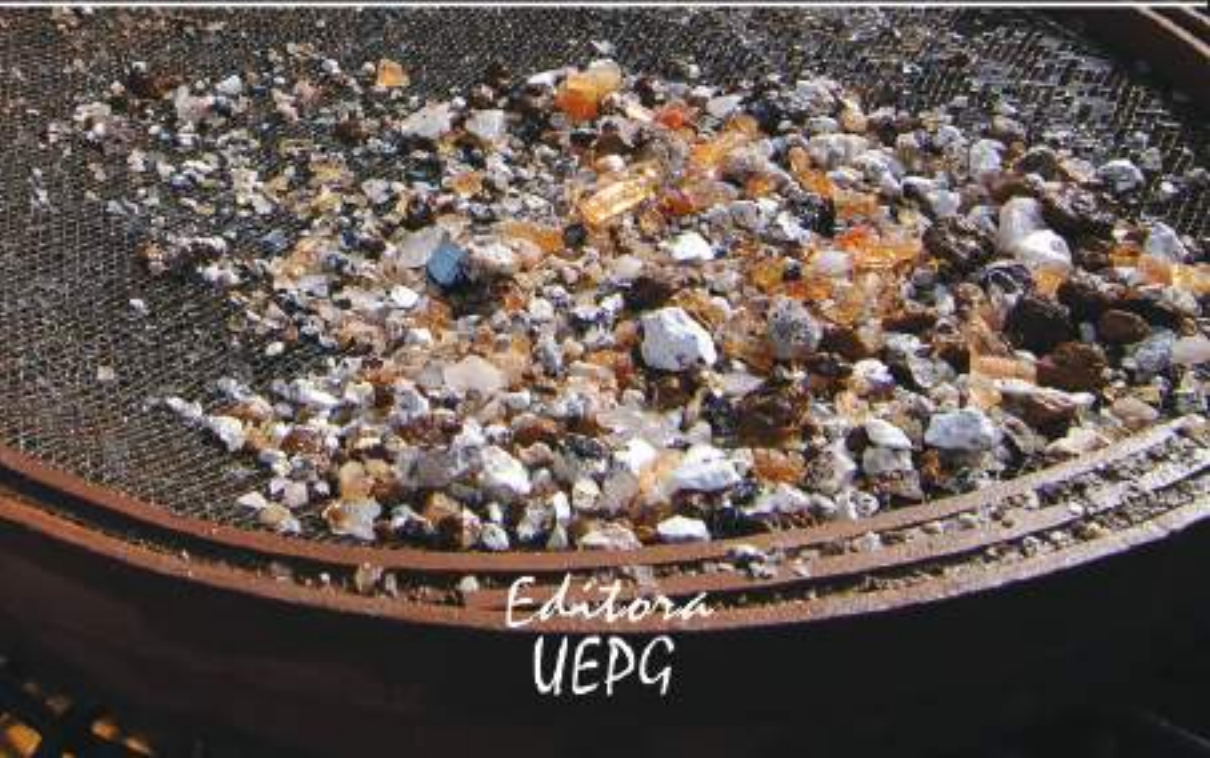




Antonio Liccardo  
Nelson Luiz Chodur

# OS MINERAIS

elementos da geodiversidade



Editora  
UEPG

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

REITOR

Carlos Luciano Sant'Ana Vargas

EDITORA UEPG

Lucia Cortes da Costa

PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO  
E ASSUNTOS CULTURAIS

Gisele Alves de Sá Quimelli

CONSELHO EDITORIAL

Fábio André dos Santos

David de Souza Jaccoud Filho

Gisele Alves de Sá Quimelli

José Augusto Leandro

Osvaldo Mitsuyuki Cintho

Silvio Luiz Rutz da Silva

Antonio Liccardo  
Nelson Luiz Chodur

# OS MINERAIS

elementos da geodiversidade



*Editora*  
UEPG

**Copyright © by Antonio Liccardo, Nelson Luiz Chodur & Editora UEPG**

Nenhuma parte deste livro, sem autorização prévia por escrito da Editora, poderá ser reproduzida ou transmitida, sejam quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos, gravação ou quaisquer outros.

### **Equipe editorial**

|                                                      |                                         |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Coordenação editorial</i>                         | Lucia Cortes da Costa                   |
| <i>Preparação de originais e ficha catalográfica</i> | Cristina Maria Botelho                  |
| <i>Revisão de texto</i>                              | Amanda Coca/Tikinet                     |
| <i>Revisão técnica</i>                               | Gilson Burigo Guimarães/Luiz Chieregati |
| <i>Projeto gráfico, capa e diagramação</i>           | Aline Maya/Tikinet                      |
| <i>Fotografia</i>                                    | Antonio Liccardo                        |

550.8      Liccardo, Antonio  
L698m      Os minerais: elementos da geodiversidade  
[livro eletrônico], por Antonio Liccardo e  
Nelson Luiz Chodur. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2017.  
25, 600 Kb.; e-book.  
  
Modo de acesso: <<http://www.uepg.br/editora/>>  
ISBN: 978-85-7798-209-7 (on-line)  
  
1-Geodiversidade - Brasil. 2-Geologia – América do  
Sul. I.Chodur, Nelson Luiz. II.T.

Depósito legal na Biblioteca Nacional

Editora filiada à **ABEU**  
Associação Brasileira das Editoras Universitárias

Editora UEPG  
Praça Santos Andrade, n. 1  
84030-900 – Ponta Grossa – Paraná  
Fone: (42) 3220-3306  
E-mail: [vendas.editora@uepg.br](mailto:vendas.editora@uepg.br)

2017

## PREFÁCIO

Em 2011, a mineração (incluindo minerais metálicos, não metálicos e combustíveis fósseis) e a indústria de processamento mineral contribuíram em 4,5% para o PIB brasileiro<sup>1</sup>, valor correspondente a um pouco mais de 186 bilhões de reais. No Brasil, quase 809 mil pessoas trabalham nestes setores econômicos, o suficiente para lotar 12 estádios de futebol da dimensão do Maracanã! Há muito que o Brasil é conhecido pela riqueza e diversidade dos seus recursos naturais, sendo líder internacional na produção de diversos minérios. Como o mapeamento geológico detalhado do território brasileiro é ainda escasso em dois terços do país<sup>1</sup>, é bastante provável que o setor mineiro venha, no futuro, a adquirir uma maior relevância econômica, com a descoberta de novos depósitos minerais, atualmente desconhecidos.

A importância econômica dos minerais é óbvia. Ela advém da nossa dependência de matérias-primas que são necessárias na produção de tudo o que precisamos para a nossa sobrevivência diária. Apesar de nas sociedades ocidentais se consumirem anualmente milhões de toneladas de minerais, a maioria das pessoas desconhece o que são minerais, quais os mais comuns e qual a sua importância para assegurar o nosso bem-estar; desconhece também o papel crucial dos geólogos na sua identificação, prospecção e exploração.

O valor econômico dos minerais não resulta apenas da sua utilização enquanto matéria-prima industrial. Devido a características como a raridade e a beleza, colecionadores profissionais e amadores estão dispostos a pagar grandes quantias por determinadas amostras. A raridade de alguns minerais está relacionada com diversos fatores. Por exemplo, devido à existência, na sua estrutura cristalina, de elementos químicos pouco abundantes no planeta, ou, então, porque a sua formação exige condições que apenas existem na Terra em circunstâncias muito particulares (por exemplo, uma pressão milhares de vezes mais elevada que a pressão atmosférica sob a qual vivemos). A dimensão e a perfeição geométrica dos cristais, a cor, a inclusão ou a associação de diversos minerais pode também contribuir para a raridade de determinadas amostras e, conseqüentemente, para o aumento do seu valor comercial.

<sup>1</sup>A. Gurmendi, The mineral industry of Brazil, March 2013, U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2011.

Os minerais possuem também um inegável valor científico. Sendo os constituintes das rochas, o estudo da sua composição química e da estrutura cristalina fornece aos geólogos indicações preciosas que podem ajudá-los a conhecer os diferentes ambientes geológicos que existiram no planeta Terra ao longo dos seus 4,6 bilhões de anos de idade. O conhecimento da idade da Terra é, ele mesmo, o resultado de análises químicas feitas em determinados minerais, recorrendo a sofisticadas técnicas de laboratório. O estudo dos minerais permite também estabelecer as bases para teorias sobre a origem do planeta e dos restantes corpos celestes que constituem o nosso sistema solar. A mineralogia é, atualmente, um dos campos da geologia onde o conhecimento científico continua a evoluir mais significativamente, à medida que novas técnicas de análise vão sendo desenvolvidas com a contribuição de outras áreas do conhecimento, como a física e a química.

As ocorrências de minerais com particular valor científico devem ser conservadas de modo a permitir a sua pesquisa atual e futura. O patrimônio mineralógico, um dos tipos de patrimônio geológico, abrange não todo e qualquer mineral, mas apenas aqueles que detêm um singular valor científico, estético, educativo e cultural. Esses minerais podem ser conservados in-situ, isto é, no ambiente natural onde ocorrem, ou ex-situ, em museus onde ficam disponíveis para usufruto público. A conservação e gestão do patrimônio mineralógico deve ser regulada por meio de legislação adequada, com vista à definição, com uso de critérios claros, de quais as amostras que possuem valor patrimonial e que, por conseguinte, devem ser conservadas, quais as que podem ser comercializadas e ainda as que podem ser utilizadas como matéria-prima. Infelizmente, na maior parte dos países, este tipo de enquadramento legal é, ainda, bastante incipiente.

Sendo os minerais essenciais para a sociedade em vertentes tão diversificadas, é importante que os geólogos se dediquem, não apenas ao seu estudo, prospecção e exploração, mas também a transmitir publicamente o conhecimento básico que permita aos cidadãos conhecer e apreciar estes elementos da geodiversidade. Antonio Liccardo e Nelson Luiz Chodur, os autores deste livro, que se destina a não especialistas, decidiram responder a esse desafio com particular mestria. Com excelentes imagens e usando uma linguagem simples, mas não simplista e mantendo o necessário rigor científico, o livro “Os minerais – elementos da geodiversidade” é uma excelente contribuição para a divulgação das geociências em língua portuguesa e para dar a conhecer à sociedade a importância dos minerais.

## **José Brilha**

Pesquisador da Universidade do Minho (Portugal) e membro da ProGEO (European Association of the Geological Heritage) e do Comitê Português para as Geociências da UNESCO – IGCP.

# SUMÁRIO

|                                                                   |         |
|-------------------------------------------------------------------|---------|
| GEODIVERSIDADE .....                                              | 9       |
| O HOMEM E O REINO MINERAL .....                                   | 15      |
| O QUE É UM MINERAL? .....                                         | 21      |
| ESTRUTURAS DOS MINERAIS .....                                     | 27      |
| COMO SE FORMAM? .....                                             | 35      |
| PARA QUE SERVEM? .....                                            | 41      |
| CLASSIFICAÇÕES MAIS USADAS .....                                  | 47      |
| PROPRIEDADES FÍSICAS.....                                         | 59      |
| COR .....                                                         | 59      |
| BRILHO .....                                                      | 66      |
| DIAFANEIDADE .....                                                | 71      |
| HÁBITO.....                                                       | 72      |
| GEMINAÇÃO OU MACLA .....                                          | 79      |
| DUREZA.....                                                       | 81      |
| TENACIDADE .....                                                  | 84      |
| DENSIDADE.....                                                    | 86      |
| CLIVAGEM .....                                                    | 92      |
| PARTIÇÃO .....                                                    | 97      |
| FRATURA .....                                                     | 98      |
| TRAÇO.....                                                        | 99      |
| MAGNETISMO .....                                                  | 100     |
| LUMINESCÊNCIA.....                                                | 102     |
| REAÇÃO A ÁCIDOS .....                                             | 104     |
| RADIOATIVIDADE.....                                               | 106     |
| PROPRIEDADES ELÉTRICAS E TÉRMICAS.....                            | 109     |
| SOLUBILIDADE .....                                                | 110     |
| PROPRIEDADES ORGANOLÉPTICAS.....                                  | 111     |
| <br>TÉCNICAS PARA A IDENTIFICAÇÃO<br>DOS PRINCIPAIS MINERAIS..... | <br>115 |
| METAIS .....                                                      | 123     |
| PEDRAS PRECIOSAS .....                                            | 133     |
| GEODIVERSIDADE E A DIVERSIDADE GEMOLÓGICA NO BRASIL .....         | 145     |
| GLOSSÁRIO .....                                                   | 149     |
| TABELAS.....                                                      | 153     |
| REFERÊNCIAS .....                                                 | 155     |



O conceito de biodiversidade é bastante conhecido pelas pessoas e foi difundido a partir das preocupações com a preservação ambiental, que se iniciaram no final dos anos 1980. Geodiversidade, no entanto, é um conceito de uso bem mais recente e ainda pouco assimilado no entendimento das relações ambientais.

A biodiversidade do planeta é uma consequência direta da evolução da geodiversidade, pois, antes que surgisse a vida na Terra, houve profundas transformações geológicas para proporcionar melhores condições para sua existência, inclusive na atmosfera, com a geração de oxigênio. Os diferentes organismos, incluindo seres humanos, encontraram condições de subsistência em ambientes diversos que são totalmente condicionados pelo meio abiótico. Biodiversidade e geodiversidade estão, obviamente, profundamente entrelaçadas, mas paradoxalmente, o amplo entendimento da geodiversidade só começou a acontecer depois do surgimento de uma consciência maior sobre a biodiversidade ameaçada. A sociedade de consumo atualmente instalada aponta para um futuro insustentável em termos de recursos naturais e, em relação à geodiversidade, sempre vista pelo viés do aproveitamento econômico, é preciso considerá-la também por seus outros valores.

É fundamental que os conceitos de geodiversidade alcancem outras áreas do pensamento humano para o entendimento pleno sobre o meio ambiente e, nesse sentido, a mineralogia é um dos alicerces mais sólidos para o processo de educação geocientífica. A mineralogia, vista até hoje como uma ciência hermética, deve se abrir para a interdisciplinaridade e contribuir para o entendimento e a valorização dos ecossistemas.

Definições têm sido usadas com certa flexibilidade por vários autores (e.g. SHARPLES 1995; GRAY 2004; BRILHA 2005; NASCIMENTO et al. 2008). Basicamente, a geodiversidade se refere à variedade de elementos do meio abiótico na natureza e não se restringe somente aos produtos geológicos, como os minerais, as rochas, os fósseis e os solos, mas abrange também os processos da dinâmica terrestre, assim como outros aspectos correlatos, como os recursos hídricos, as paisagens etc.

Nesse sentido, os minerais apresentam um papel de máxima importância, já que constituem a unidade fundamental com a qual foram construídas rochas, montanhas, solos e suas características são determinantes para o resultado do conjunto. Se, para se aproximar da biodiversidade é necessário um olhar sobre as folhas das árvores ou sobre animais unicelulares, na geodiversidade é preciso olhar primeiramente para a composição mineralógica para se compreender formas e comportamentos da paisagem física.



Na Bacia Sedimentar de Curitiba é encontrado um mineral raríssimo, descoberto na década de 1970. A Neodímio-Lantanita, além de revelar uma geodiversidade muito especial dentro da área urbana da capital paranaense, curiosamente registra a existência de um clima semidesértico há cerca de 5 milhões de anos, onde hoje há um clima temperado e úmido.

Outro aspecto importante sobre a geodiversidade diz respeito aos valores que a sociedade lhe atribui, que vão além do convencional valor econômico. Gray (2004) propôs entre os valores essenciais para a humanidade, os valores intrínseco, cultural, estético, funcional, científico e educativo. O uso de minerais ao longo da história da humanidade aparece com vários desses aspectos entrelaçados, como:

em artefatos líticos estudados na arqueologia para entender sociedades antigas; nas cerâmicas famosas de certas regiões que são dependentes da disponibilidade de argilas específicas; no uso de pedras preciosas na joalheria e seu significado social e religioso; no uso de pigmentos minerais na pintura em todos os tempos; nos museus de mineralogia em todo o mundo que geram renda pelo turismo cultural e são usados na educação por visitas escolares; ou nos solos, que por seus nutrientes ligados à composição mineralógica, fornecem os melhores vinhos e as safras mais abundantes de alimentos. São valores que muitas vezes se sobrepõem ao valor econômico ou complementam-no.

O conhecimento geocientífico deve ser um fator de educação geral e também de cultura para a sociedade, assim como acontece com a música ou com a arte, para que se possa gerar massa crítica que, no futuro, enfrente com conhecimento os desafios da ocupação humana neste planeta. Os minerais podem ser uma valiosa fonte de informações sobre o homem e o mundo. Graças aos minerais, entre os quais o zircão que permite uma datação precisa, o homem tem hoje a compreensão do tempo de formação da Terra, ou ainda, os minerais inclusos no diamante, que são testemunhos físicos da composição do manto a mais de 200 km de profundidade, pelos quais o homem pode conhecer melhor ambientes passados ou inacessíveis no planeta. Em termos filosóficos, essas e outras informações revolucionaram os modelos cosmogônicos e modificaram o modo de pensar do homem perante o universo.



Grãos de zircão obtidos em sedimentos na localidade de Coromandel, Minas Gerais. Este mineral pode trazer informações valiosas sobre a idade das rochas, já que os resultados de dados isotópicos em zircão frequentemente permitem aplicações na geocronologia e datação do mineral.

A geodiversidade está estreitamente ligada à geopolítica, se for considerada a premência por recursos minerais, principalmente nesta sociedade pós-moderna. Dados do *Mineral Information Institute*, nos Estados Unidos, apontam que a demanda por insumos minerais já é altíssima, pois cada americano que nasce consumirá aproximadamente 1.680 toneladas de minerais, metais e combustíveis ao longo de sua vida (BRILHA, 2005). Com a rigidez locacional das jazidas – não se pode produzir minérios longe de sua fonte natural –, com o desenvolvimento de novas tecnologias e com as populações aumentando, somente o conhecimento poderá enfrentar tamanhos desafios num mundo globalizado tão ávido, apesar de mais consciente dos riscos. A compreensão mínima sobre o reino mineral para o máximo possível de pessoas é um dos caminhos para a melhor convivência (talvez sobrevivência) da humanidade em relação ao planeta.



Um mapa das ocorrências de pedras preciosas no Brasil é apenas um dos parâmetros que indicam a grande geodiversidade desse território. Nesse caso, fica evidente o valor econômico, porém outros valores poderiam ser mapeados e quantificados para o pleno conhecimento do patrimônio.

Raríssimos exemplares de berilo azul (água-marinha) com cerca de 4 kg cada, com total aproveitamento para lapidação. Exemplares como esses, encontrados em Santa Maria do Jetibá, no Espírito Santo, refletem uma fascinante geodiversidade do território brasileiro.



Granitos são uma das principais rochas que constituem a crosta continental na Terra. São os minerais como quartzo, feldspatos, micas (e.g. biotita), anfibólios e piroxênios que, agregados sob condições especiais, formam um granito (Pedra Azul, ES).

Cavernas em calcário e mármore são fascinantes por apresentarem estruturas de dissolução e precipitação que se mostram, às vezes, curiosas, como a “pata do elefante” na caverna Santana, em Apiaí, SP. O mineral calcita, constituinte dessas rochas, é o responsável por essas formações, já que é facilmente dissolvido por águas acidificadas.



No Paraná, uma formação rochosa especial destaca-se na paisagem. Restos de camada de arenito se apresentam em formas curiosas de relevo, como o “cálice” do Parque Estadual de Vila Velha. A mesma rocha apresenta composição mais rica em óxidos e hidróxidos de ferro no topo e mais pobre em sua base. Esse fato torna a parte superior mais resistente ao desgaste e a sua base muito mais frágil à ação do intemperismo.

A curiosidade pelo reino mineral remonta aos primeiros hominídeos, ancestrais do homem moderno. Entre os registros conhecidos, o *Homo habilis*, por exemplo, que viveu entre 1,4 e 2,3 milhões de anos atrás, e que menos se assemelhava ao *Homo sapiens*, destacou-se por sua habilidade em construir ferramentas em pedra lascada. Posteriormente, o avanço tecnológico conduziu ao uso da pedra polida como utensílio ou ao domínio dos metais, que consolidou o avanço da humanidade sobre as adversidades do planeta.

A necessidade de reconhecer as propriedades das rochas e minerais foi determinante na trajetória do ser humano e esse conhecimento sofreu uma profunda evolução, pois as substâncias minerais acabaram encontrando milhares de aplicações tecnológicas. Foi a partir do conhecimento empírico das rochas e dos metais e do conhecimento científico que a humanidade entrou na Era Industrial dos nossos tempos.

Aristóteles, no século IV a.C, escreveu sobre materiais inorgânicos, e seu discípulo Teophrastus foi autor do primeiro tratado sobre “pedras”, metais e metalurgia, texto que se perdeu ao longo da história. Na Antiguidade, destacou-se também o compêndio *Naturalis Historia* do naturalista romano Plínio, o Velho (77 d.C), que entre os vários livros, dedicou um deles aos minerais. O interesse de Plínio pelas questões de natureza geológica foi tanto que ele acabou morrendo na erupção do Monte Vesúvio que soterrou a cidade de Pompeia (79 d.C), na Itália, e até hoje aquele tipo de erupção é conhecida como “*pliniana*”.



Artefatos líticos fabricados em sílex durante o Paleolítico há cerca de 10 mil anos. Para elaborar esses objetos era necessário um bom conhecimento das características dos minerais, pois são poucas as substâncias que permitem um resultado eficiente.

Na Idade Média, o conhecimento sobre substâncias minerais teve grande desenvolvimento com a Alquimia, na busca pela pedra filosofal. Essa pedra seria uma substância que permitiria a transformação de chumbo em ouro, entre outros atributos. Aceitava-se a teoria da geração mágica dos metais a partir do mercúrio e do enxofre e a aplicação dos minerais na medicina, o que foi a base da doutrina da transmutação dos metais em ouro durante esse período. Também nessa época, Avicena (980-1037) propôs, no seu *Tratado das Pedras*, uma classificação a partir das características externas dos minerais. Albertus Magnus, Nicolas Flamel e Basílio Valentim estão entre os alquimistas mais famosos e a eles são devidos grandes avanços e descobertas sobre minerais e sobre os princípios da química moderna.



Representação de um alquimista descobrindo o fósforo, na pintura do inglês Joseph Wright, de 1771. Derby Museum and Art Gallery — Inglaterra. Fonte: Wikipedia.

A mineralogia como ciência surgiu somente a partir do século XVIII, com a especialização das ciências naturais e dos estudos de Georg Bauer, conhecido como Agricola que, em 1556, publicou *De Re Metallica*. Agricola é considerado o pai da mineralogia por iniciar a sistematização no estudo de minerais. A partir de seu trabalho é que a mineralogia ocupou lugar de destaque nas cortes europeias, quando surgiram os “gabinetes de curiosidades”, precursores dos museus de ciência atuais. José Bonifácio de Andrada e Silva, considerado o patriarca da Independência do Brasil, e talvez o mais ilustre dos brasileiros, foi um grande nome da mineralogia entre os séculos XVIII e XIX. Descobridor de vários minerais e profundo conhecedor de ciência, transitou entre naturalistas famosos, como Humboldt, realizando esforços para o desenvolvimento da mineração e da mineralogia no Brasil.



