elementos químicos (Fe, Cr, Cu, Ti, V, Mn etc.), presentes apenas como impurezas, não sendo, assim, elementos essenciais na composição original característica do mineral. Entretanto, alguns minerais apresentam uma cor muito característica, útil na identificação (malaquita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{CO}_3$) verde, enxofre (S) amarelo, azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) azul, rodocrosita (MnCO_3) rosa) (**Figura 5.7B**). Portanto, ao tentar identificar um mineral, é necessário considerar também outras propriedades.



Figura 5.7: Variedades como cores diferenciadas para vários minerais.
A. Tipos de quartzo; B. Outros minerais.

- **Brilho** – é a propriedade do mineral de refletir a luz. O brilho pode ser classificado em metálico e não-metálico. Contudo, objetos comuns também podem refletir a luz com intensidades diferentes; alguns brilham muito mais ou muito menos do que outros. O copo de vidro não tem o mesmo brilho que um copo de plástico, nem uma folha de papel alumínio comparada com uma moeda. Podemos aplicar essas mesmas observações aos minerais. Aqueles que se apresentam com brilho metálico são geralmente dourados, prateados ou acobreados. Os minerais com brilho não-metálico possuem várias distinções em analogia ao brilho de objetos comuns. Por exemplo: brilho vítreo (vidro recém-quebrado), brilho gorduroso (brilho do óleo), brilho perláceo (brilho da pérola), sedoso (brilho da seda), ceroso (brilho da cera) etc. (**Figura 5.8**).

BRILHO METÁLICO



GALENA (PbS)

BRILHO NÃO METÁLICO (VÍTREO)



QUARTZO (SiO₂)



RALGAR (AsS)

Figura 5.8: Brilhos metálico e não-metálico dos minerais.

- **Transparência** – é a capacidade do mineral em deixar passar a luz. Pode ser transparente (vemos através dele como através do vidro da janela), translúcido (deixa parcialmente passar a luz, como quando olhamos através do vidro embaçado) e opaco (não deixa passar a luz). (**Figura 5.9**).



Figura 5.9: Transparência dos minerais.

- **Traço** – é a cor característica do pó que um mineral deixa ao ser riscado sobre uma superfície de porcelana (ou quando pulverizado). Por exemplo: o traço avermelhado da hematita ou cinza escuro da pirita (**Figura 5.10**). Se a cor de um mineral deve ser considerada com cautela em qualquer tentativa de classificação, por ter uma boa dose de subjetividade, a cor do mineral reduzido a pó torna-se um bom critério de desempate entre espécies minerais parecidas, isto porque a cor pode variar de um mineral a outro, mas a cor do seu traço, geralmente, não muda.

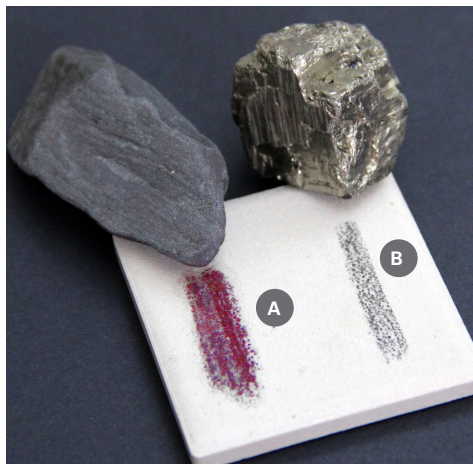


Figura 5.11: Fratura conchoidal do quartzo (SiO_2).

Figura 5.10: A. Traço avermelhado da hematita (Fe_2O_3) e B. Cinza escuro da pirita (FeS_2).

Um mineral, ao ser quebrado, pode apresentar superfícies irregulares ou planas, que podem também ser utilizadas como critério de identificação, assim como a resistência à abrasão, que reflete a coesão da estrutura (quanto mais fortes as ligações químicas, mais resistente é o mineral).

Essas características constituem outras três propriedades dos minerais, muito úteis na identificação.

- **Fratura** – é a forma irregular apresentada na superfície de quebra do mineral. O quartzo apresenta uma fratura denominada conchoidal (como a forma de uma concha) com ranhuras concêntricas (**Figura 5.11**).
- **Clivagem** – é uma superfície regular plana que o mineral apresenta ao ser quebrado, cuja orientação se repete; a presença de clivagens reflete a estrutura interna ordenada dos minerais, que apresenta um ou alguns planos de fraqueza. A mica apresenta uma clivagem perfeita, pois podemos separar partes finas e planas como folhas, reflexo de sua estrutura interna foliada (**Figura 5.12**). Os minerais podem ter um, dois ou três planos de clivagem.

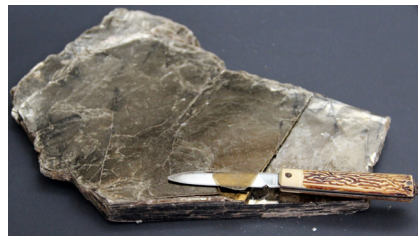


Figura 5.12: clivagem perfeita da mica (filossilicato).