O *Tratado das Pedras Preciosas* escrito por Plínio, o Velho e a obra *De Re Metallica* de Georg Agricola são as maiores referências escritas sobre minerais na Antiguidade e Idade Média. Fonte: Wikipedia.

Com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, o conhecimento mineralógico avançou enormemente e, atualmente, são conhecidas mais de 4 mil espécies. Entre elas, algumas descobertas recentes realizadas por Daniel Atêncio, pesquisador da Universidade de São Paulo. Desde 2001, Atêncio registrou a descoberta de onze novos minerais em território brasileiro, trazendo novas luzes sobre a ciência e a geodiversidade nacional. Não obstante essa quantidade enorme, a grande maioria é muito rara na crosta terrestre e o conjunto mínimo de minerais para o reconhecimento resume-se a alguns poucos de interesse imediato.

A mineralogia moderna apresenta forte entrelaçamento com a química, a física e o desenvolvimento tecnológico-industrial. Atualmente, utilizam-se substâncias de origem mineral em praticamente qualquer atividade humana, incluindo agricultura, siderurgia, construção civil, joalheria, indústrias farmacêutica, eletrônica, etc. A caracterização de materiais para fabricação de cimento, por exemplo, supera a simples descrição e procura contribuir para a aplicabilidade dos compostos produzidos.

A compreensão da relação entre as estruturas cristalinas dos minerais e as suas características físicas, assim como sua função na composição das rochas e nos processos de litificação foi um dos campos que registraram maior avanço. Tal entendimento leva à determinação precisa das propriedades elásticas e de resistência dos minerais, o que, por sua vez, permite uma melhor compreensão do comportamento mecânico das rochas, incluindo sua relação com terremotos. Nesse aspecto, ao correlacionar os fenômenos em escala atômica com as propriedades macroscópicas das rochas que estes constituem, a mineralogia aproxima-se cada vez mais da ciência dos materiais, principalmente dos silicatos, os mais abundantes constituintes do planeta.

Ao contrário do que se pudesse pensar em fins do século XX, a mineralogia desponta como uma ciência promissora em sua contribuição para o desenvolvimento cultural e social neste século XXI. Por esse motivo, um conhecimento mínimo de mineralogia para qualquer profissional ou cidadão poderá contribuir consistentemente nas atuais discussões sobre sustentabilidade ambiental e levar à compreensão dos mecanismos que regem o planeta.

## HISTÓRIA DA MINERALOGIA NO BRASIL

José Bonifácio de Andrada e Silva nasceu em Santos, em 1763, e notabilizou-se não apenas como homem público, mas também como um importante pesquisador das ciências naturais. Graduiu-se em Filosofia Natural e Direito, em Coimbra, participando de viagens científicas. Foi associado a inúmeras sociedades científicas europeias, publicou diversas memórias no âmbito da história natural e recebeu cargos de chefia ligados à mineração e à agricultura em Portugal. Em seus escritos, colocava a ciência como algo que podia ser útil para a sociedade, que deveria resolver problemas. Acreditava que o papel da ciência não se restringia ao processo de conhecimento, mas transcendia-o e tinha o poder de transformar a realidade da população.

Bonifácio, ao descrever os minerais, baseou-se em propriedades e características externas como cor, peso específico, forma dos fragmentos, textura, transparência, brilho, clivagem e local de ocorrência. Com a descoberta de quatro novos minerais e sua descrição (escapolita, criolita, espodumênio e petalita) em 1800, passou a fazer parte de um grupo de mineralogistas reconhecidos, como Haüy e Werner, num período em que a mineralogia estava especialmente em ascensão. O reconhecimento de seu trabalho científico ocorreu em 1868, quando o mineralogista James Dana, em sua homenagem, deu o nome de Andradita a uma granada de ferro e cálcio ( $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$ ).

Em 1819, com 56 anos, voltou ao Brasil e, na formação da Junta Governativa em São Paulo, em 1821, foi escolhido vice-presidente. Iniciou-se, então, sua carreira política e o grande cientista tornou-se ainda um dos principais personagens na luta pela Independência do Brasil.

Este sábio terminou sua carreira aos 75 anos e deixou como legado a seu país uma biblioteca de oito mil volumes, um gabinete de física e de mineralogia, uma coleção de medalhas e de manuscritos. Entre esses manuscritos se encontram o diário completo de suas viagens científicas, suas observações sobre a mineração em Portugal e um tratado de mineralogia. Além de “Patriarca da Independência”, José Bonifácio de Andrada e Silva foi, também, o mais proeminente mineralogista que o Brasil já teve.



José Bonifácio de Andrade e Silva, primeiro mineralogista brasileiro, que descobriu o espodumênio e a escapolita, entre outros minerais.



Kunzita é a variedade rosa de espodumênio.  
Origem: Araçuaí, MG.



A escapolita pode variar sua composição com mais Na (chamada então marialita) ou mais Ca (chamada meiolita). Origem: ES.

A definição exata de mineral ainda é um tema discutido e está sujeita a novas adaptações à medida que a ciência evolui como um todo. Novas realidades como as nanotecnologias, as explorações espaciais e outras áreas de interface poderão acrescentar novas questões sobre a mineralogia como é conhecida hoje.

Atualmente, é aceito pela IMA (*International Mineralogical Association*) que um mineral é uma substância sólida homogênea, cristalina, inorgânica cuja composição química é definida e, ainda, formada por processos naturais (geológicos).

Mesmo com essa definição detalhada e de grande abrangência, certas substâncias constituem exceções ou se colocam nos limites desse enquadramento. O mercúrio encontrado em seu estado nativo é líquido em temperatura ambiente, no entanto, é considerado um mineral. Outras substâncias podem se cristalizar tanto por meios geológicos quanto por meios biológicos (orgânicos), a exemplo da calcita e aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ), encontradas em rochas, conchas e pérolas. Nesses casos, não são consideradas minerais aquelas variedades formadas por processos orgânicos. Outra possibilidade são os materiais sintéticos. É perfeitamente possível, atualmente, simular em laboratório as condições da natureza, proporcionando a formação de substâncias com composição e estrutura exatamente iguais às naturais, como o quartzo sintético ou o diamante sintético. Não sendo criados por processos geológicos, esses materiais não são considerados minerais, não obstante a semelhança em todos os aspectos.

A cristalização é uma característica muito relevante de um mineral em relação a outros sólidos. Cristal é um sólido homogêneo que apresenta uma ordem

interna regular e tende a ser limitado por faces planas. A palavra “cristal” foi empregada originalmente para designar o “cristal de rocha” (quartzo), que se pensava ser “gelo petrificado” na Antiguidade. Outra confusão frequente ocorre com alguns vidros especiais como taças, objetos e bijuterias que utilizam a expressão “cristal” para designar maior qualidade na transparência ou delicadeza das peças. Esses vidros, por mais elaborados que sejam (por acréscimo de certos óxidos), não são cristais por não apresentarem estrutura interna organizada. Trata-se de materiais amorfos, como todo vidro (inclusive os naturais). Alguns autores utilizam o termo mineraloide para englobar os vidros naturais e outros casos específicos.

E quanto à água? Poderia ser um mineral? Obviamente, a difundida expressão “água mineral” refere-se apenas a uma certa quantidade de substâncias dissolvidas no líquido. Por não ser sólida, não se enquadra na definição, mas, e se estiver congelada? São notórios os cristais formados pelo gelo, além deste apresentar composição definida, ser inorgânico e homogêneo. Se esse gelo foi formado por processos geológicos, como na Antártida ou em outras situações de acúmulo ao longo de milhares de anos, então, esse material pode ser considerado um mineral. Já o gelo cristalizado em refrigeradores não é mineral por ser feito artificialmente.

Carvão e petróleo, apesar de sua origem geológica, também não podem ser considerados minerais por não apresentarem composição química definida e arranjo atômico ordenado. Alguns compostos provenientes de materiais biológicos, no entanto, vêm sendo aceitos como minerais, como a abelsonita ( $\text{NiC}_{32}\text{H}_{36}\text{N}_4$ ), proveniente de folhelhos oleígenos, assim como alguns minerais de calcários derivados de carapaças de organismos marinhos.

Cada espécie mineral possui um conjunto de propriedades que a distingue das demais, e uma espécie exibe as mesmas propriedades onde quer que se encontre, não existindo nenhuma outra que apresente o mesmo conjunto.

Ainda alguns casos especiais na mineralogia são os minerais que apresentam radioatividade. Devido ao decaimento espontâneo dos elementos radioativos (urânio, tório...) a estrutura cristalina do mineral é totalmente destruída pelo bombardeamento de partículas alfa, beta e gama. A esses minerais se dá o nome de metamícticos.

A um conjunto de minerais agregados naturalmente por processos geológicos se dá o nome de rocha. Uma rocha, portanto, pode ser composta por vários minerais ou, ainda, por apenas um tipo, como o mármore, que apresenta em sua constituição 100% (ou próximo disso) de calcita.

Minério é um conceito importante que muitas vezes é confundido por leigos como sendo mineral. Na verdade, esse termo só deve ser utilizado para substâncias

minerais que tenham importância econômica. Normalmente são rochas que apresentam um enriquecimento maior de certos minerais de onde se possam extrair os elementos de interesse, por exemplo, quartzitos com muita hematita (denominados itabiritos), de onde se retira o ferro para siderurgia.



Conjunto de cristais de aragonita. Procedência: Espanha. As pérolas também são compostas por aragonita produzida por meio biológico, porém, mesmo possuindo composição semelhante a dos cristais, não são consideradas como minerais.



Cristalização de calcita amarela dentro de conchas fósseis — Bivalve *Mercenaria per magna* com idade em torno de 2 milhões de anos. Procedência: EUA. E, ao lado, conchas em uma praia do oceano Pacífico, compostas por aragonita de origem biológica. A compactação desses acúmulos de conchas formará, em alguns milhões de anos, uma rocha sedimentar chamada calcário.



O quartzo em sua forma característica já foi confundido com uma forma de gelo permanente. É um dos principais minerais formadores de rocha e, quando bem formado, apresenta-se como um prisma de seis lados com terminação de aspecto piramidal, semelhante a um lápis sextavado. Procedência: Minas Gerais.

## MERCÚRIO

O mercúrio é um metal com características muito especiais. Ele é o único metal que é líquido à temperatura ambiente, tendo ponto de fusão de  $-38,87^{\circ}\text{C}$  e ponto de ebulição de  $356,58^{\circ}\text{C}$ . É um líquido prateado e muito denso, que ainda possui uma tensão superficial alta o bastante para fazer com que seja capaz de formar pequenas esferas perfeitas nas rochas e minerais onde é encontrado. Muitas características mineralógicas simplesmente não se aplicam ao mercúrio pelo fato de ele ser líquido. Não se pode, por exemplo, definir um grau de dureza e ele não possui estrutura cristalina nem plano de clivagem. Quando congelado e submetido a baixas pressões, o mercúrio forma cristais no sistema romboédrico e no sistema tetragonal, se submetido a altas pressões.

Os alquimistas chineses criaram elixires de cinábrio e mercúrio, em busca da imortalidade, porém muitos imperadores morreram provavelmente por ingerir esses elixires. Na medicina tradicional chinesa, mercúrio faz parte de algumas preparações sob a terminologia cinnabaris (sulfeto de mercúrio), calomel (cloreto de mercúrio) ou hydrargyri oxydum rubrum (óxido de mercúrio). Esses produtos foram utilizados para indicações variadas, como tranquilizantes, no tratamento de úlceras, epilepsia e insônia. Na alquimia ocidental, foi uma das principais matérias-primas em busca da Pedra Filosofal, representando o princípio volátil e associado à inteligência e à rapidez de raciocínio.

Certos trabalhos envolvem o uso do mercúrio metálico e expõem o ser humano aos vapores invisíveis desprendidos pelo produto. Estes são aspirados sem que a pessoa perceba e entram no organismo pelo sangue, instalando-se nos órgãos. No sistema nervoso, o produto tem efeitos desastrosos, podendo causar desde lesões leves até uma vida vegetativa ou a morte, conforme a concentração.

Um caso clássico de intoxicação por mercúrio ocorreu em 1953 na cidade de Minamata, no Japão, quando 79 pessoas morreram em consequência do envenenamento. Minamata é uma região de pesca e a maioria dos doentes vivia dessa atividade, consumindo peixes regularmente. Com o passar do tempo, começaram a sentir sintomas como perda de visão e perda de coordenação motora e muscular. Mais tarde, descobriu-se que as deficiências eram causadas pela destruição dos tecidos do cérebro, em razão da contaminação por mercúrio nos produtos marinhos ingeridos.

O mercúrio foi muito utilizado em garimpos, principalmente na Amazônia, graças a sua capacidade de formar um amálgama com o ouro. Assim, na separação de ouro muito fino dos sedimentos, adicionava-se o mercúrio que aglutinava todo o metal precioso que posteriormente era separado do mercúrio por evaporação. Nesse processo, os vapores tóxicos contaminavam os garimpeiros e entravam na cadeia alimentar dos rios, prejudicando todo o ecossistema. No final da década de 1980, estimava-se que o Rio Madeira estivesse contaminado com 78 toneladas de mercúrio.



O mercúrio é considerado um mineral, apesar de ser encontrado líquido à temperatura ambiente. Além de ocorrer na forma líquida, pode ser obtido do cinábrio (Origem: China). Um dos usos mais comuns do mercúrio é como componente de termômetros.



A característica mais importante dos minerais é a existência de uma estrutura cristalina interna, ou seja, um **arranjo de átomos** ou agrupamentos de átomos em disposição tridimensional. Nas substâncias amorfas, como o vidro, as partículas se encontram dispostas caoticamente, portanto, não possuem estrutura organizada. Os minerais podem ser formados por um único elemento químico, como no caso do ouro (Au), da prata (Ag) e do enxofre (S), ou por compostos químicos simples como a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e a halita ( $\text{NaCl}$ ) ou, ainda, por compostos complexos como o grupo dos feldspatos  $((\text{K}, \text{Na}, \text{Ca})(\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_8)$ . Contudo, em todos os casos, os átomos de cada espécie se agrupam de modo ordenado, sendo unidos por ligações químicas que formam suas respectivas estruturas. Assim, a **estrutura cristalina** é propriedade característica de cada mineral, sendo única para cada espécie. Indivíduos de uma mesma espécie apresentam a mesma estruturação, assim como as mesmas distâncias entre os átomos, entre as fileiras e entre os planos atômicos.

A presença da estrutura cristalina nos minerais pode ser comprovada com técnicas avançadas como a difratometria de raios X e a microscopia óptica ou, ainda, pela observação do formato com que os minerais se cristalizam na natureza. As diferentes formas exibidas pelos cristais evidenciam a sua estrutura interna, como a galena, a halita e a pirita, que se cristalizam na forma de cristais cúbicos, o quartzo e o berilo como prismas hexagonais, enquanto as micas se formam em inúmeras lâminas delgadas.



Típico cristal de turmalina verde, prismático ditrigonal, estriado e terminado em uma das extremidades por uma pirâmide de três lados. Itinga, MG.

Como as propriedades físicas exibidas pelos cristais são o reflexo de sua estrutura cristalina, minerais com a mesma composição química, mas com estruturas diferentes se apresentam com propriedades distintas. É o caso do diamante (dureza muito alta), o qual é formado por átomos de carbono muito próximos, em uma estrutura fortemente unida, e a grafita (dureza muito baixa), também formada por carbono, porém com estrutura onde os átomos estão mais afastados uns dos outros e com ligações químicas mais fracas. A esse fenômeno se dá o nome de **polimorfismo**. De modo inverso, alguns minerais possuem estruturas e formas semelhantes, mas são constituídos por átomos de espécies diferentes, como a fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) e a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ambos se apresentam com formato de octaedro. Esse fenômeno é conhecido como **isomorfismo**.



Cristais octaédricos de fluorita (China) e magnetita (Brasil).



Exemplo de pseudomorfose. Pseudoleucitas mantêm a forma da leucita, mas, em termos de composição, o mineral foi substituído por nefelina, ortoclásio e analcima. Origem: Rio das Ostras (RJ).

Na cristalização de um mineral na natureza, os elementos químicos envolvidos têm grande influência, pois cada tipo de átomo tem características próprias e distintas e as propriedades desses átomos vão ditar cada combinação possível em relação a sua afinidade química. Assim, os sólidos cristalinos são formados a partir da repetição no espaço de uma estrutura elementar denominada **cela unitária**. A forma e o tamanho da cela unitária de cada cristal dependem das propriedades dos átomos que o compõem e das condições em que o cristal se formou. Como os cristais são formados pela repetição tridimensional da sua cela unitária, é de se esperar que a forma externa exibida pelo conjunto de faces de um cristal dependa do formato original da cela unitária e do modo de empilhamento dessas unidades.

Então, cela unitária de um cristal é a menor unidade da matéria que apresenta as características químicas e propriedades físicas da espécie mineral em questão. A quantidade de átomos em uma cela unitária é, normalmente, um número ou um múltiplo do número de sua fórmula química. Exemplificando, o conjunto de átomos necessários para se formar a halita (sal comum) é de quatro unidades de cloreto de sódio  $\{4(\text{NaCl})\}$  e para se formar o mineral quartzo de três unidades de dióxido de silício  $\{3(\text{SiO}_2)\}$ .

Na natureza, no estado sólido cristalino da matéria, as partículas que compõem todos os minerais conhecidos podem se agrupar em 14 modos distintos, que são os denominados retículos cristalinos (redes de Bravais) e estes geram as 32 classes de simetria e de onde derivam os **7 Sistemas Cristalinos** geometricamente possíveis (somente sete em decorrência da simetria dos cristais). Alguns autores consideram apenas 6, colocando o sistema romboédrico ou trigonal como uma subdivisão do hexagonal.

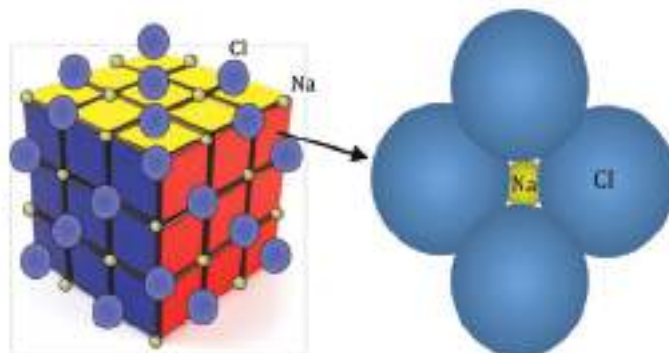
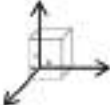
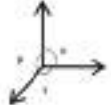


Ilustração mostrando o sal grosso – NaCl, a representação de suas celas unitárias e sua estrutura cristalina.

## Características dos sistemas cristalinos

| SISTEMAS CRISTALINOS    | REPRESENTAÇÃO                                                                       | EXEMPLOS  | Constantes lineares                                                               | Constantes angulares                                                               |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                                                                     |           |  |  |
| Isométrico ou cúbico    |    | GALENA    | $a = b = c$                                                                       | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                                               |
| Tetragonal              |    | ZINCO     | $a = b \neq c$                                                                    | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                                               |
| Ortorrômbico            |    | TOPÁZIO   | $a \neq b \neq c$                                                                 | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$                                               |
| Monoclínico             |    | MALAQUITA | $a \neq b \neq c$                                                                 | $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$                                            |
| Triclínico              |    | ALBITA    | $a \neq b \neq c$                                                                 | $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$                                      |
| Romboédrico ou Trigonal |  | CALCITA   | $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$                                                          | $\alpha = \beta = 120^\circ$<br>$\gamma = 90^\circ$                                |
| Hexagonal               |  | BERILO    | $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$                                                          | $\alpha = \beta = 60^\circ$<br>$\gamma = 90^\circ$                                 |

### DIAMANTE E GRAFITA

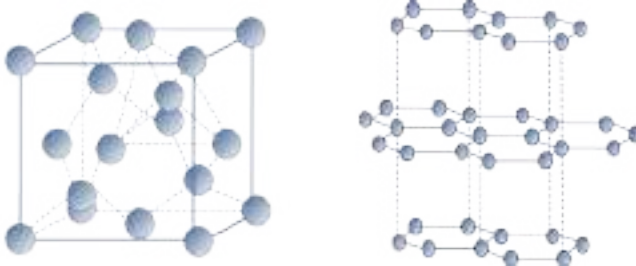
É espantoso que a grafita e o diamante sejam constituídos do mesmo material, isto é, o elemento químico carbono. O carbono puro pode se cristalizar em condições brandas, formando a grafita, ou sob altíssimas pressões e temperaturas, formando o diamante. Essa diferença faz com que sejam gerados dois minerais constituídos do mesmo tipo de átomo, porém completamente distintos em relação às suas propriedades físicas. O diamante é o mineral mais duro da natureza enquanto a grafita possui uma dureza extremamente baixa. A dureza dos minerais é medida pela capacidade de riscar e ser riscado, e não pela resistência ao golpe, sendo o resultado de sua estrutura. A grafita possui uma rede frouxa de átomos de carbono unidos por ligações químicas muito fracas, enquanto no diamante a estrutura é muito compacta, com ligações químicas poderosas. Por suas propriedades, a grafita é aplicada em lápis, lubrificantes secos, tintas, ligas de aço, entre outros. O diamante, quando transparente e sem inclusões, é utilizado como gema, mas a maioria tem uso industrial, principalmente em brocas de perfuração, abrasivos e ferramentas de corte. Atualmente, existe a possibilidade de fazer diamantes sintéticos, submetendo grafita a temperaturas e pressões muito elevadas. Em 1880, um químico escocês confeccionou, em laboratório, minúsculos cristais de diamante, mas só em 1955 a General Electric Company conseguiu realmente produzir diamantes sintéticos, que são fabricados em grande quantidade hoje em dia. Visto que o carbono é muito disseminado na Terra e está presente no petróleo, no carvão e até no ar, atualmente diamantes podem ser produzidos a partir de vários materiais orgânicos como cabelos, manteiga de amendoim e até mesmo a partir das cinzas de pessoas cremadas. Que tal um anel com um diamante fabricado com as cinzas de seu animal de estimação que morreu?

**Tabela comparativa entre as propriedades do diamante e da grafita**

| Mineral  | Composição química | Sistema cristalino | Hábitos                              | Cor                | Brilho                 | Dureza (Mohs) | Clivagem            | Traço | Densidade |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------------|---------------|---------------------|-------|-----------|
| Diamante | Carbono            | Isométrico         | Octaédrico<br>Dodecaédrico<br>Cúbico | Incolor a colorido | Adamantino             | 10            | Perfeita octaédrica | sem   | 3,5       |
| Grafita  | Carbono            | Hexagonal          | Maciço lamelar                       | Cinza escuro       | Metálico a submetálico | 1 a 1,5       | Perfeita 1 direção  | preto | 2,2       |



Várias empresas atualmente oferecem a possibilidade comercial de transformar as cinzas provenientes de pessoas cremadas em diamantes sintéticos de várias cores. O método utiliza o carbono remanescente nas cinzas a partir de um aumento de temperatura e pressão em laboratório, simulando as condições naturais para cristalizar diamantes (método conhecido como hpht – high pressure high temperature). Imagem Lifegem.



Estrutura do diamante (à esquerda), onde os átomos de carbono constituem um arranjo compacto, e a estrutura da grafita (à direita), que possui menos átomos por unidade de volume e distâncias interatômicas maiores. Enquanto no diamante as ligações são covalentes, na grafita as camadas planas hexagonais são ligadas entre si pelas forças de Van der Waals, bem mais fracas.



Cristais de diamante encontrados no  
Paraná e grafita de Minas Gerais.



Os possíveis ambientes para o desenvolvimento de minerais estão relacionados à formação de rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas e à abundância relativa dos elementos que constituirão a matéria-prima. A cristalização se processa de maneiras diferentes a partir dos elementos disponíveis nesses ambientes. Basicamente, mudanças de temperatura, pressão, presença de fluidos e tempo são as condições necessárias para o processo de formação de minerais. Isso acontece no resfriamento de magma, quando os minerais se cristalizam e formam as rochas ígneas; no processo de compactação de sedimentos, onde a pressão e temperatura aumentam e os fluidos saem do sistema; ou no metamorfismo (aumento de pressão e temperatura) em rochas pré-existentes.

Para que ocorra a cristalização, em geral acontece uma mudança de fase, de líquido ou gás para sólido. Nesse processo, os minerais crescem com o aporte de matéria-prima em torno de “sementes”, ou seja, inicialmente formam-se cristalitos já com o arranjo geométrico definido e, então, as faces do cristal vão aumentando. Existem casos de cristais que chegam a alcançar dimensões métricas, como quartzo ou berilo encontrados no Brasil com centenas de quilos. Quando não há espaço para o crescimento do cristal, os minerais se adaptam e preenchem todo o espaço disponível, formando massas microcristalinas que, a olho nu, parecem-se mais com grãos disformes na maioria das rochas.



Megacristal de quartzo encontrado em Cristalândia, no Tocantins e chapa de granito polido, onde se observam inúmeros grãos de quartzo milimétricos sem o formato característico.

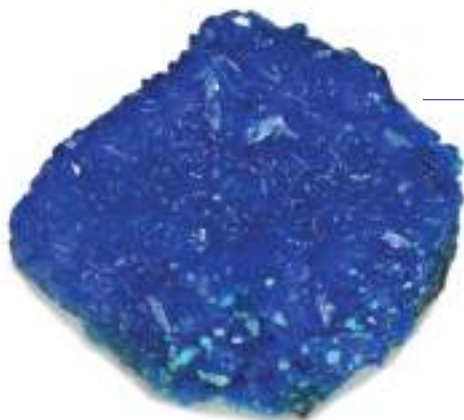


A cristalização de substâncias na natureza pode acontecer pelo lento resfriamento de material fundido (magma), pela evaporação da água em soluções saturadas de sais (como acontece em desertos) ou a partir de vapor (como em torno da saída de gases vulcânicos). Outra possibilidade é a cristalização de minerais a partir de outros já existentes, como acontece no metamorfismo em que o aumento de pressão e/ou temperatura sobre a rocha faz surgirem novos minerais adaptados às novas condições. Nesse caso, há um processo de transformação “sólido-sólido”.

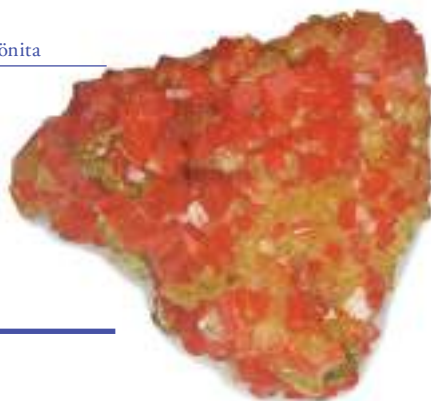
A faixa de temperatura de formação de minerais na litosfera varia desde algumas centenas de graus acima de 1.000°C, quando se cristalizam os primeiros minerais no resfriamento do magma, até a temperatura ambiente, em evaporitos, ou 0°C e mesmo abaixo, se for considerada a formação do gelo geológico. No resfriamento do magma, minerais ricos em magnésio e ferro (*e.g.* olivina, piroxênios) estão entre os primeiros a se formar, enquanto que o quartzo, composto por óxido de silício, se cristaliza ao final do processo, em temperaturas inferiores a 600°C, por isso, é possível estimar as condições de formação de uma rocha pelos

minerais presentes. Em rochas sedimentares, o limite de temperatura máximo está em torno de 250°C, quando se inicia o campo dos minerais metamórficos, em torno de 250°C até 800°C ou 900°C.

A cristalização não é um processo exclusivo dos minerais, pois os cristais podem se formar em situações não geológicas, como os cristais de neve ou outros criados pelo homem. Alguns resíduos industriais, ao se resfriarem lentamente, permitem a formação de belos cristais como o carbeto de silício e o periclásio, que na natureza se formam somente em condições extremas no manto da Terra. Alguns exemplares de periclásio sintético apresentam qualidade gemológica e são vendidos erroneamente como pedra preciosa natural. Cristais de calcantita ou schönita podem ser “fabricados” em casa, pois alguns sulfatos se cristalizam em poucos dias, assim como a halita (sal de cozinha) e outros sais.



Calcantita



Schönita

Sulfatos de cobre, cobalto e amônio permitem a formação de cristais coloridos em algumas semanas e são exemplos de cristalização em laboratório.



Cristais de bitartrato de potássio, formados dentro de barris de vinhos. Em baixas temperaturas, o ácido tartárico e o potássio, presentes no vinho tinto ou branco, podem precipitar, formando pequenos cristais.

Ainda outras possibilidades para formação de minerais referem-se a situações mais peculiares, como em ambientes extraterrestres, ou no impacto de um meteorito com Terra. Análises feitas em rochas da Lua e de Marte apontaram grande semelhança com os minerais terrestres. Também não se conhecem ao certo as condições extremas de formação de minerais nas profundezas da Terra. Alguns diamantes, que se formaram no Manto Inferior e foram trazidos à superfície por vulcanismo, mostraram, em suas inclusões, uma assembleia mineral muito peculiar, sugerindo que, em condições extremas, o processo de mineralização pode ser diferente do que é conhecido até o momento.



Ambientes vulcânicos como os gêiseres, solfataras e fumarolas permitem observar a formação de minerais, como no campo de gêiseres El Tatio, no Chile. A água quente, ao chegar à superfície, traz consigo uma carga de elementos químicos dissolvidos que se cristalizam, formando múltiplos minerais.



Uma garrafa mergulhada numa fonte termal pode apresentar uma deposição de minerais sobre sua superfície em apenas poucos dias. Esse exemplo é facilmente encontrado nos Andes argentinos (Puente del Inca, Mendoza), onde vários objetos são expostos proposadamente para que sejam recobertos por minerais sulfurosos.

Uma solução saturada de água com sal grosso e um barbante instalado num vidro permitem acompanhar o processo de migração da água por capilaridade e a cristalização de sal em apenas alguns dias. Processos semelhantes acontecem na natureza com tempos de duração maiores. O sal e a umidade, em contato com metais, provocam a oxidação ou ferrugem rapidamente.





Depósitos de sal de cozinha produzidos pelo homem em Macau, RN. A evaporação rápida da água do mar represada torna o ambiente saturado em cloreto de sódio, principalmente, o qual se cristaliza sobre qualquer superfície, como nesse galho de árvore.



Espaços vazios nas rochas permitem que os minerais desenvolvam suas formas ideais ao longo do tempo. Bolhas de gás, que ficaram presas em magmas que esfriaram, resultam em cavidades que frequentemente são encontradas repletas de minerais bem cristalizados, como essas zeólitas em basalto de Santa Catarina ou as ametistas em geodos da Província Gemológica do Sul do Brasil.



As substâncias de origem mineral são a principal matéria-prima na evolução material da humanidade. À exceção dos alimentos e das fibras vegetais ou de madeira, todo o resto do que utilizamos provém do reino mineral. Acrescente-se que mesmo os alimentos e as plantas também necessitam indiretamente de substâncias minerais, como fertilizantes, corretivos de solo ou defensivos agrícolas.

Desde o Paleolítico, o homem utilizou minerais e rochas em suas ferramentas, utensílios e tintas, assim, ao longo dos séculos, a demanda por essas substâncias se multiplicou enormemente. As grandes revoluções tecnológicas motivaram um aumento de consumo, como o uso de metais, armamentos, pólvora e explosivos, combustíveis fósseis e informática.

A partir da Revolução Industrial, no século XVIII, a busca por recursos energéticos assumiu importância enorme, pois todo o sistema econômico mundial começava a mudar. A nova capacidade do homem de criar tecnologia e maquinários e o surgimento de importantes inovações, como a transformação do carvão mineral em coque, a produção do aço e a máquina a vapor, geraram uma enorme demanda por matérias-primas e recursos energéticos fósseis.

Quando uma região se desenvolve, evoluindo de uma economia com base rural para uma urbana e industrial, o padrão de consumo mineral aumenta consideravelmente. A implantação da infraestrutura é a base material para o crescimento socioeconômico, com a construção dos primeiros núcleos habitacionais e, nessa fase, em substituição à madeira e outros materiais de origem vegetal, os

minérios denominados de uso social (areia, argila, pedra brita) passam a ter lugar de destaque.

Juntamente com a agropecuária e a urbanização, a industrialização veio se somar como catalisador do desenvolvimento. Novos manufaturados são elaborados por um parque industrial cada vez mais diversificado, no qual se incluem fábricas de plásticos, papel, vidro, cerâmica, borracha, fundição, siderúrgicas, automobilística e aeroespacial, levando à incorporação e ao consumo de minérios cada vez mais especializados.

Com as necessidades do mundo moderno, um grupo altamente diversificado de materiais também adquiriu importância. Chamados de “Rochas e Minerais Industriais” são substâncias aplicadas *in natura* em produtos e processos industriais como matérias-primas, insumos e aditivos nos mais diversos segmentos. Juntamente com os metais e em compatibilidade com as exigências de cada época, essas substâncias tornaram-se insumos indispensáveis no avanço da civilização, atingindo um universo extenso e diversificado, que inclui, além da construção civil, indústrias farmacêuticas, cerâmicas tradicionais, papel, defensivos agrícolas, tintas e plásticos.

Assim, minerais podem ser utilizados na forma como são encontrados na natureza, como a areia na construção civil, ou podem ser processados para a obtenção específica dos elementos que os compõem. As indústrias química e farmacêutica são bons exemplos dessa transformação. Aparelhos eletrônicos também são um universo amplo de aplicação de minerais processados ou não, pois demandam uma grande quantidade de cobre, estanho, silício, carbono, flúor, metais raros etc.



Uma típica pílula utilizada hoje como o principal veículo de ingestão de substâncias medicinais é composta por talco, caulim ou calcário em mais de 99%. Em um medicamento, a quantidade de agente ativo é de frações de 1%, o excipiente (como é chamado) é totalmente mineral como o talco branco acima, produzido em Ponta Grossa, PR.

### “NOVOS MINERAIS PRECIOSOS”

O termo “minerais preciosos” remete automaticamente à ideia de ouro, prata ou gemas em virtude da raridade e alto valor específico desses materiais. No entanto, uma nova realidade vem surgindo neste início de século XXI com a estreita correlação entre o acelerado desenvolvimento tecnológico e a dependência de novas matérias-primas. Minerais ou rochas que há pouco tempo não tinham valor nenhum passaram a ser cobiçados graças ao uso intenso em novas tecnologias.

Elementos de terras raras, tântalo, nióbio e outras substâncias praticamente desconhecidas do público são consideradas, hoje, essenciais no desenvolvimento da humanidade. Usado em telas *touchscreen*, o ítrio, por exemplo, até estava sob o risco de exaustão de suas jazidas, mas, com a descoberta de um depósito de terras raras no fundo do mar por pesquisadores japoneses, entre o Havaí e a Polinésia Francesa, estão garantidos mais alguns anos de iPads, telas LED e mísseis teleguiados. Minerais raros já são vistos como fatores estratégicos econômicos e militares, o verdadeiro ouro do século XXI.

O lítio é um elemento químico da família dos metais alcalinos, o mais leve e relativamente raro na crosta terrestre e que também está sendo considerado estratégico. Com o desenvolvimento tecnológico, ele participa na composição de uma ampla variedade de produtos. Anteriormente obtido do espodumênio produzido em Minas Gerais, desde a década de 1980 passou a ser produzido a partir dos salares no Chile e na Bolívia, possuindo maior facilidade de processamento do que se utilizava no espodumênio e sendo mais barato, levando à paralisação das minas brasileiras.

O equilíbrio de lítio no corpo humano é responsável pela lucidez e, por isso, é empregado na produção de medicamentos para o transtorno bipolar e várias outras doenças relacionadas. Também é usado na fabricação de ligas metálicas condutoras de calor, lubrificantes, cerâmicas e lentes de telescópios. Entretanto, sua aplicação mais importante e conhecida atualmente acontece na fabricação das indispensáveis baterias recarregáveis de íon lítio, utilizadas em *laptops*, celulares e câmeras digitais. As baterias de íon lítio são bem mais leves que as baterias convencionais e apresentam maior eficiência. Das 100 mil toneladas produzidas anualmente no mundo, 30 mil vão para a indústria eletrônica.

A mais decisiva das aplicações, no entanto, ainda está por vir. Com a frenética busca de substitutos energéticos ao petróleo, em todos os projetos de veículos elétricos ou híbridos que estão sendo implantados, a eficiência das baterias se apoia na tecnologia do lítio. Quando consideradas as projeções de demanda das indústrias eletrônica e automobilística juntas, calcula-se que a produção dos minérios de lítio deverá aumentar mais de 50% nos próximos 15 anos. Os minerais de lítio retirados do deserto do Atacama e dos salares na Bolívia já vêm sendo chamados de “petróleo branco” do futuro e serão tão indispensáveis quanto o ferro ou o alumínio.



Uma típica residência atual demanda grande quantidade de matéria-prima de origem mineral, como indica esta imagem disponibilizada pela MINEROPAR, órgão que fomenta a mineração (Serviço Geológico do Paraná).

| elemento                 | substância mineral                        |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| 1 - tijolo               | argila - bloco (brita+areia+calcário)     |
| 2 - fiação elétrica      | cobre - petróleo (plástico)               |
| 3 - lâmpada              | quartzo - tungstênio - alumínio           |
| 4 - fundações - concreto | areia+brita+calcário+ferro                |
| 5 - ferragens            | ferro+alumínio+cobre+zinco                |
| 6 - vidro                | quartzo+calcário+óxido de sódio+feldspato |
| 7 - louça sanitária      | argila+calcário+feldspato+tálico          |
| 8 - azulejo              | argila+calcário+feldspato+tálico          |

| elemento                | substância mineral                      |
|-------------------------|-----------------------------------------|
| 9 - piso (tubo/cozinha) | argila+calcário+feldspato+tálico        |
| 10 - isolante parede    | quartzo+feldspato+agregado de mica      |
| 11 - pintura (tinta)    | calcário+tálico+caulim+ilmenita+rutilo  |
| 12 - caixa d'água       | calcário+argila+gipsita+amianto         |
| 13 - impermeabilizante  | folheios: pirobetuminoso e petróleo     |
| 14 - contra-piso        | areia+brita+calcário+ferro              |
| 15 - pia                | mármore-granito-ferro+níquel+cobalto    |
| 16 - gás (GLP)          | gás natural - minerais metálicos        |
| 17 - encanamento        | ferro - cobre - pvc(petróleo, calcário) |

| elemento              | substância mineral                   |
|-----------------------|--------------------------------------|
| 18 - laje             | areia+brita+cimento+ferro            |
| 19 - ferro            | gipsita (gesso)                      |
| 20 - armação-fundação | areia+brita+calcário+argila+ferro    |
| 21 - esquadrias       | bauxita - ferro+manganes             |
| 22 - piso             | ardósia-granito-argila+tálico+caulim |
| 23 - calha            | zinco - níquel - cobre ou amianto    |
| 24 - telhado          | argila - amianto - calcário          |
| 25 - estrutura        | areia+brita+calcário+ferro           |



A maioria dos solos no Brasil tende a apresentar pH ácido, o que constitui uma limitação para uso agrícola. A simples aplicação de calcário moído equilibra a acidez do solo e permite uma agricultura evoluída. Mesmo a produção de alimentos gera uma forte demanda sobre a produção de minerais. Rochas carbonáticas (calcário e mármore) também podem ser utilizadas como revestimentos e pavimentação, a exemplo da calçada portuguesa ou *petit pavé* de Curitiba.

## OS MINERAIS - ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE



Um exemplo da ampla utilização de minerais no cotidiano da sociedade é a variedade de minerais utilizados para fabricar uma simples lâmpada. Em termos tecnológicos a dependência da geodiversidade como fornecimento das substâncias é enorme.



A extração de lítio no deserto do Atacama, no Chile, é extremamente simples e seu processamento é barato por serem os sais de fácil dissolução em água, ao contrário do espodumênio ( $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ), um silicato, que é produzido no Brasil e cujo beneficiamento é bem mais caro. A coloração avermelhada da água das salmouras é resultado da ação de bactérias extremófilas, que sobrevivem em condições extremas, como a temperatura e a salinidade encontradas no Atacama.

Teophrastus (372 – 287 a.C) foi o primeiro a realizar uma classificação dos minerais que era baseada na sua utilidade, ou seja, em minérios, pedras preciosas e pigmentos. Em sua descrição dos minerais, utilizou propriedades físicas como densidade, brilho, fusibilidade e dureza. No *Tratado das Pedras Preciosas*, Plínio, o Velho, também classificava em gemas, pigmentos e minérios. Esses critérios eram inteiramente baseados no uso prático que se fazia das substâncias de origem mineral à época. Na Idade Média, Agricola e Avicena aprofundaram a classificação de minerais conforme suas propriedades físicas. Nesses termos, as pedras eram reconhecidas pela cor, tenacidade, densidade etc. Pedras vermelhas, por exemplo, eram genericamente denominadas “carbúnculos”.

Somente no século XVIII, com as primeiras análises químicas feitas pelo sueco Axel Cronstedt, a classificação química passou a ser adotada. Entre outras descobertas, verificou-se, por exemplo, que o rubi e a safira, apesar de suas cores completamente diferentes, eram o mesmo mineral (o coríndon) e que suas composições químicas eram iguais em mais de 99% ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).



Entre os equívocos mais famosos na classificação de minerais encontra-se o chamado "Rubi Príncipe Negro", de 170 quilates, encravado na coroa da rainha britânica. Somente no século XIX foi identificado corretamente como um espinelho vermelho. Foto: Divulgação.

Atualmente são utilizadas várias classificações de minerais segundo os parâmetros de interesse: metálicos e não metálicos, por exemplo, ou industriais e não industriais, conforme mantenham ou não a sua identidade original na fabricação de insumos. Alguns exemplos de classificação em função da aplicabilidade prática são:

### ***Metálicos***

- Ferrosos – uso intensivo na metalurgia (Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Mo, Nb, V, W)
- Não-ferrosos – básicos (Cu, Zn, Pb, Sn) e leves (Al, Mg, Ti, Be)
- Preciosos – Au, Ag, Pt, Os, Ir, Pd, R, Ru
- Raros – Sn, In, Ge, Ga...



O cobre é o metal mais fácil de ser encontrado no seu estado nativo. Procedência: EUA.



Columbita-Tantalita produzida em Minas Gerais juntamente com algumas pedras preciosas, principal fonte de elementos como tântalo e nióbio.



Amostra de Ferro-Nióbio produzido e beneficiado em Minas Gerais, pronto para aplicações industriais especializadas.

***Não metálicos***

- Indústria química – enxofre, barita, fluorita, cromita, pirita...
- Indústria cerâmica – argilas, caulim, feldspato, quartzo...
- Refratários – magnesita, bauxita, grafita, cianita...
- Isolantes – amianto, vermiculita, mica...
- Fundentes – fluorita, criolita...
- Abrasivos – diamante, coríndon, granada...
- Carga – talco, gipsita, barita, caulim, calcita...
- Pigmentos – barita, minerais de titânio, azurita...
- Agrominerais – fosfato, calcário, enxofre, sais de potássio, flogopita...
- Ambientais – zeólitas, vermiculita, calcário, atapulgita...
- Estruturais ou para construção civil – areia, brita, calcário, gipsita, argila vermelha, amianto...



Enxofre procedente da Bolívia.

Para o reconhecimento e identificação dos minerais, entretanto, a classificação química é a mais adotada, pois reúne os minerais segundo a natureza de seus elementos formadores, sendo assim os principais grupos:

**ELEMENTOS NATIVOS:** grafita (C), enxofre (S), ouro (Au), diamante (C), prata (Ag)...

**SULFETOS:** galena (PbS), pirita (FeS<sub>2</sub>), esfalerita (ZnS)...

**ÓXIDOS:** coríndon (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ilmenita (FeTiO<sub>3</sub>), magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)...

**HALÓIDES:** halita (NaCl), silvita (KCl), fluorita (CaF<sub>2</sub>)...

**CARBONATOS:** calcita (CaCO<sub>3</sub>), aragonita (CaCO<sub>3</sub>), dolomita [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], siderita (FeCO<sub>3</sub>)...

**NITRATOS:** nitrato de sódio (NaNO<sub>3</sub>), salitre (KNO<sub>3</sub>)...

**FOSFATOS:** apatita (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(F,OH,Cl)), monazita (Ce, La, Nd, Th, Y)PO<sub>4</sub>

**SULFATOS:** gipsita (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), anidrita (CaSO<sub>4</sub>)...

## SILICATOS

(SiO<sub>2</sub> ou SiO<sub>4</sub>  
ligados a um  
ou mais metais  
e hidrogênio)

**Nesosilicatos:** olivina, granada, zircão, cianita, andaluzita, topázio...

**Sorosilicatos:** epidoto, hemimorfita, vesuvianita...

**Ciclossilicatos:** benitoita, berilo, turmalina...

### Inossilicatos

**Piroxênios:** enstatita, diopsídio, aegerina, augita...

**Anfibólios:** tremolita, hornblenda...

### Filossilicatos

**talco, clorita, serpentina, vermiculita**

**micas:** muscovita, biotita, lepidolita, flogopita...

**argilominerais:** caulinita, montmorilonita...

### Tectosilicatos

**Sílica:** quartzo, calcidônia, opala...

**Feldspatos:** ortoclásio, microclínio, plagioclásios.

**Feldspatoides:** leucita, nefelina, sodalita, lazurita.



Ouro encontrado em sedimentos de rio na sua composição pura. Pepitas e ouro fino são exemplos do elemento nativo ouro, que não ocorre associado a outros elementos.



Ao longo dos séculos, os principais pigmentos utilizados em pinturas, tingimentos ou cosméticos tiveram sua origem no reino mineral. Óxidos metálicos são as principais fontes, como as substâncias desta imagem.



A sílica pura ( $\text{SiO}_2$ ) cristaliza-se na forma de quartzo entre outras. Silicatos são uma associação da sílica com um ou mais metais e a eventual participação do hidrogênio.