- Dureza** – é a resistência apresentada por um mineral ao ser riscado (resistência à abrasão). Geralmente, utiliza-se uma escala relativa com 10 minerais padrões: a **escala de Mohs (Figura 5.13)**. O mineral mais resistente é o diamante, seguido pelo coríndon, e, por serem resistentes, eles são utilizados como abrasivo na indústria e revestem cabos de corte (fio diamantado), utilizados na extração de rochas ornamentais, por exemplo, além de outras ferramentas de corte e abrasão.



Figura 5.13: Escala de Mohs e instrumentos geralmente utilizados para a determinação de dureza.

- Finalmente, propriedades magnéticas, elétrica, de fotoluminescência (fluorescência e fosforescência) também podem ser utilizados para reconhecimento dos minerais. Alguns minerais são sensíveis ao campo magnético e são atraídos por um ímã. É o caso, por exemplo, da magnetita (Fe_3O_4), único mineral atraído pelo ímã de mão (**Figura 5.14a**). Outros têm propriedades elétricas em função, principalmente, do tipo de ligação química que une os átomos constituintes dos minerais: minerais que possuem ligações metálicas são bons condutores de eletricidade, ao passo que minerais que têm ligações iônicas ou covalentes são isolantes ou semicondutores. Minerais condutores que não possuam centro de simetria podem produzir eletricidade por aquecimento (piezoelectricidade) ou compressão (piezoelectricidade); os exemplos mais comuns são a turmalina e o quartzo, respectivamente. Essa propriedade do quartzo é muito importante na indústria eletrônica. Alguns minerais, quando irradiados por radiação ultravioleta, emitem luz. Esse fenômeno é denominado fluorescência (nome que faz referência ao mineral fluorita, que apresenta essa propriedade) (**Figura 5.14b**). Se a emissão de luz dura ainda alguns instantes após o fim da exposição à radiação, o fenômeno associado é a fosforescência. É o caso, por exemplo, da scheelita (CaWO_4).

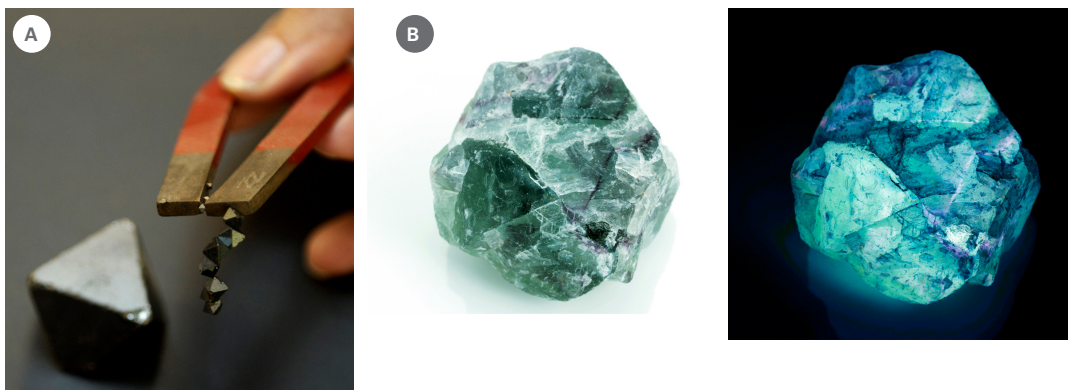


Figura 5.14: Algumas propriedades dos minerais. **A.** Atração entre a magnetita e o ímã de mão; e **B.** Fluorescência da fluorita.

5.4 Rochas e seus Minerais

A maioria dos minerais que mencionamos ao longo deste tópico constitui as principais **rochas** presentes em nosso planeta e também na Lua, nos outros planetas rochosos do Sistema Solar (Mercúrio, Vênus, Marte) e nos asteroides. Quando observamos as rochas que ocorrem comumente na superfície como, por exemplo, aquelas que são utilizadas como materiais para

construção e ornamentação das construções, frequentemente polidas, de forma a deixar evidentes suas características visuais, podemos perceber a variedade de cores e estruturas: há estruturas que nos fazem imaginar que passaram por esforços ou por fases de fusão, pois apresentam faixas onduladas ou irregulares, diferenciadas pelas cores e dimensões dos minerais que as constituem. Outras são relativamente homogêneas, mostrando grãos minerais distribuídos mais ou menos regularmente e que podem ter dimensões muito ou pouco variáveis. Outras variações ainda podem ser observadas no aspecto macroscópico das rochas, e essas observações apoiam as interpretações sobre a origem das rochas.

Assim, a dinâmica interna e a dinâmica externa da Terra regem os processos de formação de rochas, interligados pelo ciclo das rochas e que serão detalhados nos próximos tópicos, e que, na escala global, estão ligados à Tectônica de Placas.