#### A ORIGEM DOS NOMES

As origens dos nomes dados aos minerais e metais são as mais diversas e, em geral, revelam um pouco de sua história, como o local de sua descoberta, o nome do descobridor, propriedades notáveis, entre outros. Alguns vêm de idiomas antigos como latim e grego, ou se referem a deuses e personagens mitológicos. O cobalto deriva de *Kobold*, um gnomo que, segundo uma lenda medieval alemã, costumava enganar os mineiros, oferecendo-lhes metais sem valor em lugar de prata. Há nomes que indicam as características físicas dos minerais como no caso da “esmeralda”, do grego *smaragdos*, que significa “pedra verde”, ou do distênio que significa “duas durezas” e cujo sinônimo cianita vem da cor ciano (azul). Ainda a cor (albita, cor branca), a densidade (barita, barus = pesado) a clivagem, (ortoclásio, clivagem ortogonal) são características marcantes associadas aos minerais. Existem nomes derivados da composição química como a cuprita, composta por óxido de cobre, ou a manganita, um hidróxido de manganês.

Outros minerais tiveram seus nomes oriundos de localidades onde foram descobertos, como a vesuvianita (Vesúvio, Itália), californita (Califórnia, EUA), danburita (Danbury, EUA), autunita (Autun, França) e labradorita (Labrador, Canadá), ou de acidentes geográficos como ágata, um rio da Sicília (Itália). Há, também, minerais cujo nome homenageia personalidades famosas como a alexandrita, em alusão ao Czar Alexandre II, ou o seu descobridor, como a Kunzita, descrita por G. F. Kunz e a smithsonita (Smithson). Assim, em busca da padronização, a IMA (Associação Mineralógica Internacional) criou uma comissão constituída por especialistas de diversos países para estabelecer critérios mais rígidos e fiscalizar a nomenclatura dos novos minerais que forem sendo encontrados.



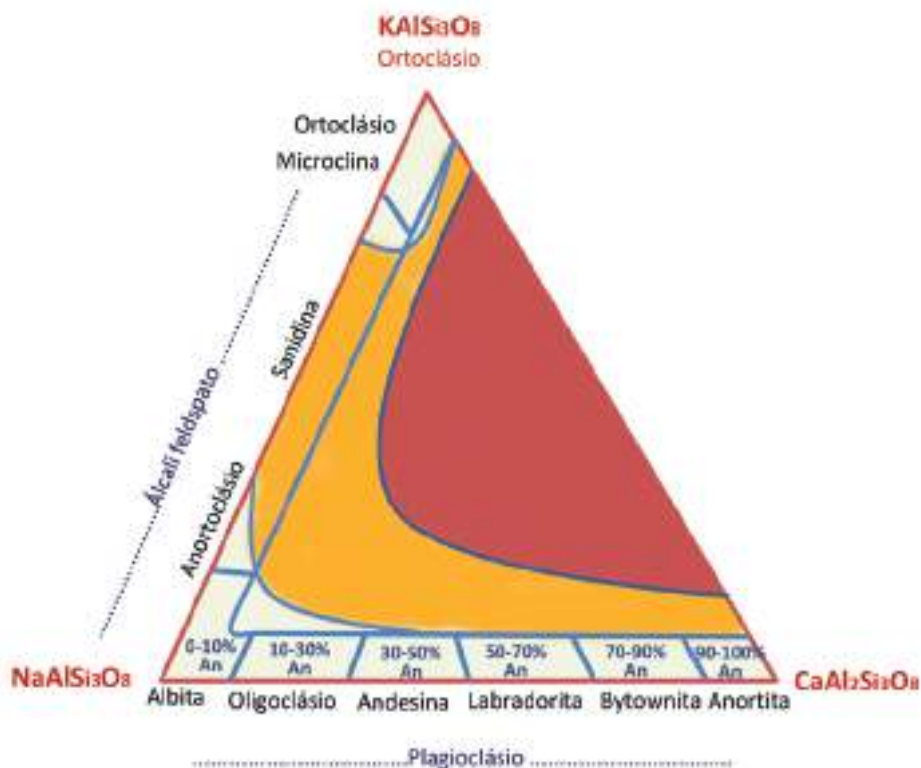
Cristal de vesuvianita proveniente do Vesúvio, na Itália.



A atencioíta é um fosfato básico hidratado de cálcio, ferro, magnésio e berílio, descrito por mineralogistas russos (Nikita Chukanov e outros) em 2006. Esse mineral, encontrado em Linópolis (MG), forma grupos de cristais em pequenas esferas de cor marrom clara em um pegmatito. Seu nome é uma homenagem ao mineralogista Daniel Atêncio, professor do Instituto de Geociências da USP. Foto Thales Trigo.

### GRUPO DOS FELDSPATOS

Feldspatos são uma família de minerais que apresenta variação em sua composição e cuja presença na crosta terrestre é estimada em cerca de 60%, o que torna esse grupo um dos mais importantes para a compreensão das rochas. São aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio (raramente bário) constituídos pelos elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre tais como O, Si, Al, Ca, Na e K, por isso, apresenta grande dispersão no planeta e está presente em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Esse grupo classifica-se como tectossilicatos e os cristais têm propriedades físicas muito similares entre si. No entanto, devido a sua composição química, se agrupam em: feldspato de potássio (ortoclásio, microclina, sanidina, adulária), feldspato de bário (celsiana) e feldspato de cálcio e sódio (plagioclásio). Este último forma uma série isomórfica contínua de soluções sólidas em diferentes temperaturas, desde albita pura (Na) até anortita pura (Ca). A série do plagioclásio pode ser classificada com base nas porcentagens “moleculares”, aparecendo as denominações albita, oligoclásio, andesina, labradorita, bytownita e anortita, respectivamente para porcentagens de anortita (An) de 0-10, 10-30, 30-50, 50-70, 70-90 e 90-100. O feldspato cristaliza nos sistemas monoclinico e triclinico, mas as variedades apresentam similaridades, principalmente quanto ao hábito. Todas apresentam clivagens perfeitas em duas direções, formando ângulos de 90° ou próximo desse valor, dureza em torno de 6 e a densidade relativa entre 2,55 e 2,76. As indústrias de vidro e de cerâmica são as principais consumidoras de feldspato, mas ele é usado também como carga funcional e extensor nas indústrias de tinta, plástico e borracha e, ainda, em próteses dentárias. Algumas variedades de feldspatos produzem gemas bastante apreciadas como a labradorita, a adulária (pedra da lua), o oligoclásio (pedra do sol) e a amazonita.



Um panorama químico do feldspato pode ser resumido neste gráfico triangular em que os vértices representam a composição máxima de potássio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), de sódio ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) e de cálcio ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ). As variações entre Na e Ca recebem nomes diversos conforme a molécula predominante.



Ortoclásio laranja



Albita



Ortoclásio branco



Labradorita



Amazonita



Anortita

Exemplos de feldspatos em composições diversas (ortoclásio branco e laranja, albita, labradorita, amazonita e anortita).



Entre os feldspatos, a adulária e a aventurina apresentam possibilidade de aproveitamento como gemas, conhecidas por pedra da lua e pedra do sol. Procedência de ambas: Índia.



Para o reconhecimento dos minerais, muitas vezes a verificação das suas propriedades físicas macroscópicas, sejam elas de ordem morfológica, química ou física, é suficiente para um diagnóstico correto. Não obstante as mais de quatro mil espécies conhecidas, apenas alguns poucos minerais compõem a maior parte da crosta terrestre, por isso a identificação destes por suas características pode ser um importante instrumento de entendimento da geodiversidade e do meio ambiente. As principais propriedades dos minerais que podem ser indicativas para o seu reconhecimento são discutidas a seguir.

### Cor

O que é percebido como cor em um mineral é o resultado da absorção ou reflexão seletiva da luz branca. Sendo a luz branca composta pela mistura das outras cores (vermelho, amarelo e azul), à medida que o sólido absorve um dos componentes do espectro, o que se vê são as cores complementares àquelas absorvidas. A cor do mineral pode ser definida pelos comprimentos de onda do espectro luminoso não absorvidos por ele. A cor laranja avermelhada do cobre nativo, por exemplo, é fruto da reflexão das cores vermelha e amarela enquanto os outros tons são absorvidos. Evidentemente, alguns minerais absorvem mais cores e refletem menos e vice-versa.

Existem minerais que apresentam cores diferentes conforme o tipo de luz incidente. Um exemplo é o crisoberilo da variedade alexandrita, que se apresenta verde ou azul à luz do dia e completamente vermelho quando exposto à luz do

tipo incandescente. Esse fenômeno é conhecido como “efeito-alexandrita” e pode agregar muito valor a uma gema.

Causas de cor em minerais podem ser extremamente complexas e estão relacionadas, normalmente, a alguns elementos químicos conhecidos como cromóforos e que se alojam na estrutura do mineral. Outra possibilidade são defeitos na estrutura atômica do cristal, chamados de *Centros de Cor*, que fazem com que a luz seja desviada ao atravessá-lo. Ainda, uma causa comum de cor em alguns minerais é a presença de inclusões em excesso, como um diamante negro que pode ser apenas um diamante incolor com uma quantidade grande de inclusões de grafita. Na prática, os minerais podem ser divididos em dois grupos quanto ao seu comportamento em relação à cor: **idiocromáticos** e **alocromáticos**.

Os **idiocromáticos** são aqueles que apresentam sempre a mesma coloração e sua cor é própria e característica, pois se trata de uma propriedade intrínseca do mineral ligada à composição. Por exemplo, o enxofre é sempre amarelo, ouro é dourado, a rodocrosita é rosa e a malaquita é sempre verde. Nesses minerais, o elemento cromóforo faz parte da estrutura molecular, como o cobre na malaquita ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})$ ) ou o manganês na rodocrosita ( $\text{MnCO}_3$ ).

Os **alocromáticos** são aqueles cuja coloração pode variar, dependendo da presença de impurezas, elementos cromóforos ou defeitos na estrutura cristalina. Por exemplo, o quartzo, que na maior parte das vezes é incolor, pode assumir outras cores como violeta, verde, amarelo, rosa ou castanho, conforme as impurezas que participem da composição química ou da presença de centros de cor. Um dos minerais que apresenta o maior número de cores na natureza é a turmalina, cuja estrutura admite a entrada de uma grande variedade de elementos, cada um deles influenciando na cor. São conhecidas pelo menos 250 cores diferentes de turmalina e muitas vezes essas variedades recebem nomes diferentes, como rubelita ou indicolita, que são apenas variedades gemológicas. O diamante também é um mineral alocromático, pois, ao contrário do que é conhecido pela maior parte das pessoas, pode se apresentar em várias cores, como verde, amarelo, azul ou rosa.

O fenômeno de um mesmo mineral assumir várias cores causou grandes equívocos na antiguidade e somente foi esclarecido no século XIX, com o início das análises químicas. Rubi e safira, por exemplo, sempre foram considerados materiais diferentes por ser um vermelho e o outro azul. Entretanto, as análises químicas feitas em 1800 revelaram que suas composições eram iguais em mais de 99% e o mineral é o mesmo, chamado coríndon. A presença de cerca de 1% de cromo torna o coríndon vermelho (variedade gemológica rubi) e menos que isso em ferro e titânio o torna azul (variedade gemológica safira).

**Idiocromáticos – apresentam sempre a mesma cor**

| Mineral     | Cor              | Elemento cromóforo |
|-------------|------------------|--------------------|
| Ouro        | Dourado          | Ouro               |
| Pirita      | Dourado          | Enxofre            |
| Prata       | Cinza            | Prata              |
| Hematita    | Castanho a cinza | Ferro              |
| Magnetita   | Castanho a preto | Ferro              |
| Azurita     | Azul             | Cobre              |
| Galena      | Cinza            | Chumbo             |
| Rodocrosita | Rosa             | Manganês           |
| Malaquita   | Verde            | Cobre              |

Malaquita



Rodocrosita



Azurita



Minerais idiocromáticos. Malaquita, rodocrosita, azurita.



Enxofre



Pirita



Galena

Minerais idiocromáticos. Enxofre,  
pirita e galena.

**Alocromáticos – apresentam cores variadas**

| Mineral    | Principais cores                                                           | Causas da cor                                   |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Quartzo    | incolor, violeta, amarelo, verde, castanho, rosa                           | defeitos estruturais, Fe, inclusões             |
| Berilo     | incolor, azul, verde, rosa, amarelo, vermelho                              | Fe, Cr, V, centros de cor                       |
| Coríndon   | incolor, vermelho, azul, amarelo, rosa, preto, violeta, verde...           | Cr, Fe, Ti, Mn, defeitos estruturais, inclusões |
| Diamante   | incolor, castanho, amarelo, azul, verde, vermelho, rosa                    | N, B, defeitos estruturais, inclusões           |
| Turmalina  | incolor, verde, vermelho, azul, amarelo, rosa, preto, violeta, castanho... | Cr, Fe, Ti, Mn, defeitos estruturais, inclusões |
| Topázio    | incolor, azul, rosa, laranja, amarelo, violeta                             | Cr, V, Ti, Mn, defeitos estruturais, inclusões  |
| Feldspato  | branco, bege, verde, laranja, cinza                                        | Pb, Fe, Ti, Mn                                  |
| Mica       | incolor, amarelo, preto, verde, violeta                                    | Cr, Fe, Ti, Mn, inclusões                       |
| Granada    | vermelho, rosa, verde, amarelo, laranja                                    | Cr, Fe, Ti, Mn                                  |
| Calcita    | incolor, branco, azul, amarelo, rosa                                       | Fe, Ti, Mn                                      |
| Calcedônia | azul, laranja, verde-maçã                                                  | Fe, Ni, inclusões                               |



Minerais alocromáticos como a turmalina podem apresentar várias cores, a exemplo dos cristais azul e rosa.





Alguns minerais podem apresentar várias cores no mesmo cristal, conforme a disponibilidade de cromóforos tenha variado durante o crescimento do cristal. Esta turmalina com mudança gradativa de cor pode ser aproveitada como pedra preciosa valorizando o contato entre as cores. Procedência: Madagascar.



O quartzo é o principal exemplo de mineral alocromático, podendo apresentar as cores violeta, amarelo, rosa, verde e castanho, além do incolor. Amostras de quartzo rosa anédrico do Rio Grande do Norte (esquerda) e em cristais bem formados de Minas Gerais.



Citrino



Quartzo hialino



Prasiolita

Morion



Exemplos da diversidade de cores em quartzo. As variedades amarela, verde, incolor e castanha são chamadas, respectivamente, de citrino, prasiolita, quartzo hialino e morion ou quartzo fumê.



Granadas são uma família de minerais que apresentam um hábito característico (dodocaedro), mas variam de cor conforme os elementos químicos que entram na estrutura cristalina.

### **Brilho**

O brilho de um mineral é o modo como a luz reflete em sua superfície e depende muito da natureza dessa superfície, do índice de refração e da absorção de luz do material. Em princípio, uma superfície apresenta maior reflexão quanto maior sua regularidade, como acontece quando recebe polimento. Mesmo na natureza, a regularidade na superfície pode variar em um mesmo mineral, assim como podem existir camadas de alteração ou impurezas na composição, por isso o brilho é um critério puramente qualitativo para um eventual diagnóstico.

Para fins de classificação, são utilizados dois grandes grupos: minerais com brilho **metálico** e minerais com brilho **não metálico**, que recebem inúmeras subdivisões.

O brilho metálico é próprio e típico dos minerais com metais em sua composição, como prata, pirita, galena e ouro. Apresentam, normalmente, forte absorção e são opacos. Também tendem a se oxidar ou se alterar com maior facilidade, por isso o brilho deve ser verificado, preferencialmente, em fraturas recentes, em planos de clivagem ou, eventualmente, em superfícies polidas artificialmente. Em geral, apresentam esse tipo de brilho os minerais da família dos elementos nativos metálicos, sulfetos e alguns óxidos metálicos.

O brilho não metálico apresenta uma série de variantes que recebem denominações baseadas em reconhecimento prático, como resinoso ou terroso. Muitos minerais classificados com um tipo de brilho não metálico podem modificar muito sua reflexão quando fraturados ou polidos artificialmente. De maneira geral, são utilizadas as seguintes classificações:

**Adamantino:** minerais em geral transparentes a translúcidos, de alto índice de refração, como diamante, zircão ou rutilo.

**Resinoso:** semelhante a certas resinas, como no enxofre e na blenda.

**Gorduroso ou graxo:** aspecto semelhante a óleos, como na halita, nefelina e quartzo leitoso.

**Ceroso:** semelhante à cera de vela, como na calcedônia ou na opala.

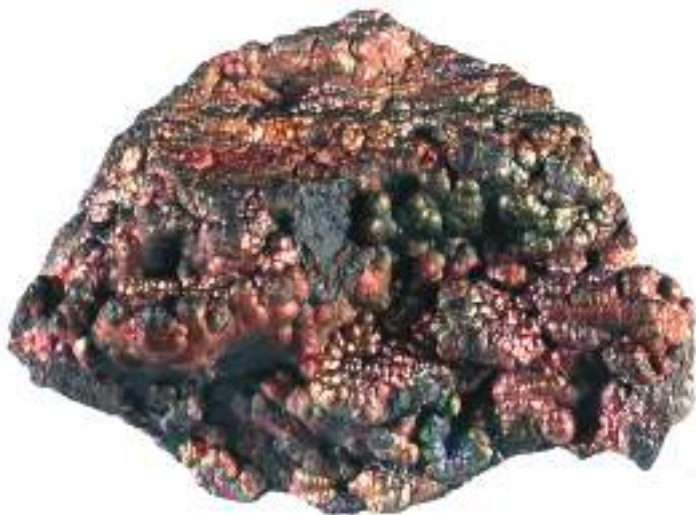
**Terroso:** típico em argilas, como a caulinita.

**Nacarado ou perláceo:** semelhante à pérola, como no talco, na gipsita e na maioria das micas.

**Sedoso:** semelhante à seda, é característico em minerais fibrosos como asbestos e gipsita fibrosa.

**Vítreo:** semelhante ao vidro, como quartzo, topázio, turmalina e a maioria das gemas.

Estrias e corrosão nas faces dos cristais podem deixar a superfície áspera, tornando os reflexos luminosos característicos, assim como a presença de inclusões que interferem na reflexão. Certos efeitos de brilho sobre alguns minerais são valorizados em gemologia.



Exemplos de minerais com brilho metálico  
são a hematita iridescente e a pirita.



Exemplos de minerais com brilho vítreo:  
peridoto e turmalina.



Quartzo leitoso que, em geral, apresenta brilho gorduroso.



Opala de Buriti dos Montes, no Piauí, apresentando o característico brilho ceroso.



Brilho adamantino do diamante", proveniente de Tibagi, PR.



Brilho nacarado do talco, proveniente de Ouro Preto, MG.

## Diafaneidade

É a propriedade dos materiais em geral permitirem ou não a passagem da luz, ou o grau de permeabilidade à luz. Em função dessa propriedade, os minerais podem ser: **transparentes**, quando permitem a passagem da luz de tal modo que é possível identificar detalhes da imagem através deles; **translúcidos**, quando deixam atravessar a luminosidade sem, no entanto, permitir maior detalhamento; e **opacos**, quando não permitem a passagem da luz, mesmo em lâminas delgadas. Muitos minerais opacos macroscopicamente se tornam transparentes ou pelo menos translúcidos quando fatiados em lâminas muito finas.

Minerais metálicos em geral são exemplos de opacos, quartzo ou mesmo o vidro são exemplos de transparência e o jade, a fluorita ou gemas com excesso de inclusões são exemplos de materiais translúcidos. Uma analogia utilizada para diferenciar materiais transparentes de translúcidos são os vidros de janela comuns que são transparentes e os vidros de janela texturizados (martelados, canelados, jateados...) utilizados, muitas vezes, em banheiros que permitem a iluminação do ambiente sem a visão detalhada dos objetos, translúcidos, portanto.



A imagem pode ser vista detalhadamente através de minerais transparentes, como a calcita, ao centro (que é duplicada em função da forte dupla refração desse mineral), a passagem de luz pode ser percebida em materiais translúcidos (como a calcedônia laranja), ou, não pode ser vista porque o mineral é opaco (como a malaquita à direita).

## **Hábito**

Denomina-se de **hábito** o formato mais frequente, ou a combinação de formas com a qual o mineral se apresenta na natureza. Trata-se de uma propriedade bastante importante, visto que muitos minerais são facilmente reconhecidos apenas pela sua morfologia externa, como a fluorita, a granada, a mica ou o zircão. O hábito dos cristais está relacionado à estrutura cristalina dos minerais ou ausência de cristalização dos materiais amorfos.

Quando os minerais apresentam formas externas que lembram sólidos geométricos regulares, a denominação de seus hábitos será a forma geométrica apresentada como cubo, prisma, pirâmide, entre outros. A galena tem hábito cúbico por se apresentar frequentemente em cristais na forma de cubo, e as granadas podem ter hábito rombo do decaédrico (lembra uma bola de futebol), por se apresentar como cristais na forma de dodecaedro com faces losangulares. Para os minerais que não apresentam formas externas regulares, foram criados outros termos para designar seus hábitos cristalinos, como o hábito acicular, que lembra agulhas em cristais de rutilo, ou o hábito bandado para as faixas de colorações diferentes em fragmentos de calcedônia.

A ausência de hábito num mineral pode ser causada pela inexistência de faces, por suas faces terem sido malformadas, pelo arredondamento natural dos minerais durante o transporte ou pela desconfiguração original de cristais com ferramentas que lhe conferem outro formato, como cristais lapidados ou artesanatos feitos com minerais. Nesses casos, a identificação do espécime fica muito mais difícil. Quando os minerais apresentam hábito bem definido, com o pleno desenvolvimento das formas cristalinas, são chamados **euédricos**, e quando não permitem o reconhecimento de qualquer face são denominados **anédricos**.

A importância do hábito cristalino dos minerais na sua identificação pode ser comparada ao reconhecimento de muitas outras variedades cotidianas, como o formato de frutas, de plantas ou de animais. Assim como bananas ou peras apresentam suas formas características e podem ser reconhecidas por elas, também alguns minerais podem.

Para cristais isolados, as principais designações de seus hábitos são:

| Hábito                                              | Exemplos                                           |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Cúbico                                              | pirita, fluorita, halita, galena                   |
| Octaédrico                                          | magnetita, diamante, fluorita                      |
| Dodecaédrico ou Rombododecaédrico                   | granadas, diamante                                 |
| Tetraédrico                                         | diamante                                           |
| Trapezoédrico                                       | leucita, granadas                                  |
| Piramidal ou bipiramidal                            | zircão, anatásio                                   |
| Romboédrico                                         | calcita                                            |
| Prismático (ou colunar)                             | berilo, turmalina, quartzo, piroxênios, anfibólios |
| Tabular(placas achatadas)                           | barita, albita, hematita, micas                    |
| Laminado (lâmina de faca)                           | cianita, molibdenita                               |
| Acicular (semelhante a agulhas)                     | rutilo, actinolita, natrolita, estibnita           |
| Capilar ou filiforme (semelhante a fios ou cabelos) | prata nativa, amianto                              |



Possíveis situações em que minerais são encontrados na natureza. Cristais que apresentam sua forma completa são chamados euédricos, como a pirita à esquerda, e, quando totalmente descaracterizados, são chamados anédricos, como a calcopirita à direita.

## OS MINERAIS - ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE

Andaluzita



Galena



Turmalina Negra



Pirita



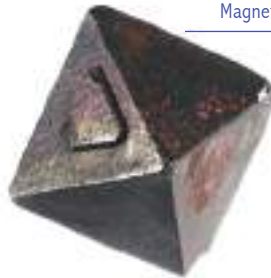
Topázio Imperial



Zircão



Magnetita



Jacinto ou Quartzo Demantóide



Imagens de vários minerais com seus hábitos mais característicos quando encontrados isoladamente.



Epidoto



Coríndon



Crocoíta



Berilo



Calcita



Augita

Imagens de vários minerais com seus hábitos mais característicos quando encontrados isoladamente.

Para os minerais que em geral ocorrem em agrupamentos, os termos utilizados são os seguintes:

| Hábito                                                                                 | Exemplos                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Maciço ou compacto:</b> agregado de microcristais                                   | caulim, ágata, calcedônia       |
| <b>Granular:</b> agregado de grãos aproximadamente equidimensionais                    | barita, calcita                 |
| <b>Reticulado:</b> agregado de cristais aciculares, formando um retículo ou grade      | rutilo, cuprita                 |
| <b>Fibroso:</b> agregado compacto de cristais delgados (filiformes).                   | asbestos                        |
| <b>Radial</b> (ou divergente): agregado de cristais finos de forma radial              | goethita, malaquita             |
| <b>Micáceo, lamelar ou foliáceo:</b> agregado de pequenas folhas ou placas delgadas    | micas, talco, grafita, hematita |
| <b>Drusiforme:</b> agregado de cristais que revestem uma superfície                    | ametista, calcita               |
| <b>Geodo:</b> uma drusa mais ou menos esférica                                         | quartzo, calcita, ametista      |
| <b>Dendrítico ou arborescente:</b> agregado semelhante a galhos ou a folhas de plantas | ouro, prata e cobre nativos     |
| <b>Estalactítico:</b> agregado em forma de cone ou cilindro                            | calcita, malaquita, aragonita   |
| <b>Globular ou esferulítico:</b> agregado aproximadamente esferoidal                   | limonita, goethita, hematita    |
| <b>Botrioidal:</b> semelhante a cacho de uvas                                          | limonita, goethita, hematita    |
| <b>Mamelar:</b> agregado semelhante a mama                                             | limonita, goethita, hematita    |
| <b>Reniforme:</b> agregado semelhante a rim                                            | limonita, goethita, hematita    |
| <b>Concêntrico:</b> agregado mais ou menos circular                                    | ágata, malaquita                |
| <b>Bandado:</b> agregado em faixas de cor ou textura diferente                         | ágata                           |
| <b>Oolítico:</b> agregado semelhante a ovas de peixe                                   | calcita, limonita               |
| <b>Pisolítico:</b> agregado de esferas maiores que uma ervilha                         | calcita, limonita               |

Amianto



Malaquita



Cobre dendrítico



Hábito radial da wavellita



Geodo de ágata e ametista



Calcedônia bandada





Citrino em drusa

Tompsonita



Hábito botrioidal da hematita

Imagens de vários minerais com seus hábitos mais característicos quando encontrados agrupados.

**Geminação ou macla**

Denomina-se de geminação ou macla o intercrescimento de dois ou mais indivíduos da mesma espécie mineral, segundo leis cristalográficas específicas. O fenômeno resulta em exemplares unidos uns aos outros de diferentes maneiras, sendo bastante importante para a identificação de alguns minerais que apresentam tais feições frequentemente.

Quando a macla acontece com dois cristais é chamada **simples** e a geminação **múltipla** ocorre quando vários indivíduos encontram-se unidos em um mesmo exemplar. A causa mais comum da geminação ocorre durante a cristalização do mineral, quando alguns átomos se encaixam na estrutura em posições diferentes das normais, ocasionando, assim, a formação de novos indivíduos que passam a crescer em outra direção. Outras causas de geminação são as deformações e as diferenças de temperatura durante a cristalização, dando origem às maclas de deformação ou de transformação.

A macla simples é chamada de **justaposição** ou de **contato**, na qual o cristal parece um único exemplar dividido em duas metades, uma girada 180° em relação à outra, ambas unidas pelo plano de macla ou, ainda, por dois indivíduos interpenetrados, denominada de geminação por **penetração**.

A geminação múltipla é dividida em **polissintética**, onde os indivíduos são dispostos paralelamente entre si, e **cíclica**, em que os agrupamentos podem ser radiais ou angulares.

No reconhecimento de minerais é importante distinguir quando se trata de agregados cristalinos, onde os indivíduos crescem em arranjo desordenado, de geminações em que os minerais se apresentam unidos de acordo com leis da simetria. Assim, se reconhece com facilidade a estaurolita pela geminação em cruz, o rutilo pela geminação em joelho, o plagioclásio pela macla polissintética (mais comum) ou o ortoclásio pela macla Carlsbad. A presença de ângulos reentrantes em cristais é indicativo seguro de geminação, como na forma de diamante conhecida como chapéu-de-frade, em que dois cristais crescem formando um triângulo, mas seus cantos apresentam reentrâncias.

**Tipos mais comuns de maclas**

| Geminação ou macla                        | Exemplos de minerais que podem apresentar |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Simples ou de contato (Carlsbad)          | Ortoclásio                                |
| Cauda de andorinha                        | Gipsita                                   |
| Lei do Japão                              | Quartzo                                   |
| Em cruz latina (90°) ou Santo André (60°) | Estaurolita                               |
| Joelho                                    | Rutilo                                    |
| Cíclica                                   | Crisoberilo                               |
| Polissintética                            | Albita                                    |
| Penetração                                | Pirita                                    |



Estaurolita geminada



Geminação da ametista



Pirita geminadas



Rutilo com geminação cíclica



### Dureza

Em mineralogia, **dureza** pode ser definida como sendo a resistência que o mineral oferece ao ser riscado, sendo uma propriedade dependente da estrutura cristalina e muito importante para a sua caracterização. Basicamente, a dureza está relacionada principalmente com a resistência das ligações químicas existentes na estrutura cristalina. Minerais compostos de átomos unidos por ligações covalentes possuem dureza mais elevada se comparados com estruturas contendo ligações iônicas ou ligações de Van der Waals, que apresentam dureza menor ainda. A dureza é uma das mais importantes propriedades usadas na identificação de minerais devido a sua constância dentro da mesma espécie mineral.

Em 1824, o mineralogista austríaco Friedrich Mohs desenvolveu um método empírico de determinação da dureza utilizando dez minerais relativamente comuns, arranjados em ordem crescente de dureza à medida que um riscava o outro. A **escala relativa de dureza de Mohs** é composta por 10 minerais com durezas definidas de 1 a 10, sendo a escala mais usada na determinação prática de minerais.

## OS MINERAIS - ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE

| Mineral    | Dureza de Mohs | Dureza absoluta | Imagem                                                                              |
|------------|----------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Talco      | 1              | 1               |    |
| Gipsita    | 2              | 3               |    |
| Calcita    | 3              | 9               |    |
| Fluorita   | 4              | 21              |    |
| Apatita    | 5              | 48              |    |
| Ortoclásio | 6              | 72              |    |
| Quartzo    | 7              | 100             |  |
| Topázio    | 8              | 200             |  |
| Coríndon   | 9              | 400             |  |
| Diamante   | 10             | 1500            |  |

Na prática, pode-se usar uma escala simplificada com apenas três termos, ou seja, dureza alta, média e baixa, que podem ser utilizados como referências a unha ( $D = 2,5$ ), um canivete ( $D = 6,0$ ) ou um pedaço de vidro ( $D = 5,0$  a  $5,5$ ). Minerais que riscam o vidro indicam dureza alta, ou seja, acima de  $5,5$ . Ao contrário, minerais que podem ser riscados pela unha apresentam dureza baixa, menor que  $2,5$ . Amostras com dureza média são as intermediárias, que não podem ser riscadas pela unha, não riscam o vidro e são riscadas pelo canivete (entre  $3$  e  $5$ ).

A determinação da dureza absoluta dos minerais é utilizada na Ciência dos Materiais ou na indústria em casos específicos, sendo medida com técnicas e equipamentos complexos. Assim, em termos absolutos, os valores de dureza dos minerais que formam a escala de Mohs não crescem de forma linear e, na escala absoluta, a dureza do diamante, por exemplo, é cerca de  $1.500$  vezes maior que a do talco e quase quatro vezes maior que a do coríndon.



Teste de dureza entre a unha e um talco esverdeado. Percebe-se o nítido risco deixado por uma substância de dureza em torno de  $2,5$  sobre um mineral de dureza  $1$ .



Quartzo riscando um vidro. Apesar de ambas as substâncias terem quase a mesma composição ( $\text{SiO}_2$ ) a estrutura cristalina do quartzo faz com que ele seja mais duro ( $7$ ) que seu equivalente amorfo ( $5$ ). A maioria dos vidros tem altos teores de impurezas e apresentam teores em torno de  $75\%$  de  $\text{SiO}_2$ .

## Tenacidade

A tenacidade é a propriedade que reflete a coesão dos materiais e indica a resistência que o mineral oferece ao esforço mecânico, ou seja, é a maneira como se comporta ao ser golpeado, esmagado, curvado ou cortado. Os termos mais utilizados para descrever a tenacidade dos minerais são: tenaz, quebradiço, friável, séctil, maleável, dúctil, flexível e elástico. A maleabilidade, a ductilidade e a flexibilidade são características dos minerais metálicos, o que permite a produção de chapas, lâminas, fios, entre outros. O ouro é o mais maleável e dúctil dos metais, permitindo que apenas 1 grama possa ser transformado em até 2 mil metros de fio de ouro ou reduzido a folhas com espessuras de até 0,0001 mm.

Exemplos de tenacidade de minerais

- **Tenaz:** ágata e jade
- **Quebradiço:** enxofre
- **Maleável:** ouro
- **Dúctil:** prata
- **Séctil:** gipsita
- **Flexível:** molibdenita
- **Elástico:** micas

É comum que as pessoas confundam dureza com tenacidade e muitas vezes a resistência ao risco é confundida com a resistência ao choque mecânico. Na antiguidade, pelos textos de Plínio, o Velho, o diamante seria o mais duro dos materiais, mas o teste sugerido para verificar essa dureza era uma martelada sobre uma bigorna. Muitos diamantes devem ter sido perdidos por esse método, já que o diamante é realmente o mais duro dos minerais, mas apresenta pouca tenacidade, facilitada por uma clivagem ótima. Ao se golpear um diamante, ele se fragmenta com facilidade!



Figura de um diamante sendo martelado, do *Tratado das Pedras Preciosas*, de Plínio, o Velho. Possivelmente não era diamante o material descrito por ele, já que um diamante não resistiria a tal teste.



A prata é altamente dúctil e maleável, permitindo a confecção de fios e lâminas muito finas por meio de compressão entre cilindros metálicos, o que permite a infinidade de formas obtidas na joalheria.



O jade apresenta grande tenacidade, o que permite a confecção de esculturas delicadas e finas que apresentam resistência para o uso contínuo. Amostra procedente da China.

## **Densidade**

Densidade é o número que expressa a razão entre o peso do mineral e o peso de um mesmo volume de água destilada a 4°C, sendo um número adimensional. Não se deve confundir com peso específico, que é expresso com unidades de peso e de volume. A densidade dos minerais está relacionada a sua composição química e sua estrutura, ou seja, átomos com peso atômico maior e estruturas mais compactas possuem densidades maiores. No caso do mineral aragonita ( $\text{CaCO}_3$ ) com  $d = 2,95$  e da cerussita ( $\text{PbCO}_3$ ) com  $d = 6,55$ , observa-se que a composição química é responsável pela diferença de densidade. No diamante e na grafita, compostos por átomos de carbono, a densidade é 3,5 para o diamante e 2,2 para a grafita, mostrando a diferença no número de átomos por volume na estrutura cristalina de cada mineral.

A densidade é determinada por meio de aparelhos específicos, como a balança de Jolly, o picnômetro, a bateria de líquidos densos, a balança hidrostática, entre outros. Contudo, na identificação macroscópica de minerais, é possível perceber na mão a diferença de densidade entre minerais denominados de “leves”, com densidade em torno de 2,6 (como o quartzo e o feldspato) dos “pesados”, que possuem valores maiores que 3, como a galena com densidade 7,5 e o ouro com valor de 19,3. Considerado um dos minerais mais densos, enquanto um litro de água pesa em torno de 1 kg, um litro de ouro puro pesaria 19,3 kg! Cofres ou caixas-fortes destinadas a armazenar barras de ouro devem ter suas estruturas de concreto bem dimensionadas para que não afundem.

Alguns minerais visualmente semelhantes podem possuir densidades bem diferentes como a dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , cuja densidade é 2,85 e a barita ( $\text{BaSO}_4$ ), com densidade 4,3, um valor elevado para um mineral não metálico, o que é útil em sua identificação.

A balança de Jolly é um equipamento que foi muito empregado na determinação de densidades de minerais, mas, atualmente, usa-se uma balança eletrônica hidrostática em laboratórios de mineralogia, pela facilidade de uso. O princípio da balança de Jolly baseia-se em uma mola relativamente sensível, colocada sobre uma escala graduada. A amostra de mineral é colocada no final da mola obtendo-se um estiramento proporcional ao peso do mineral e o valor do deslocamento da mola registrado na escala é anotado. Em seguida, mede-se o deslocamento da mola com o mineral submerso em água. A densidade é dada pela relação entre o peso no ar e a diferença entre peso no ar e peso na água. Uma balança hidrostática semianalítica possui dois compartimentos, um para o peso no ar e outro para o peso na água e, após a análise, o próprio equipamento processa os dados e fornece a densidade do mineral.

Outra possibilidade para se estimar a densidade é o método dos líquidos densos que consiste na utilização de líquidos com alta densidade e valor conhecido.

Entre os mais utilizados está o bromofórmio com densidade de 2,8. No exame, o mineral é colocado no líquido. Se flutuar indica densidade menor e se afundar é mais denso, considerado um “mineral pesado”. O método de líquido denso ainda é muito utilizado para separar as denominadas frações “leves” e “pesadas” em sedimentos inconsolidados, como amostras de leito ativo de rio por exemplo. Esse método também pode ser útil na separação da água marinha (densidade = 2,7) de topázio azul (densidade = 3,5), que são muito semelhantes quando lapidados. Todos os líquidos densos conhecidos, no entanto, são caros e apresentam alto grau de toxicidade, por isso, seu uso vem se restringindo consideravelmente.

#### GARIMPOS E MINERAIS PESADOS

A busca por minerais preciosos foi motivadora de grandes mudanças sociais no Brasil desde a sua descoberta. As atuais fronteiras desse país-continente se devem principalmente às Entradas e Bandeiras, nos séculos XVII e XVIII, que buscavam riquezas minerais e o sonho do Eldorado. O garimpo ainda hoje é uma realidade não só no Brasil, como em vários locais do mundo, onde indivíduos sem recursos buscam melhorar sua vida no fatigante trabalho de procurar ouro, diamante e outros minerais que concentram grande valor.

Aparentemente sem maior instrução formal, os garimpeiros possuem grande habilidade para encontrar o que procuram graças a um olhar treinado e a um forte instinto para perceber as propriedades dos minerais. Os métodos utilizados para procurar diamante, por exemplo, baseiam-se na diferença de densidade entre este mineral e os mais leves, que são separados por meio de peneiras e bateias, centrifugando artesanalmente os sedimentos, por meio de movimentos circulares nas águas de um rio. No concentrado final de uma bateia ou de uma peneira restarão somente os minerais de alta densidade, em geral mais escuros (ilmenita, magnetita, zircão, turmalina, espinélio, estauroлита, monazita...) e, se estiver presente, o diamante se destaca pelo brilho adamantino ou sua coloração mais clara.

Na busca pelos preciosos, os garimpeiros reconhecem com facilidade as “formas”, ou seja, os minerais acompanhantes que trazem informações sobre a possibilidade de encontrar o que buscam. Sem conhecer a teoria ou os nomes científicos, essas pessoas reconheceram tipos de granada (piropo, almandina), ilmenita magnesiana ou diopsídio como minerais indicadores da presença de diamante, cujo significado somente mais tarde foi devidamente compreendido pela ciência. Esses indicadores tiveram sua formação no manto e foram trazidos à superfície junto com o diamante, posteriormente se concentrando em rios por causa da densidade mais alta.

Garimpeiros são apaixonados pelo reino mineral e trabalham duramente atrás de um sonho. Segundo uma expressão poética recorrente entre eles, é o único jeito do homem tirar estrelas do chão!



O mercúrio apresenta densidade tão alta que sólidos metálicos podem flutuar sobre sua superfície.



Garimpeiro em busca de diamante no rio Jequitinhonha, em Diamantina, Minas Gerais. O método utilizado ainda é o mesmo do século XVIII, quando se descobriu esse mineral pela primeira vez nessa mesma região, e se baseia completamente nas diferentes densidades dos minerais.



Minerais indicadores de diamante encontrados no rio Santo Antônio, em Coromandel, Minas Gerais. Os grãos vermelhos são piropos (granada com muito magnésio), os escuros com capa de alteração são ilmenitas e os verdes são diopsídio. São minerais mais densos que se associam ao diamante no meio fluvial.

Concentrado de bateia contendo minerais pesados. Os minerais escuros costumam ser mais densos e, se houver a presença de ouro no sistema, esse ficará concentrado junto aos escuros por ser muito denso, como todos os minerais metálicos.



A maioria dos minerais não metálicos tende a apresentar densidade mais baixa. A barita, no entanto, é um dos minerais não metálicos mais densos (4,3), por isso, sua maior aplicação é de aumentar a densidade em lamas utilizadas na perfuração de poços profundos de petróleo. Amostra de cristais de barita procedente da Austrália.



Para a medição da densidade de um mineral, ou de um sólido qualquer, pode-se utilizar uma balança de braço com um copo de Becker contendo água. Verifica-se o peso do mineral no ar e o seu peso imerso na água. O valor da densidade resulta da fórmula:

$$D = \frac{\text{Peso}_{\text{ar}}}{(\text{Peso}_{\text{ar}} - \text{Peso}_{\text{água}})}$$

### **Clivagem**

Clivagem é a propriedade que apresentam muitos minerais de se partir com maior facilidade segundo determinados planos relacionados à estrutura cristalina. Todo plano de clivagem é paralelo a uma face ou possível face do cristal. Um mesmo mineral pode apresentar mais de um plano de clivagem. Exemplos: biotita – 1 plano de clivagem, piroxênio – 2 planos de clivagem e galena – 3 planos de clivagem. A clivagem pode ser constatada por simples pressão ou por choque mecânico. Nem todos os minerais possuem clivagem, mas, se um mineral apresenta essa propriedade, então todos os cristais daquela espécie também terão a mesma clivagem.

A clivagem é um reflexo da estrutura interna, ocorrendo paralelamente a planos atômicos entre os quais há menor resistência. Essa diferença acontece devido a um espaçamento reticular maior, a um tipo mais fraco de ligação química, pela existência de menor número de ligações em certas direções ou, também, devido a defeitos da estrutura cristalina.

A clivagem, ou a ausência dela é um fator muito importante para a identificação dos minerais. Na descrição, deve ser levado em conta o grau de perfeição observando-se a superfície produzida, que pode ser classificada em perfeita, boa, imperfeita ou sem clivagem, e quanto à direção, podem ser observadas 1, 2, 3, 4 ou até 6 direções de clivagem, sendo importante a estimativa do ângulo que cada superfície faz com as outras.

#### **Descrição da clivagem em minerais**

| <b>Grau de perfeição</b>    | <b>Direções</b>     | <b>Exemplos</b> |
|-----------------------------|---------------------|-----------------|
| Muito perfeita ou excelente | uma                 | biotita         |
| Perfeita                    | três (romboédrica)  | calcita         |
| Perfeita                    | três (cúbica)       | galena          |
| Perfeita                    | quatro (octaédrica) | fluorita        |
| Boa                         | duas (1200)         | anfíbólio       |
| Boa                         | duas (900)          | piroxênio       |
| Boa                         | seis (dodecaédrica) | esfalerita      |
| Imperfeita                  | uma (basal)         | apatita         |

Lepidolita



Feldspato



Fluorita



Minerais que apresentam clivagem. Lepidolita (mica violeta), feldspato, fluorita.



A clivagem é um plano de fraqueza no mineral por onde ele tende a se romper. Fragmentos de calcita, mesmo que em tamanhos muito pequenos mostrarão em microscópio os três planos da clivagem romboédrica característica.



O feldspato tem clivagem muito boa em uma direção e outra menos evidente em outra direção perpendicular. Essa característica permite o seu reconhecimento em rochas, diferenciando-o facilmente do quartzo que tem cor, brilho e dureza semelhantes quando pequenos. Feldspatos podem apresentar várias colorações, até mesmo o verde como na amazonita.



Exemplos característicos de clivagem evidente são o topázio (1 direção), a calcita (3 direções) e a muscovita (mica branca) (1 direção).

### Partição

Certos minerais, quando sujeitos à tensão ou à pressão, desenvolvem planos de menor resistência estrutural ao longo dos quais tendem a se romper. Quando se produzem superfícies planas devido a esse tipo de rompimento, diz-se que o mineral tem **partição**. A partição distingue-se da clivagem por não ser constante e não depender da estrutura interna dos minerais, ou seja, nem todas as amostras de uma mesma espécie exibirão a partição. Possíveis causas da partição são planos de geminação ou, ainda, inclusão de minerais que conferem planos menos resistentes. Exemplos de minerais que podem apresentar partição com frequência são coríndon, diopsídio, hematita e magnetita.



O coríndon pode apresentar uma partição evidente, pois apresenta planos compostos por diásporo, uma alteração que torna esses planos uma superfície de fraqueza. Nem todo coríndon, entretanto, apresenta essa propriedade. Proveniência: Santa Catarina



A hematita não apresenta clivagem, mas às vezes pode apresentar planos de partição muito evidentes. A hematita que apresenta esses planos especulares é chamada muitas vezes de especularita.

## Fratura

A maneira pela qual um mineral se rompe, quando isso não se produz ao longo de planos (superfícies de clivagem ou de partição), é denominada **fratura**. Ocorre quando a força das ligações químicas é praticamente igual em todas as direções da estrutura, assim o rompimento acontece sem direção cristalográfica preferencial. Ao descrever a fratura de um mineral, o tipo da superfície desenvolvida pode ser bastante útil na sua identificação.

Os principais tipos de fratura observados nos minerais são: **conchoidal** ou conchoide, quando a fratura tem superfícies lisas e curvas, semelhantes à superfície interna de uma concha. São típicas as fraturas conchoidais presentes em quartzo, calcedônia e opala, e mesmo em algumas rochas (e.g. obsidiana, sílex) ou substâncias artificiais como o vidro comum; **serrilhada** ou denteada, quando a superfície é denteada, irregular e com bordas cortantes como no ouro, na prata e no cobre nativo; **irregular**, quando um mineral se rompe formando superfícies rugosas e irregulares sem padrão definido, como na turmalina.



## Traço

Designa-se de **traço**, a cor do pó de um mineral deixado sobre uma superfície de porcelana, portanto, trata-se de sua cor verdadeira. Alguns minerais de mesma cor podem possuir traços de colorações diferentes. Por exemplo a hematita, a goethita e a magnetita (minerais de ferro) podem exibir a mesma cor macroscópica, porém possuem traços diferentes como vermelho, amarelo e preto, respectivamente. O teste do traço só pode ser realizado em minerais que possuem dureza menor que a da placa de porcelana (6), do contrário a amostra riscará a placa. O teste do traço é como escrever com giz no quadro negro e não com um objeto mais duro que risque o quadro.