As rochas podem ser agrupadas em três grandes famílias, em função de sua origem: as rochas ígneas, cristalizadas a partir de magmas, as rochas sedimentares, formadas na superfície terrestre, e as rochas metamórficas, que resultam da transformação em profundidade das outras rochas. Essas rochas são partes integrantes de um ciclo, o **ciclo das rochas**, que ocorre no interior e na superfície da litosfera, definindo ambientes e processos formadores de rochas com características diferentes (**Figura 5.15**). Por sua vez, cada grupo de rochas possui estruturas, texturas e composições características de acordo com sua origem, e são estas as características que podem, muitas vezes, ser observadas a olho nu, permitindo a interpretação preliminar de sua origem. A cada um dos três tipos corresponde um ambiente geológico muito diferenciado.

As rochas produzidas no ambiente magmático são oriundas da cristalização de magmas. A temperatura é elevada, geralmente superior a 700 °C, e a pressão é muito alta, se o magma fica confinado dentro da crosta (plutonismo) ou baixa, no caso do magma irromper na superfície (vulcanismo). A diferença entre os diversos tipos de rochas magmáticas (ou ígneas) provém das diferentes composições químicas e da velocidade de resfriamento, que lhes conferem texturas características.

No ambiente sedimentar, os processos ocorrem na superfície da litosfera, em temperatura e pressão baixas, em contato com a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera. As rochas sedimentares são formadas a partir do soterramento e consolidação de depósitos sedimentares de materiais minerais ou por precipitação a partir de soluções aquosas.

No ambiente metamórfico, o campo de temperatura e pressão é muito mais amplo, mas a temperatura não pode exceder 700 °C, pois entraria no campo de fusão das rochas, ou seja, no campo magmático. As rochas metamórficas são rochas preexistentes, que foram deformadas e transformadas por terem sido submetidas a elevações de temperatura, pressão e/ou à circulação de fluidos na litosfera.

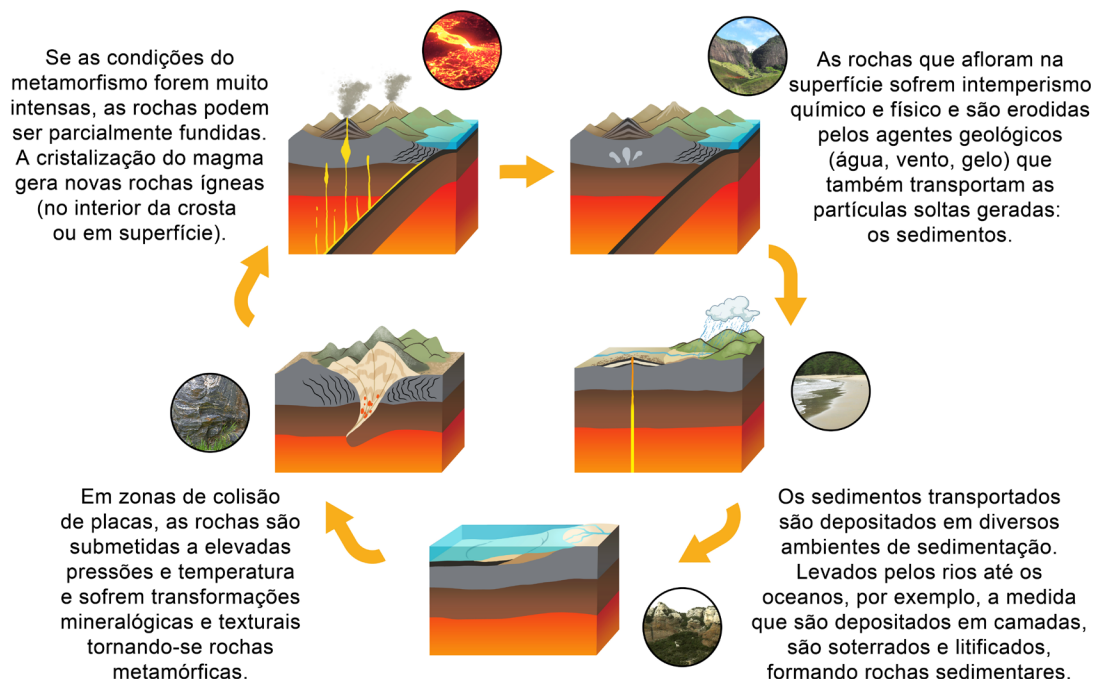


Figura 5.15: Ilustração esquemática do ciclo das rochas mostrando as diversas etapas e possibilidades de transformação de um tipo de rocha em outro, no contexto da dinâmica das placas tectônicas e da dinâmica externa.

Leitura Complementar

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. 600p.

PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

TARBUCK, E. J.; LUTGENS, F. K.; TASA, D. **Earth: An Introduction to Physical Geology**. New Jersey: Prentice Hall, 2010.

CORNEJO, C.; BARTORELLI, A. **Minerais e pedras preciosas do Brasil**. São Paulo: Solaris, 2009.

Referências Bibliográficas

Alpinisme et Minéraux. Disponível em: <<http://www.alpinismmeetmineraux.fr>>. [s.d.].
Acesso em: 08/2012.