Quando o traço de um mineral é definitivamente colorido como verde, azul ou preto, é bastante útil na sua identificação, porém traços brancos ou incolores não auxiliam muito, devendo-se recorrer a outras propriedades diagnósticas. A realização do teste do traço deve ser realizada em uma superfície áspera de porcelana de cor branca, tomando-se o cuidado de observar no mineral se o ponto de contato não se encontra alterado, com impurezas ou com mistura de minerais, o que leva a falsos resultados. É importante observar também que esse teste pode estimar também a dureza do mineral, pois minerais mais duros deixarão traços finos enquanto os de dureza baixa fornecem traços mais grossos, equivalente aos diferentes lápis de desenho sobre o papel.



Exemplos de alguns minerais com seus traços característicos.

## **Magnetismo**

O magnetismo ocorre quando não existe um balanço no arranjo estrutural dos íons de ferro, que pode ser encontrado em dois estados de oxidação, ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ), cada um com raios atômicos diferentes. Devido à maior carga positiva do íon férrico, os elétrons são atraídos mais fortemente para o núcleo, o que provoca uma diminuição da zona onde estes se podem mover. Assim, os íons podem se alojar em diferentes locais na estrutura dos cristais e os elétrons, que se movimentam dos íons ferrosos para os íons férricos mais carregados, criam um campo magnético.

A intensidade do campo magnético criado por esse tipo de mineral pode variar desde uma ligeira mudança na direção da agulha de uma bússola até a capacidade de atrair objetos metálicos. O magnetismo é encontrado em minerais que apresentam suscetibilidade magnética e, em seu estado natural, podem ser atraídos por um ímã comum ou por potentes campos magnéticos de laboratórios. Os minerais que apresentam magnetismo natural mais intenso são a magnetita e a pirrotita, os quais podem constituir ímãs naturais.

Em uma classificação quanto ao magnetismo, os minerais podem ser:

**Diamagnéticos** – minerais que são repelidos por um campo magnético ou, na prática, não se magnetizam quando colocados em um campo magnético.

Ex: calcita, fluorita, ouro, quartzo etc.

**Paramagnéticos** – minerais que são fracamente atraídos por um ímã e se tornam magnetizados quando colocados em um forte campo magnético.

Ex: granada, hornblenda, olivina, ilmenita etc. (minerais que contêm ferro).

**Ferromagnéticos** – minerais que são intensamente atraídos por um ímã comum e podem tornar-se magnetizados permanentemente.

Ex: a magnetita, a pirrotita, um polimorfo da hematita chamado maghemita, mineral derivado de oxidação de espinélio.

A agulha de uma bússola ou um ímã comum suspenso por um fio podem ser usados para testar o magnetismo existente nos minerais. Essa propriedade tem grande importância no tratamento de minérios em plantas industriais. Minérios moídos ou sedimentos colocados em esteiras são passados por separadores eletromagnéticos, que podem ter vários níveis de intensidade e que retiram todos os minerais suscetíveis ao magnetismo, permitindo uma classificação da produção da substância mineral útil.



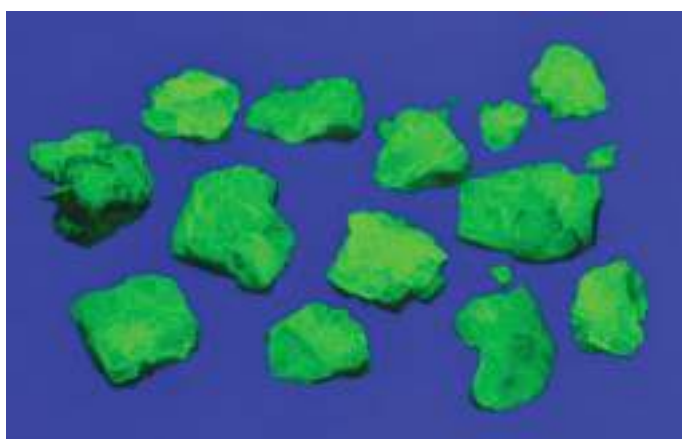
Atração de magnetita em seu hábito característico por um ímã comum. Magnetitas anédricas são muito abundantes entre os minerais metálicos nos sedimentos e suas propriedades magnéticas são muito utilizadas para a sua separação dos outros minerais “pesados”.

| Mineral      | Suscetibilidade magnética   |
|--------------|-----------------------------|
| Babingtonita | Muito fraca                 |
| Cromita      | Muito fraca                 |
| Ilmenita     | Muito fraca quando aquecida |
| Platina      | Muito fraca                 |
| Siderita     | Muito fraca quando aquecida |
| Tantalita    | Muito fraca                 |
| Magnetita    | Muito forte                 |
| Maghemita    | Muito forte                 |
| Pirrotita    | Muito forte                 |

### Luminescência

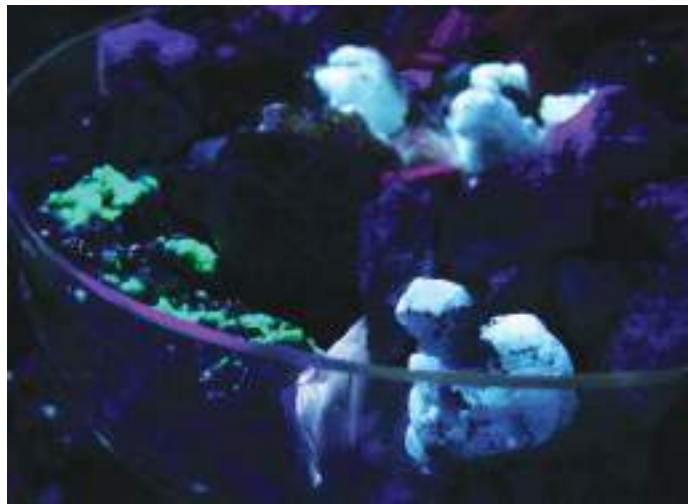
A luminescência é qualquer emissão de luz por parte de um mineral resultante da excitação por energia luminosa ou mecânica, à exceção da incandescência. Esse fenômeno é mais comumente produzido pela irradiação com luz ultravioleta. Existem vários tipos de luminescência, como a fluorescência, fosforescência, tribo-luminescência, termoluminescência ou catodoluminescência e cada um deles pode ser usado para o diagnóstico de certos minerais.

O principal tipo apresentado pelos minerais é a **fluorescência**, que é a emissão de luz durante a exposição a uma irradiação (luz ultravioleta ou raios X). Os exemplos mais importantes de minerais que podem apresentar fluorescência são autunita, willemita, fluorita, scheelita e zircão.



Amostras de autunita, provenientes de Linópolis (MG), fotografadas sob luz normal e quando expostas à luz ultravioleta.

Na extração de scheelita para produção de tungstênio, por exemplo, como acontece na mina de Brejuí, no Rio Grande do Norte, trabalha-se em galerias subterrâneas iluminadas com lâmpadas no espectro ultravioleta (“luz negra”), o que faz com que o minério seja evidenciado pela fluorescência.



Mina de scheelita para obtenção de tungstênio em Currais Novos, RN, e amostras luminescentes expostas no museu da Mineração Brejuí, que atualmente desenvolve turismo científico/cultural na parte mais antiga da mina de tungstênio.

### Reação a ácidos

Alguns minerais podem apresentar uma reação química visível quando em contato com ácidos e essa propriedade pode ser útil para o eventual reconhecimento. A maior parte dos minerais afetados pelo ácido clorídrico pertencem à família dos carbonatos, entre eles a calcita, dolomita, malaquita, rodocrosita e aragonita. Exemplificando com a calcita, o que acontece é a liberação de  $\text{CO}_2$  na reação, o que resulta numa certa efervescência de fácil visualização, conforme a reação



O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é liberado sob a forma de bolhas (efervescência) e o cloreto de cálcio dissolve-se na água.

O teste é usualmente feito com ácido clorídrico diluído (10%), mas tão importante quanto a reação é o modo como ela se processa. A calcita e a aragonita, os carbonatos mais comuns, reagem fortemente ao ácido frio e a reação é muitas vezes acompanhada de um ruído, enquanto que, para a dolomita e outros carbonatos a reação é menos vigorosa e só acontece quando o ácido é aquecido ou os minerais são reduzidos a pó ou, ainda, dissolvidos previamente. Essa diferença é suficiente para distinguir a presença de dolomita ou calcita em meio às rochas por exemplo.

O teste com ácido pode também ser utilizado em sulfetos, como a pirita ou a galena, sendo que o resultado é o desprendimento do gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), que pode ser percebido pelo odor (“ovo podre”), como exemplifica esta reação da galena:



Reação de efervescência da calcita e da malaquita em contato com ácido clorídrico diluído (10%). Essa reação acontece com os carbonatos pelo desprendimento de  $\text{CO}_2$ .



Rochas que possuem calcita ou dolomita em sua constituição são bastante frágeis e suscetíveis a ataques químicos. Nas calçadas do centro histórico de Curitiba, a limpeza com ácidos acelerou a deterioração dos blocos de mármore dolomítico, como se nota em comparação com a rocha preta inerte. Estátuas de mármore calcítico no cemitério municipal de Curitiba apresentam forte deterioração em função de chuvas ácidas causadas pela poluição no centro da cidade.

## **Radioatividade**

A radioatividade é a propriedade que certos elementos apresentam de desintegração espontânea de núcleos atômicos – a parte central do átomo que contém a maior parte de sua massa – sendo por isso chamados de instáveis. Sempre que ocorre radioatividade, ela é caracterizada pela emissão de partículas alfa, beta ou radiação gama.

Minerais radioativos são aqueles que contêm elementos químicos instáveis ou variedades raras e instáveis de certos elementos que ocorrem mais comumente em forma estável, como a uraninita, monazita, zircão, xenotímio e tantalita. Esses minerais se decompõem naturalmente e, quando isso acontece, liberam energia em forma de radiação. A taxa de decomposição natural varia de elemento para elemento e o tempo que leva para que uma quantidade de átomos de qualquer elemento radioativo seja reduzida à metade é conhecido como sua meia-vida.

O conhecimento da meia-vida de um elemento contido em certos minerais permite que seja calculada a idade do mineral pelo grau de desintegração encontrado. A **geocronologia** dedica-se às investigações sobre a idade das rochas a partir de vários métodos, em especial com base na radioatividade natural dos minerais. Semelhante a uma ampulheta, sabendo-se a quantidade total de areia inicial (a partir da meia-vida do elemento) e o quanto de areia já passou (teor encontrado no momento da análise) é possível saber o tempo que durou desde o início do processo e, portanto, estimar a idade do mineral ou rocha que contém esse elemento.

A tabela a seguir mostra os principais elementos radioativos utilizados em geocronologia, com seus tempos de meia-vida. Quando o elemento se desintegra completamente, seu produto final é outro elemento, como o urânio que se transforma em chumbo, ou outro isótopo, como o carbono 14 que se transforma em carbono 12.

| Elemento radioativo | Produto final | Meia-vida            |
|---------------------|---------------|----------------------|
| $U^{238}$           | $Pb^{206}$    | 4,5 bilhões de anos  |
| $U^{235}$           | $Pb^{207}$    | 0,7 bilhões de anos  |
| $Th^{232}$          | $Pb^{208}$    | 14,1 bilhões de anos |
| $Rb^{87}$           | $Sr^{87}$     | 48,8 bilhões de anos |
| $K^{40}$            | $Ar^{40}$     | 1,3 bilhões de anos  |
| $Sm^{147}$          | $Nd^{143}$    | 106 bilhões de anos  |
| $C^{14}$            | $C^{12}$      | 5.730 anos           |

A energia nuclear usada em reatores para geração de eletricidade e calor ou aquela desprendida na explosão de armamentos nucleares tem sua origem em minerais radioativos, principalmente urânio. O Brasil é um grande produtor de uraninita e domina a tecnologia para o enriquecimento do urânio para ser usado como combustível em reatores nucleares. Atualmente, possui duas usinas nucleares em funcionamento (Angra 1 e 2) e uma terceira em construção (Angra 3), mas não se inclui entre os países com bombas atômicas construídas ou com tecnologia para sua fabricação.



Cristal de monazita com cerca de 915 g (8x8x5cm), mineral radioativo encontrado em pegmatitos do Espírito Santo. As areias contendo esse mineral são algumas vezes consideradas medicinais, como na praia de Guarapari, ES. Possivelmente a radiação natural facilite a dilatação das veias, proporcionando alívio para certos males do corpo. Samarskita com cerca de 300 g, proveniente de Minas Gerais. Ambos minerais, do acervo do Laboratório Didático de Geologia da UEPG, emitem radiação suficiente para inspirar cuidados especiais como o acondicionamento em caixas de chumbo. Um dos aparelhos utilizados para detectar a radiatividade é o contador Geiger-Müller, que indica a quantidade aproximada de emissão, medida em Sv (sievert).



Um dos aparelhos utilizados para detectar a radioatividade é o contador Geiger-Müller, que indica a quantidade aproximada de emissão, medida em Sv (sievert).



Cristais de xenotímio ( $\text{YPO}_4$ ) metamórfico. Sua estrutura cristalina encontra-se bastante destruída pelo bombardeamento de partículas alfa, geradas por impurezas de tório e urânio em sua composição, e, por isso, o mineral altera-se facilmente. Procedência: Minas Gerais.



A radioatividade proveniente dos minerais é uma tecnologia amplamente utilizada na atualidade e encontra aplicações diversas, desde a esterilização de frutas para consumo, ou tratamentos na medicina, até a mudança de coloração em pedras preciosas, extremamente comum no mercado atual, como no quartzo verde, que passa a ser vendido como prasiolita.

### Propriedades elétricas e térmicas

A condução de eletricidade em minerais é fortemente controlada pelo tipo de ligação química existente em sua estrutura. Minerais formados exclusivamente por ligações metálicas (por exemplo, os metais nativos) são bons condutores de eletricidade e também de calor. Já os minerais formados por ligações parcialmente metálicas, como alguns sulfetos, são semicondutores, e aqueles constituídos por ligações iônicas e/ou Van der Waals são maus condutores de eletricidade.

As características de condutividade elétrica de cada mineral fornecem uma assinatura para cada tipo de rocha que contenha esses minerais. Esse tipo de informação vem sendo interpretada há décadas em análises de geofísica e, graças aos resultados, houve um fortíssimo desenvolvimento na prospecção de minérios, principalmente petróleo, cujo conhecimento da jazida depende quase que exclusivamente de dados geofísicos.

Duas conhecidas propriedades elétricas em minerais são a **piezoelectricidade** e a **pireoelectricidade**. A piezoelectricidade é o fenômeno em que alguns minerais, como o quartzo, são capazes de transformar energia mecânica (pressão) aplicada ao longo do seu eixo em energia elétrica e vice-versa. Uma importante decorrência dessa propriedade foi uma revolução na fabricação de relógios e cronômetros. A eletricidade gerada por uma pilha é aplicada sobre um cristal de quartzo, o que faz com que seja produzido um pulso mecânico de grande precisão de intervalo que proporciona a exatidão dos relógios atuais. A pireoelectricidade é o resultado da aplicação de calor, quando o cristal também passa a concentrar cargas elétricas em seus polos. A turmalina é o melhor exemplo de minerais com pireoelectricidade.



Relógio moderno baseado na capacidade piezoeletrica do quartzo. Uma bateria fornece eletricidade que um pequeno cristal de quartzo transforma em pulso mecânico de grande precisão que permite o funcionamento correto dos ponteiros. Imagem: Wikipedia.

Em relação à **condutividade térmica**, o mineral que apresenta maior rapidez de transmissão de calor é o diamante, superior inclusive a qualquer um dos metais. Essa propriedade é útil para joalheiros, que podem reconhecer um diamante com o uso de um aparelho conhecido como “caneta térmica”. Trata-se de um emissor de calor que, ao tocar o diamante, sinaliza a alta condutividade, superior a qualquer imitação.



Deteção de diamante montado em joias pela constatação de sua condutividade térmica excepcional. Ao tocar na superfície, um sensor térmico reage indicando com um sinal luminoso quando o material testado é diamante. Imagem: Divulgação.

### Solubilidade

Em teoria, numa certa medida, todos os minerais se dissolvem na água, pelo menos parcialmente. No entanto, a extensão e rapidez dessa reação é, na maioria dos casos, tão pequena que torna impossível a sua detecção, assim, os minerais considerados realmente solúveis, na prática, são poucos. O mais conhecido é a halita ( $\text{NaCl}$ ), mas também os nitratos, os boratos, alguns carbonatos, sulfatos e fosfatos também apresentam certa solubilidade.



O salitre, produzido no deserto do Atacama, no Chile, apresenta uma deterioração em climas temperados, em função da solubilização do nitrato de sódio ou de potássio em presença de umidade.

### **Propriedades organolépticas**

Alguns minerais têm odores particulares, que normalmente não são muito evidentes, a não ser que o mineral seja friccionado, percutido ou partido recentemente. O mineral mais conhecido por essa propriedade é o enxofre, mas os sulfetos, minerais que contêm arsênico e as argilas também apresentam cheiros próprios. O “cheiro de enxofre”, associado pela mitologia aos odores de demônios e do inferno, é detectado tanto nesse mineral como nos sulfetos, devido à formação de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ). Os minerais com arsênico, como a arsenopirita, quando percutidos ou friccionados dão um “cheiro de alho” característico desse elemento venenoso. Os minerais argilosos, quando molhados, apresentam um “cheiro de terra” também característico. Outra possibilidade acontece em alguns casos com a fluorita. Em contato com a umidade do ar, inicia-se a formação de ácido fluorídrico na alteração do minério e, com isso, a liberação de ozônio como resultado da reação. Algumas vezes, é possível sentir um forte odor de ozônio ao se fragmentar fluoritas e, eventualmente, deve-se ter atenção ao se trabalhar em ambientes pequenos e fechados sem ventilação.

Por vezes, o tato pode facilitar a identificação, mas trata-se de uma propriedade bastante subjetiva. Como exemplos a molibdenita, a grafita, a serpentina e o talco são geralmente macios e untuosos quando tocados, e alguns metais, como o cobre, são ásperos devido à existência de pequenas irregularidades na superfície.

O sabor também pode ser utilizado como fator distintivo em certos minerais. O mineral mais facilmente associado a um sabor é a halita (sal-gema), que apresenta um sabor salgado, mas existem outros minerais com sabores característicos. A melhor maneira de testar o sabor é molhar um dedo, colocá-lo sobre o mineral e depois levar o dedo ligeiramente à boca, já que alguns dos minerais com sabor podem ser venenosos e não convém ingerir uma quantidade elevada. Alguns dos sulfatos, halogenetos e boratos podem ser testados, apresentando os seguintes sabores:

**Halita:** salgado

**Bórax:** doce e alcalino

**Epsomita:** amargo

**Glauberita:** salgado e amargo

**Ulexita:** alcalino

**Melanterita:** doce, adstringente e metálico



Halita apresentando decomposição por absorção da umidade do ar — as arestas já estão arredondadas. A ulexita é um mineral fibroso que pode apresentar um sabor alcalino, também encontrada em ambiente desértico.



Sal grosso obtido de um salar na Argentina. A propriedade organoléptica do sabor é aproveitada pelo homem e sua presença no organismo é fundamental para a saúde.

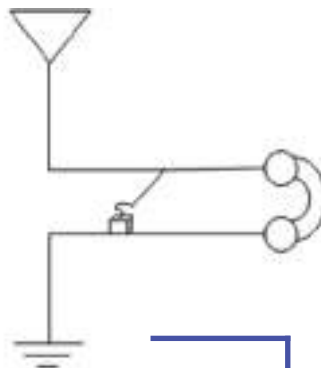
### RÁDIO DE GALENA

A galena é um sulfeto de chumbo (PbS), sendo o minério mais importante na produção do chumbo metálico. Há muito tempo o chumbo vem sendo utilizado pela humanidade, por ser abundante, maleável e resistente à corrosão, porém possui nível de toxidez alto, sendo considerado um metal pesado e poluidor ambiental.

Alguns fatos interessantes envolveram a utilização do chumbo no passado, quando ainda não se sabia de seu poder de envenenamento. No império romano, potes cerâmicos eram revestidos com verniz de chumbo para a armazenagem de vinho, assim, ocorria uma reação química resultando em acetato de chumbo, que é tóxico e pode ser letal quando ingerido. Até poucas décadas atrás se utilizava o chumbo para fazer encanamentos de água, tubos de pasta dental, loções para cabelo, medicamentos, tintas, entre outros. O chumbo continua sendo um metal muito utilizado em baterias, soldas e ligas metálicas, mas requer cuidados em seu manuseio.

A galena teve uma aplicação inusitada há algumas décadas que é pouco conhecida e que se baseia em propriedades mineralógicas bem específicas. Esse mineral possui uma estrutura cristalina que funciona como um diodo semiconductor em estado natural, isto é, um comportamento que deixa a corrente elétrica passar somente em um sentido e não em outro. Com um cristal de galena pode-se construir um receptor simples de rádio AM e esse foi um dos primeiros semicondutores, dispositivos muito utilizados em radiofonia. Sem energia elétrica se podia, por exemplo, saber notícias durante a Segunda Guerra Mundial em receptores improvisados por toda a Europa. Mais tarde, cristais de galena foram sendo substituídos por diodos de germânio e silício em circuitos mais evoluídos.

O rádio de galena necessita apenas de fones de ouvido de alta impedância, uma antena constituída por um fio metálico, um fio terra eficiente (como um cano metálico de água), um cristal de galena e um arame com mola chamado de “bigode de gato”. Com esse equipamento simples, é possível captar uma estação de rádio próxima e, eventualmente, podem-se inserir dispositivos para variar a frequência e escolher mais emissoras.



Esquema básico de um receptor de rádio de galena. O mineral é instalado entre a antena e o fio terra, sendo conectado a um par de fones de ouvido.



Rádio tipo galena, no qual o mineral faz o papel de um diodo. Esse equipamento foi muito utilizado a partir da Primeira Guerra Mundial, sendo que o acondicionamento em caixas de madeira permitiam a portabilidade em campo.

As propriedades mais evidentes e mais facilmente comparáveis são as mais utilizadas no reconhecimento dos minerais macroscopicamente. Raramente apenas uma característica é diagnóstica, mas, na maioria das vezes, essas propriedades e a utilização de tabelas adequadas são suficientes para uma correta identificação.

Antes de iniciar o exame é necessário ter em mente **o que** está sendo testado. Se a amostra for constituída por mais de uma espécie mineral, os testes devem ser realizados somente naquela substância que se deseja identificar ou os resultados podem ser falseados pela mistura de minerais. Superfícies alteradas ou decompostas não mostram as verdadeiras características da amostra. É importante verificar primeiramente se o mineral apresenta alguma característica particular como a presença de geminações, alterações, inclusões, impurezas, entre outras.

O exame de um mineral desconhecido pode seguir uma sequência lógica de reconhecimento das suas características, por exemplo:

- 1 – Examinar a amostra do mineral a ser identificado verificando, a princípio, duas das mais importantes propriedades visíveis, o seu formato (hábito) e sua superfície de quebra, se apresenta planos de clivagem ou fraturas.



Exemplo: mineral com hábito romboédrico, rompe-se com clivagem boa em 3 direções não ortogonais

2 – Observar a cor, o brilho e a diafaneidade, três propriedades dependentes da luz.



Exemplo: Cor – branca ou azul, Brilho – vítreo a subvítreo, Diafaneidade – translúcido a opaco.

3 – Testar sua dureza, primeiro com a unha, depois com o vidro ou canivete e a partir da ideia de dureza (baixa, média ou alta) utilizar a caixa de dureza com a escala de Mohs para uma maior precisão. Um aspecto importante ao testar a dureza é verificar se realmente o mineral está sendo riscado deixando um sulco. Muitas vezes, ao se tentar riscar um mineral mais duro com um mais macio, permanece um traço que pode confundir o resultado, muito semelhante ao giz quando passa no quadro-negro. Ainda uma possibilidade de erro pode ser a direção testada, pois alguns minerais apresentam grandes diferenças de dureza conforme a direção do cristal, por isso, convém testar em mais de uma direção. Observa-se, também, que minerais de mesma dureza se riscam mutuamente, assim, é importante inverter o processo quando um mineral risca o outro.



Exemplo: Não é riscado pela unha ( $>2,5$ ) e não risca o vidro ( $<5$ ), mas é riscado por ele. A dureza de Mohs verificada está entre 3 e 4. Uma apatita, se estiver disponível, também risca o material.



Existem disponíveis no mercado canetas para testes de dureza com valores específicos que podem facilitar a observação do resultado e permitem, muitas vezes, testes em amostras pequenas.

4 – Se a dureza do mineral estiver abaixo de 7, realizar o teste da cor do traço em placa de porcelana. Traços brancos e incolores não auxiliam muito, mas traços coloridos como azul, verde ou preto esverdeado podem ser ótimos indicadores para a identificação do mineral, principalmente em metálicos.



Exemplo: Traço branco.



5 – Estimar a densidade é um fator importante na identificação. Se houver a disponibilidade de uma balança hidrostática ou a possibilidade de estimar o peso e o volume do mineral, esse é um dado valioso para o diagnóstico. No entanto, mesmo sem equipamento, é possível se perceber empiricamente que um mineral apresenta densidade acima da média dos minerais comuns (entre 2 e 3). Em geral, os minerais escuros serão mais densos, principalmente os metálicos. Entre os claros, a barita chama a atenção, pois sua densidade fica em torno de 4,3 a 4,6. Para uma estimativa grosseira da densidade de um mineral, pode-se compará-lo a um fragmento de quartzo ou feldspato de mesmo tamanho, cujas densidades estão em torno de 2,6. É recomendável fazer o teste sempre com a mesma mão para aumentar a sensibilidade.



6 – Para minerais com dureza em torno de 3, pode-se testar a reação com HCl para identificar possíveis carbonatos. Alguns carbonatos possuem magnésio em sua composição, o qual tende a inibir a reação, dando um resultado negativo. Eventualmente, é possível raspar o mineral e fazer o teste com o pó, aumentando assim a área de reação ou utilizar ácido aquecido (menos indicado por questões de segurança). Em caso de reação positiva com o pó, trata-se de um carbonato com forte presença de magnésio, possivelmente uma dolomita.



7 – Para minerais com brilho metálico, é aconselhável verificar o magnetismo utilizando um ímã.

Exemplo: Não possui brilho metálico

8 – Em posse dos dados obtidos, buscar a identificação do mineral examinando tabelas específicas com as propriedades ou mesmo a internet, onde os minerais estejam dispostos associados às suas propriedades. Em geral, as tabelas separam grandes grupos, como os minerais com brilho metálico de um lado e os não metálicos de outro. Outras apresentam os minerais separados pela cor. O importante é a checagem de várias propriedades e não apenas uma ou duas.

Neste exemplo, o mineral que apresentou hábito romboédrico, clivagem boa em três direções, cor branca, brilho vítreo, dureza 3 e reagiu fortemente com HCl é classificado como CALCITA ( $\text{CaCO}_3$ )

Na impossibilidade de se alcançar um bom diagnóstico pelos testes físicos convencionais, existem várias técnicas analíticas que identificam com precisão a partir de outras características, incluindo a estrutura e composição química.

Uma dos métodos mais empregados na identificação de minerais em laboratórios de pesquisa é a difratometria de raios X, técnica que utiliza um equipamento gerador raios X, com feixe direcionado para uma pequena porção de amostra moída do mineral. Ao passo que a amostra gira lentamente e à medida que são encontrados planos atômicos, estes difratam os raios incidentes e o sinal é captado em um receptor. Esse sinal é interpretado por softwares e, com base em um banco de dados dos minerais conhecidos, a identificação é feita com sucesso próximo de 100%. Esse método verifica a estrutura e pode fornecer até mesmo os parâmetros de cela unitária.



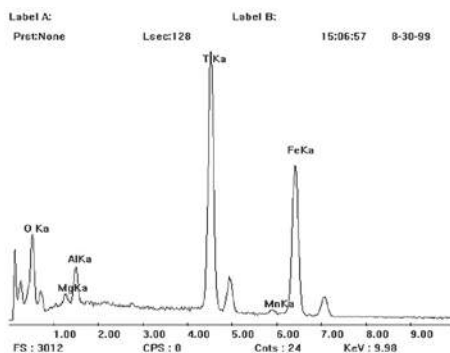
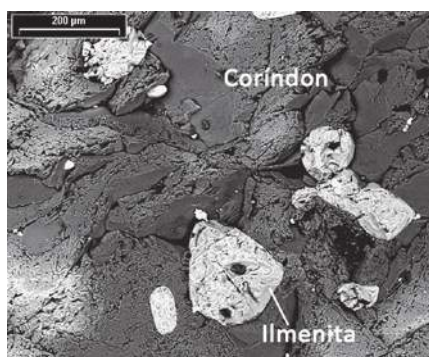
Fósseis de pterossauro com cerca de 100 milhões de anos foram encontrados recentemente no Paraná, em arenitos avermelhados. Seus ossos ocos, característicos dos animais que voam, sofreram modificações químicas e físicas ao longo do tempo e as análises em difratometria de RX permitiram identificar com segurança hidroxiapatita nos ossos, preenchidos por cristais de calcita. Análises UEPG.

Quando se trata de analisar a composição química, são vários os métodos possíveis a ser empregados, desde a redução da amostra a pó e sua solubilização para análises

com reagentes específicos, até a espectroscopia ou espectrofotometria, que, de maneira geral infere a composição a partir de espectros de luz emitidos pelo material quando excitados por uma fonte de energia. Algumas variantes da espectroscopia podem medir o espectro de luz visível, outras analisam somente no espectro infravermelho ou no ultravioleta. Cada método apresenta vantagens e desvantagens, principalmente no que se refere à sensibilidade para cada elemento químico e aos custos da análise.



Entre os equipamentos mais modernos utilizados para a identificação de minerais, o difratômetro de raios X é um dos mais eficientes, mas, geralmente, as amostras devem ser reduzidas a pó para a análise. Nesta imagem do equipamento da UEPG (Laboratório Multiusuário), um sistema emissor de raios X (A) faz com que um feixe de energia incida sobre a amostra pulverizada (B) e um captador (C) analisa os raios difratados pela substância analisada. Uma comparação com padrões preestabelecidos apontará a composição e a estrutura do mineral.



Identificação de inclusões de ilmenita em cristais de coríndon de Manhuaçu (MG), utilizando-se um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com sistema de análise de composição química pontual (EDS).



Possivelmente o mais importante degrau escalado na evolução da humanidade tenha sido o domínio sobre o uso dos metais, que aconteceu há cerca de 6.000 anos. O primeiro a ser utilizado foi o cobre (Idade do Cobre) que, mais tarde, misturado com estanho (Idade do Bronze), passou a ser empregado na produção de armas e ferramentas mais eficientes. O ferro começou a ser utilizado por volta de 1.500 a.C. (Idade do Ferro) e o uso dos metais, nesse período, foi o principal fator para o aperfeiçoamento dos instrumentos e das técnicas usadas na guerra, na caça e na agricultura. É inconcebível a existência da civilização, como entendemos hoje, sem o uso (cada vez mais intenso) dos metais, que são obtidos do subsolo em seu estado puro (raramente) ou formando minerais em estruturas mais complexas.

Metais são elementos químicos que se distinguem por suas propriedades de ionização e de ligação química, assim como por suas características especiais, entre elas estabilidade química, boa condutibilidade térmica e elétrica, maleabilidade e elasticidade. Quimicamente, apresentam forte afinidade para formar compostos com elementos não metálicos, como oxigênio e enxofre, por isso são raros na sua forma pura na natureza. Alguns são considerados comuns e outros são preciosos ou nobres.

Os metais são separados em **ferrosos**, ou aqueles que se associam ao ferro, e os **não ferrosos**, como alumínio, cobre, zinco, chumbo, níquel e mercúrio. Os metais **nobres** são o ouro, a prata e os metais do grupo da platina, como platina, paládio, ródio, rutênio, irídio e ósmio. O ouro e a prata são os mais conhecidos, porém a

platina é mais valorizada e são muito utilizados em joalheria, além de uma infinidade de usos na indústria moderna, principalmente em equipamentos eletrônicos.

Os minerais que apresentam metais em sua composição e despertam interesse econômico para sua utilização são chamados **minérios metálicos**, como a hematita que fornece o ferro ou a galena que fornece o chumbo. Chama-se **metalurgia** a sequência de processos para obtenção dos metais puros a partir de seus minerais ou minérios. Quimicamente, trata-se de um processo de redução, ou seja, a retirada de oxigênio e enxofre (entre outros elementos) do mineral. Exemplo: na hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) utilizam-se processos de aquecimento com o coque (carvão mineral beneficiado) e outros produtos para que o oxigênio se associe ao carbono e seja retirado do processo, restando o ferro metálico.

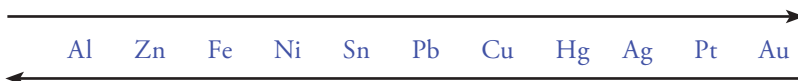
É fato conhecido que os metais sofrem corrosão com o passar do tempo, se expostos à atmosfera. Trata-se do processo inverso da redução, ou seja, a oxidação dos metais. A ferrugem do ferro é o caso mais conhecido, como um prego na chuva que reage em alguns dias. Na prática, quanto maior a facilidade de corrosão de um metal, maior a dificuldade de obtê-lo a partir do mineral, em termos de tecnologia e gasto de energia. É como se a natureza preferisse que o ferro, por exemplo, estivesse sempre oxidado, compondo algum mineral e, ao contrário, o ouro estivesse sempre sozinho.



Exemplo de oxidação sofrida por ferro quando exposto à atmosfera e à umidade.

Os diversos metais conhecidos apresentam diferentes tendências para sofrer corrosão e, portanto, diferentes facilidades de reduzi-los a partir do minério, como o ferro e o ouro. É mais fácil obter o ouro puro que o ferro puro e os metais que resistem melhor à oxidação são considerados mais nobres. A ilustração a seguir indica a ordem crescente de facilidade de os metais sofrerem redução e a sua nobreza inversamente a sua facilidade de sofrer corrosão.

**Facilidade de sofrer redução e nobreza**



**Facilidade de oxidação ou corrosão**

O Brasil é um grande produtor de minérios metálicos e estes estão entre os principais itens exportados pelo país, responsáveis por trazer divisas e fortalecer o desenvolvimento econômico. Entre os principais minérios metálicos do país estão ferro, manganês, ouro, alumínio, estanho, nióbio, níquel e tungstênio.

Para a obtenção dos principais metais utilizados pelo homem, são vários os minerais aproveitáveis conforme indica a tabela abaixo, sendo a tecnologia e o custo os maiores fatores limitantes, mas que se modificam com o tempo.

| METAL      | MINERAL ou MINÉRIO  | FÓRMULA QUÍMICA                                                                           |
|------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ouro       | Ouro nativo         | Au                                                                                        |
| Platina    | Platina nativa      | Pt                                                                                        |
| Mercúrio   | Mercúrio líquido    | Hg                                                                                        |
|            | Cinábrio            | HgS                                                                                       |
| Prata      | Prata nativa        | Ag                                                                                        |
|            | Argentita           | Ag <sub>2</sub> S                                                                         |
| Cobre      | Calcosita           | Cu <sub>2</sub> S                                                                         |
|            | Calcopirita         | CuS.FeS                                                                                   |
|            | Cuprita             | Cu <sub>2</sub> O                                                                         |
|            | Bornita             | Cu <sub>3</sub> FeS <sub>4</sub>                                                          |
|            | Malaquita           | CuCO <sub>3</sub> .Cu(OH) <sub>2</sub>                                                    |
|            | Atacamita           | Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub>                                                       |
|            | Crisocola           | CuSiO <sub>3</sub> . nH <sub>2</sub> O                                                    |
| Zinco      | Esfalerita (blenda) | ZnS                                                                                       |
| Níquel     | Pentlandita         | FeS.NiS                                                                                   |
|            | Garnierita          | (Ni, Mg) <sub>6</sub> (OH) <sub>6</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> .H <sub>2</sub> O |
| Chumbo     | Galena              | PbS                                                                                       |
| Estanho    | Cassiterita         | SnO <sub>2</sub>                                                                          |
| Manganês   | Pirolusita          | MnO <sub>2</sub>                                                                          |
| Cromo      | Cromita             | FeO.Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                        |
| Ferro      | Hematita            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                            |
|            | Magnetita           | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>                                                            |
|            | Siderita            | FeCO <sub>3</sub>                                                                         |
|            | Goethita            | FeO(OH)                                                                                   |
|            | Limonita            | 2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O                                        |
| Alumínio   | Bauxita             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                            |
| Bário      | Barita              | BaSO <sub>4</sub>                                                                         |
| Tungstênio | scheelita           | CaWO <sub>4</sub>                                                                         |
|            | volframita          | (Fe,Mn)WO <sub>4</sub>                                                                    |
| Titânio    | ilmenita            | FeTiO <sub>3</sub>                                                                        |
| Molibdênio | molibdenita         | MoS <sub>2</sub>                                                                          |



A bauxita é uma rocha formada em solos tropicais que é utilizada como minério para obtenção do alumínio. A maioria das latas e embalagens metálicas modernas utiliza o alumínio como matéria-prima e que é facilmente reciclável.



A hematita é o principal mineral utilizado na obtenção do ferro no Brasil. Procedência: Minas Gerais.



A pirolusita, o psilomelano e o criptomelano são os principais minerais utilizados na obtenção do manganês no Brasil. Procedência: Minas Gerais.



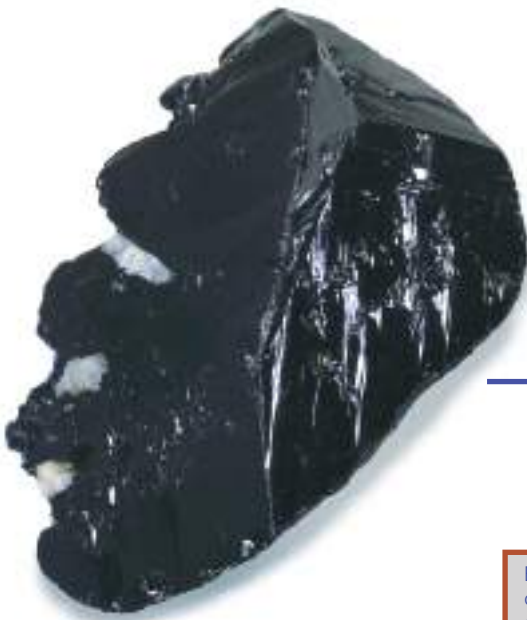
Entre os vários minerais utilizados na obtenção do cobre encontra-se a atacamita. Frequentemente os minerais de cobre ocorrem associados, estando presentes mais de um, como nesta amostra com atacamita, malaquita e azurita. Procedência: Chile.



Exemplar de bornita, utilizada como minério de cobre. Procedência: EUA.



Exemplar de prata nativa, de onde é obtido o metal prata. Procedência: Bolívia.



Exemplar de cassiterita, de onde é obtido o metal estanho. Procedência: Amazonas.



A pentlandita é uma das principais fontes de níquel. Procedência: Goiás.



O zinco pode ser obtido a partir do processamento da esfalerita (ou blenda) e da smithsonita (ou calamina).  
Procedência: Minas Gerais.



Molibdenita, de onde é obtido o molibdênio. Procedência: Bahia.



Exemplares de vanadinita, de onde é obtido o vanádio. Procedência: Marrocos.



Latas para conservar alimentos são feitas de ferro ou aço, que provêm do processamento da hematita. Internamente, são revestidas eletroliticamente por estanho, proveniente da cassiterita. Esse processo de preservação de alimentos teve início com Napoleão (1808), na França, e, logo depois, na Inglaterra, utilizando-se metais, revolucionando o abastecimento humano. Curiosamente, o abridor de latas surgiu somente em 1815 e até então eram necessários martelo e talhadeira para acessar o alimento.



Os minerais preciosos são estudados em uma parte da mineralogia denominada de **gemologia**, a qual pode ser definida como a ciência que se dedica às pedras preciosas ou gemas, incluindo sua descrição, identificação, classificação e avaliação. É importante observar que o termo “**semipreciosas**” foi abolido por não haver uma linha nítida de separação entre estas pedras e as ditas “**preciosas**”. Atualmente, tem sido dada preferência ao termo **gema**, já que todas as pedras são preciosas em maior ou menor grau. As gemas têm, desde sempre, fascinado os seres humanos pelo seu brilho, suas cores, dureza ou durabilidade e apresentam valor especial, tanto nos sentidos materiais, decorativos ou artísticos, como também nos seus conteúdos simbólicos, religiosos, terapêuticos e culturais. Muitas são as civilizações de todas as épocas e lugares que viam nas pedras preciosas, mais do que seu valor material, um simbolismo de equilíbrio entre o corpo e a alma, ou entre o homem e o sagrado.

O que é uma gema? É todo material usado como adorno pessoal ou ornamentação de ambientes, possuindo características de beleza, durabilidade e raridade. As gemas podem ser naturais como minerais, substâncias amorfas, vidros e rochas ou também substâncias orgânicas como pérolas, coral e âmbar. Há ainda as gemas sintéticas, que são produzidas em laboratórios como esmeralda sintética, diamante sintético e outros. Também são produzidos e encontrados no comércio materiais que não possuem correspondente na natureza, como a zircônia cúbica  $[\text{ZrO}_2]$ , o YAG  $[\text{Al}_3(\text{YO}_4)_3]$ , e o GGG  $[\text{Gd}_3(\text{GaO}_3)_3]$ , que podem imitar gemas naturais conhecidas.



A zircônia cúbica é um material artificial, fabricado desde 1976 como imitação do diamante. Não obstante sua densidade ser bem maior, é um dos melhores simulantes já fabricados, com brilho e outras propriedades próximas à do diamante. O óxido de zircônio não se cristaliza no sistema cúbico na natureza.

Algumas gemas podem apresentar efeitos ópticos especiais, como acatassolamento (do francês *chatoyance* – reflexos que lembram o olho de gato), asterismo (reflexos em forma de estrela), opalescência ou aspecto típico da opala, labradorescência ou reflexos em tons coloridos, entre outros.

A unidade de peso utilizada para gemas lapidadas chama-se **QUILATE** (ct) e tem como origem a palavra “keration” do grego, que é a fruta da “carob”, uma árvore da região do Mediterrâneo, tendo sido adotado como medida de peso em 1907. Um quilate corresponde a 1/5 g ou 200 mg e, para gemas pequenas, especialmente diamantes, subdivide-se 1 ct em 100 pontos. No caso de gemas em estado bruto, normalmente utiliza-se como padrão o grama ou o quilograma. Uma possível confusão acontece com o quilate (K) como unidade para ouro. São unidades bem diferentes e, no caso do ouro, refere-se à quantidade do metal contido na liga utilizada na joalheria. O ouro 24 K representa 100% de ouro, enquanto o ouro 18 K significa 75% de ouro, ou seja, 18 partes de ouro e 6 partes de outros metais.

Na identificação de gemas lapidadas, são utilizadas somente técnicas específicas que não danifiquem a pedra, chamados **testes não destrutivos**, principalmente densidade e propriedades ligadas à luz como cor, caráter óptico e índices de refração. Para exames rotineiros, são utilizados instrumentos como lupa, pinça, balança, paquímetro, dicróscópio, polariscópio, refratômetro e o microscópio gemológico.



Este refratômetro digital possibilita a obtenção rápida do índice de refração de gemas que possuam ao menos uma superfície polida. Um feixe de laser é emitido para a leitura e a análise não prejudica a amostra, fator importante quando se trata de pedras preciosas.

Na classificação e valoração das gemas, são utilizados critérios muitas vezes subjetivos como raridade, procedência, tradição, moda e até confiança, e os fatores que definem o seu preço final são principalmente cor, limpidez, lapidação e peso. A cor equivale a 50% do valor da gema e subentende matiz, tom e saturação; a limpidez corresponde a 30% do valor e refere-se à presença ou não de inclusões; na lapidação são analisadas as proporções, simetria e acabamento final do talhe influenciando em até 20% do valor. Esses dados compõem o preço da gema por quilate, que é proporcional ao seu tamanho e o valor final é obtido de tabelas específicas.



No estudo de materiais gemológicos são privilegiados métodos não destrutivos da amostra para a sua identificação. Microscópios especiais permitem a observação da gema mergulhada em líquido com índice de refração semelhante, o que facilita a visualização de suas inclusões. O conjunto de inclusões é como uma “assinatura” na identificação de gemas naturais. Laboratório de Gemologia da UFPR.

Gemas são os materiais mais valorizados pelo homem e representam uma impressionante relação de custo por volume. Enquanto outros minérios, como o ferro, são vendidos por dezenas ou centenas de dólares por tonelada, as gemas alcançam milhares de dólares, e até mesmo mais de um milhão por um único quilate. Um raro diamante vermelho encontrado em Minas Gerais em 1987, com menos de 1 quilate, foi vendido por US\$ 880.000,00, o que equivale dizer que esse material custou cerca de 5 milhões de dólares por grama!

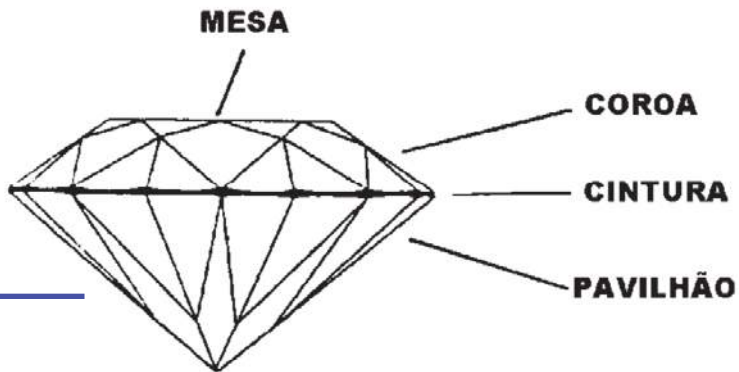
#### HISTÓRIA DA LAPIDAÇÃO DO DIAMANTE

A lapidação é o processo pelo qual uma pedra bruta é talhada segundo um modelo geométrico previamente escolhido com a finalidade de ressaltar seus atributos como transparência, cor, brilho, e efeitos ópticos especiais, entre outros. A escolha do talhe leva em conta uma série de fatores, os quais incluem a ocultação e/ou eliminação dos defeitos existentes e o melhor aproveitamento possível da pedra bruta. O lapidário, além de experiente, em geral, é considerado também um artista, uma vez que a lapidação de grande parte dos diamantes, especialmente os maiores e mais caros, ainda é um processo artesanal.

O diamante, por ser o mais duro dos materiais conhecidos, não era lapidado até o século XVII, quando se descobriu que ele poderia ser polido com o próprio pó. A partir dessa descoberta, atribuída ao belga Lodewick Van Berckem, o facetamento de diamantes sofreu uma grande evolução e percebeu-se que as formas aplicadas influenciavam a qualidade final, em termos de brilho e beleza.

Em 1919, o famoso lapidário Marcel Tolkowski criou a forma de talhe conhecida como brilhante. Esse formato fez tamanho sucesso que muitas vezes a expressão “brilhante” é confundida como sinônimo de diamante. Baseado em cálculos acurados, o corte do diamante bruto é feito com extrema precisão, considerando o índice de refração do mineral e os ângulos exatos de inclinação das facetas (ângulo-limite), de modo que a luz deve refletir nas superfícies internas ao invés de atravessá-las. O resultado é que a luz penetra no diamante apenas pela sua parte superior (coroa) e caminha pelo cristal se difratando e saindo também pela parte superior, o que resulta no jogo de cores da luz difratada (conhecido como “fogo do diamante”).

Matematicamente, essa forma de lapidação redonda, com 57 ou 58 facetas, feita nas proporções corretas, oferece o máximo de qualidade estética, harmonia, simetria, brilho e dispersão e é a mais utilizada no mundo até hoje. Num cristal octaédrico típico dos diamantes, o aproveitamento é sempre calculado com base nessa lapidação e a perda que ocorre no processo situa-se em torno de 50%. Significa que um diamante bruto com dois quilates deve resultar em um ou mais brilhantes que somados alcançarão um quilate.



Perfil de um diamante lapidado no formato "brilhante", com 57 facetas e a maior delas chama-se "mesa". A parte superior da gema é denominada coroa e a inferior é chamada pavilhão, sendo o limite entre elas uma estreita linha conhecida como cintura ou rondiz.



Réplica em resina do diamante Presidente Vargas, com 726 ct, o maior encontrado no Brasil no início dos anos 1940. Essa réplica encontra-se em exposição no museu de Geociências da USP.



Granadas tipo almandina em sua rocha encaixante e exemplares de espessartita lapidados.



Rodocrosita da Argentina polida em formato cabochão e ametista facetada montada em joia de prata.



Quartzo com vários tipos de inclusões (agulhas de rutilo, óxidos de ferro e de manganês) lapidados em formatos diversos.



O topázio imperial é uma pedra preciosa raríssima, só encontrada na região de Ouro Preto, em Minas Gerais. Quando apresenta transparência e poucas inclusões, permite a lapidação, resultando em gemas sofisticadas e procuradas por joalherias de todo o mundo.

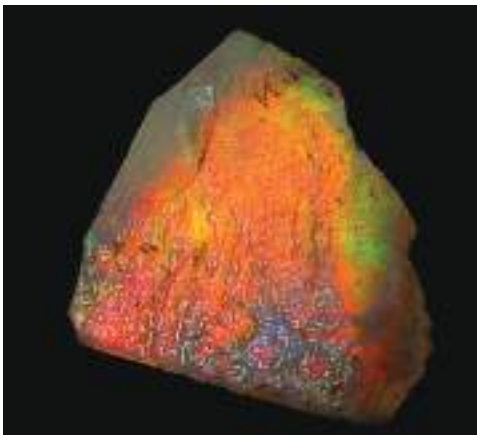


Esmeraldas brasileiras são produzidas em quantidade e qualidade nos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás, sendo reconhecidas no mercado internacional.

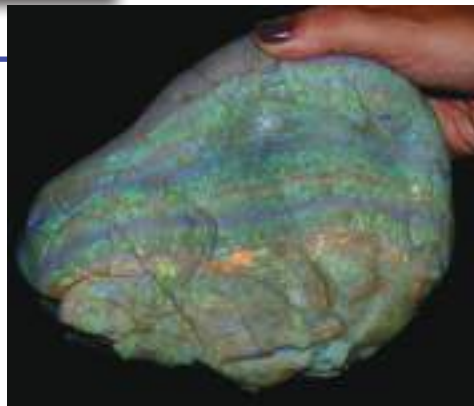




Ágata e calcedônia são as variedades criptocristalinas de quartzo mais apreciadas no aproveitamento gemológico. As maiores jazidas do mundo desses materiais encontram-se na região Sul do Brasil.



O Brasil é o segundo maior produtor de opala nobre, variedade gemológica com intenso jogo de cores, encontrada em Pedro II, no Piauí, como este raro exemplar de 2.720 gramas.

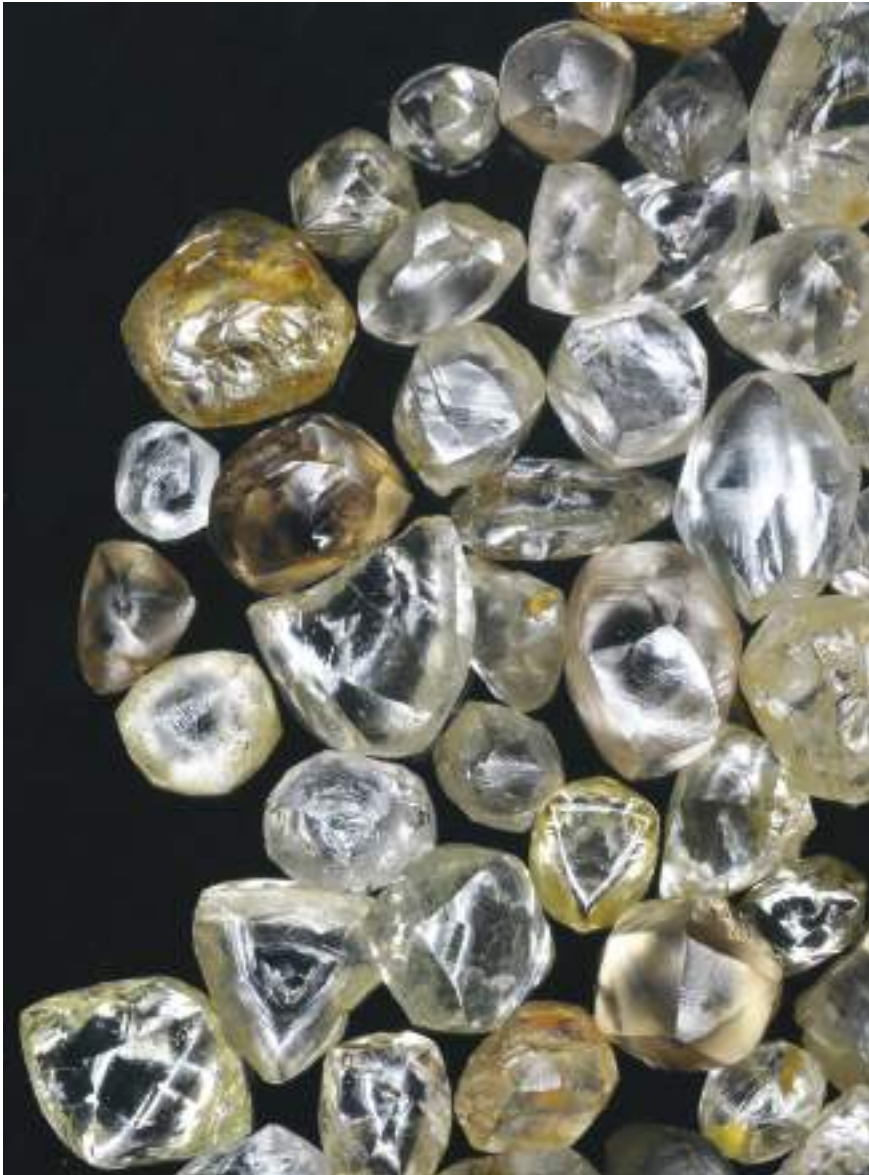




Em Santa Catarina, são encontrados cristais de coríndon, nas variedades rubi e safiras rosa e preta. Alguns raros exemplares, quando lapidados adequadamente, podem apresentar um efeito óptico na forma de uma estrela de seis pontas (asterismo) o que aumenta muito o valor do material.

**Principais gemas com suas características**

| GEMA (GRUPO)                | FÓRMULA QUÍMICA                                                                       | HÁBITO MAIS COMUM                      | CORES            | VARIEDADE                    |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------|------------------------------|
| DIAMANTE                    | C                                                                                     | OCTAEDRO                               | incolor          | DIAMANTE                     |
|                             |                                                                                       |                                        | colorido         | FANTASIA                     |
| CORÍNDON                    | $Al_2O_3$                                                                             | BARRILETE                              | vermelho         | RUBI                         |
|                             |                                                                                       |                                        | outras cores     | SAFIRA                       |
| BERILO                      | $Be_3Al_2(SiO_3)_6$                                                                   | PRISMA HEXAGONAL                       | verde            | ESMERALDA                    |
|                             |                                                                                       |                                        | azul             | ÁGUA MARINHA                 |
|                             |                                                                                       |                                        | amarela          | HELIODORO                    |
|                             |                                                                                       |                                        | rósea            | MORGANITA                    |
| GRUPO DA TURMALINA          | silicato complexo de B e Al                                                           | PRISMA DITRIGONAL                      | incolor          | GOSHENITA                    |
|                             |                                                                                       |                                        | verde            | VERDELITA                    |
|                             |                                                                                       |                                        | vermelha rósea   | RUBELITA                     |
|                             |                                                                                       |                                        | azul             | INDICOLITA                   |
|                             |                                                                                       |                                        | incolor          | ACROÍTA                      |
| TOPÁZIO                     | $Al_2[(F,OH)_2SiO_4]$                                                                 | PRISMA RÔMBICO                         | preta            | SCHORLITA                    |
|                             |                                                                                       |                                        | verde e vermelha | MELANCIA                     |
|                             |                                                                                       |                                        | incolor          | TOPÁZIO                      |
|                             |                                                                                       |                                        | azul             | TOPÁZIO AZUL                 |
| GRUPO DA GRANADA            | $A_3B_2(SiO_4)_3$                                                                     | DODECAEDRO                             | amarelo          | TOPÁZIO IMPERIAL             |
|                             |                                                                                       |                                        | vermelho vivo    | PIROPO                       |
|                             |                                                                                       |                                        | marrom vermelho  | GROSSULÁRIA                  |
|                             |                                                                                       |                                        | marrom vermelho  | ALMANDINA                    |
| QUARTZO CRISTALINO          | $SiO_2$                                                                               | PRISMA HEXAGONAL DE ASPECTO PIRAMIDADO | verde            | DEMANTOIDE                   |
|                             |                                                                                       |                                        | incolor          | QUARTZO                      |
|                             |                                                                                       |                                        | roxa             | AMETISTA                     |
|                             |                                                                                       |                                        | amarela          | CITRINO                      |
|                             |                                                                                       |                                        | rósea            | QUARTZO ROSA                 |
| CALCEDÔNIAS                 | $SiO_2$<br>sílica microcristalina                                                     | MACIÇO                                 | com inclusões    | QUARTZO COM INCLUSÕES        |
|                             |                                                                                       |                                        | cinza            | ÁGATA                        |
|                             |                                                                                       |                                        | várias cores     | JASPE                        |
|                             |                                                                                       |                                        | verde            | CRISOPRÁSIO                  |
|                             |                                                                                       |                                        | preta            | ÔNIX                         |
| GEMAS TRANSLÚCIDAS E OPACAS | $CuCO_3$<br>$MnCO_3$<br>rocha com lazurita<br>fosfato de Al e Cu<br>$Na_4(SiAlO_4)Cl$ | MACIÇO                                 | vermelha         | CORNALINA                    |
|                             |                                                                                       |                                        | várias cores     | OPALA                        |
|                             |                                                                                       |                                        | verde            | MALAQUITA                    |
|                             |                                                                                       |                                        | rósea            | RODOCROSITA                  |
|                             |                                                                                       |                                        | azul             | LÁPIS LÁZULI                 |
| GEMAS ORGÂNICAS             |                                                                                       |                                        | azul             | TURQUESA                     |
|                             |                                                                                       |                                        | azul             | SODALITA                     |
|                             |                                                                                       |                                        |                  | PÉROLA                       |
|                             |                                                                                       |                                        |                  | MARFIM                       |
|                             |                                                                                       |                                        |                  | CORAL                        |
|                             |                                                                                       |                                        |                  | ÂMBAR                        |
|                             |                                                                                       |                                        |                  | CONCHAS                      |
|                             |                                                                                       |                                        |                  | AZEVICHE                     |
|                             |                                                                                       |                                        |                  | MADEIRAS                     |
|                             |                                                                                       |                                        |                  | SEMENTES                     |
|                             |                                                                                       |                                        |                  | OSSOS E CARAPAÇAS DE ANIMAIS |



Diamantes encontrados na região de Tibagi, no Paraná, provenientes da antiga Lavra dos Ingleses. Esta região produziu exemplares de ótima qualidade desde 1754, sendo a segunda descoberta no Brasil depois de Diamantina, em Minas Gerais. Os cristais apresentam em média cerca de 0,2 quilates.

As gemas são, por definição, materiais extremamente raros na crosta terrestre, o que as torna, na maior parte das vezes, preciosas e caras. São anomalias, exceções da natureza, mas que refletem com clareza a enorme complexidade do Sistema Terra. As gemas estão ligadas à história do Brasil e ao contexto de evolução socioeconômica de maneira muito estreita, sendo esse fato desconhecido pela maioria das pessoas.

As Entradas e Bandeiras – movimentos de pessoas que buscavam riquezas no interior de uma América portuguesa ainda desconhecida e selvagem – ampliaram as fronteiras e definiram o enorme território brasileiro graças aos sonhos com Eldorados, Serras Resplandescentes e Montanhas de Esmeraldas, que eram os principais motivadores dos bandeirantes nos séculos XVI e XVII.

Com a descoberta de diamantes em Diamantina (MG), em 1714, o Brasil – então colônia de Portugal – passou a ser o principal fornecedor dessas gemas no mundo. Até 1867, quando se descobriram as minas africanas, praticamente todas as joias com diamantes das cortes europeias carregavam um valioso pedaço da geodiversidade desse território no Novo Mundo. Por cerca de 150 anos a imagem do Brasil foi associada a uma “terra de riquezas inesgotáveis”, graças à forte produção de ouro e diamantes em Minas Gerais nessa época.

Hoje, o Brasil está entre as maiores Províncias Gemológicas do mundo, em função de um substrato geológico verdadeiramente especial. Estima-se que a produção brasileira é responsável por um terço do suprimento mundial, segundo o

Instituto Brasileiro de Gemas e Metais (IBGM). Os principais museus de História Natural do mundo possuem expressivos acervos provenientes do Brasil nos últimos 400 anos, o que, no mínimo, indica uma geodiversidade excepcional.

Os derrames basálticos que aconteceram quando a América do Sul se separou da África são responsáveis pela maior produção no mundo de ametista, citrino e ágata, provenientes dos Estados do Sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná). Das regiões Sudeste e Nordeste, principalmente a parte oriental de Minas Gerais, Paraíba e Rio Grande do Norte, vem sendo extraída, desde o final da Segunda Guerra, uma incrível variedade de minerais raros associados aos pegmatitos (rochas de associação granítica), entre elas: berilos das variedades água-marinha, esmeralda, heliodoro, morganita e outras; turmalinas de todas as cores e tamanhos; quartzos coloridos, incolores e com inclusões fascinantes; topázios em grandes cristais e em grande quantidade. Em ambientes sedimentares, metamórficos e aluvionares a quantidade aumenta substancialmente e mostra uma difusão na localização geográfica das ocorrências por todo o território nacional. O Brasil é também produtor de gemas muito raras como alexandrita, turmalina paraíba, euclásio e várias outras. É o único produtor mundial de topázio imperial, o maior em ágata, ametista e citrino, o segundo maior em esmeraldas e opala nobre e, ainda, produz grandes quantidades de outros berilos, turmalinas, crisoberilo, kunzita, hiddenita, brasilianita etc.

Esse cenário indica que as pedras preciosas no Brasil são um dos possíveis indicadores de geodiversidade, uma espécie de “ponta do iceberg”, que deixa a imaginar o restante. O estudo e o entendimento científico desses materiais podem trazer, certamente, grandes avanços para a ampla compreensão da geodiversidade e o desenvolvimento de uma consciência ambiental que considere mais os aspectos abióticos na busca de um equilíbrio.



Amostra de um típico pegmatito. Essa rocha é de composição semelhante ao granito, com feldspatos, quartzo e micas, mas com uma textura muito grosseira — os cristais crescem em tamanhos de vários centímetros e até mesmo metros. Nessas rochas é comum a presença de minerais raros, como a turmalina preta visível na imagem, ou berilos, topázios e outros. Proveniência: Solonópole, Ceará.



Os pegmatitos são geralmente intrusões graníticas que se encaixam em fraturas e zonas de fraqueza de outras rochas. Ricos em elementos raros, permitem a cristalização de grandes cristais de vários minerais. Mina dos Tonhos em Solonópole, Ceará.



Ametistas e citrinos são obtidos dos cristais maiores retirados manualmente de dentro do basalto. Bolhas de gás que ficaram presas na lava em resfriamento permitiram a cristalização de quartzo violeta dentro desses "ocos" chamados geodos. Esse quartzo, quando aquecido a cerca de  $380^{\circ}\text{C}$ , muda para a cor amarela. Mina e amostras de Chopinzinho, Paraná.



A mundialmente conhecida Turmalina Paraíba é uma das gemas mais caras do mundo e até há pouco tempo só era encontrada no nordeste brasileiro. Seus tons de azul "neon" são causados por uma rara presença de cobre na cristalização da turmalina. Amostras de São José da Batalha, PB.



O Brasil está entre os maiores produtores de esmeraldas do mundo, juntamente com a Colômbia. Lotes de cristais como estes, produzido em Nova Era (MG) podem alcançar até 40 mil dólares por grama e revelam uma condição geológica muito especial para a sua formação.

Alquimia – antiga prática de experimentação que envolvia química, física, astrologia, misticismo e religião. Os principais objetivos eram a transmutação de outros metais em ouro, a obtenção de um elixir da longa vida que curaria qualquer mal, a criação da vida humana artificialmente e a fabricação da pedra filosofal.

Balança de Jolly – instrumento inventado pelo físico alemão Philipp von Jolly, no século XIX, utilizado para medir a densidade relativa de minerais. Funciona com base em uma mola, posicionada na frente de uma escala graduada. Pendura-se, na mola, o mineral cuja densidade relativa se quer determinar e o estiramento da mola será proporcional ao peso do mineral, sendo feita uma medida no ar e outra na água.

Balança hidrostática – instrumento inventado por Galileu que considera o peso e o empuxo exercido pela água em corpos nela imersos para definir a densidade dos sólidos.

Cela unitária – unidade mínima de um cristal que apresenta o arranjo espacial fundamental e que reflete as características do cristal.

Centro de cor – defeitos estruturais em minerais que resultam no desvio da luz, consequentemente causando ou modificando a cor resultante.

Ciência dos materiais – estuda as propriedades, estruturas, performances, formas de caracterização e processamento dos mais variados materiais naturais ou sintéticos.

Cristal – substância sólida que apresenta um arranjo ordenado de suas partículas, conforme os sete sistemas cristalinos conhecidos.

Cromóforo – elemento químico dos metais de transição responsável pela causa de cor nas substâncias.

Dicroscópio – instrumento utilizado em gemologia para avaliar o pleocroísmo dos minerais.

Dodecaedro – sólido regular que apresenta doze faces.

Evaporito – rocha de origem sedimentar que se forma pela evaporação da água e consequente cristalização dos sais contidos nessa água.

Garimpeiro – indivíduo que busca os minérios, geralmente preciosos, de maneira empírica e individual, sem uso de equipamentos e maquinários pesados.

Gema – qualquer substância de origem natural (mineral, vegetal, animal) ou artificial que, por suas qualidades estéticas, raridade ou valor, pode ser usada como ornamento pessoal.

Geminação – intercrescimento de dois ou mais espécimes de um mesmo mineral, segundo certas leis cristalográficas.

Geocronologia – conjunto de métodos utilizados para determinar a idade de rochas, minerais, sedimentos e fósseis, com frequência baseado em certos isótopos.

Índice de refração – é uma relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz quando atravessa um determinado meio. É uma assinatura característica de cada substância e pode ser utilizado para sua identificação.

Litificação – processo de consolidação de sedimentos em rocha sedimentar.

Magma – substância em estado de fusão (frequentemente acima de 1.000°C) que, ao se resfriar, forma rocha ígnea.

Metalurgia – processo de produção de metais a partir de minerais que contenham os elementos metálicos, pelo processo químico chamado redução, separando-os do oxigênio.

Metamictização – processo de destruição da estrutura cristalina em minerais devido à radioatividade de certos elementos contidos em sua composição.

Mineral – substância sólida, homogênea, cristalina e inorgânica, cuja composição química é definida e, ainda, formada por processos naturais (geológicos).

Mineraloide – substância natural, sólida, amorfa, isto é, não cristalina e que ocorre frequentemente com uma composição química mais ou menos constante.

Minério – rocha ou mineral que apresenta interesse econômico e de onde se pode extrair os metais ou substâncias de interesse para o uso do homem.

Octaedro – sólido regular que apresenta oito faces. Sólido regular que apresenta oito faces com formato de triângulo equilátero.

Pedra filosofal – substância buscada pela alquimia por meio da “Grande Obra”. Suas propriedades resumem todo o objetivo da alquimia e com essa pedra poderia se transmutar qualquer substância e se obter a imortalidade.

Picnômetro – frasco de vidro construído de forma que o seu volume seja invariável e conhecido. É utilizado para determinar densidade de sólidos ou líquidos.

Polariscópio – instrumento utilizado em gemologia que permite verificar se uma substância sólida e transparente é isotropa, anisótropa ou microcristalina.

Refratômetro – instrumento utilizado em gemologia para a verificação do índice de refração da gema por luz refletida e um líquido de índice conhecido. O índice de refração é praticamente uma assinatura de cada material, sendo fundamental na identificação de pedras preciosas.

Rocha – conjunto de minerais consolidados por processo natural ao longo do tempo. Pode ser ígnea, quando formada pelo resfriamento do magma, sedimentar quando formada pela consolidação de sedimentos provenientes de rochas preexistentes ou metamórfica, quando sofre transformações por aumento de pressão e/ou temperatura.

Variedade gemológica – variedade de um mesmo mineral que apresenta características estéticas diferentes, como a cor, presença de inclusões ou algum efeito óptico especial. Exemplo: coríndon vermelho é a variedade gemológica “rubí” e o mesmo mineral azul é a variedade “safira”.

Vidro – substância natural ou artificial sem estrutura cristalina, ou seja, amorfa, com composição similar a do quartzo.

Tabela de minerais mais comuns com suas características principais

|                     | NOME        | COMPOSIÇÃO QUÍMICA                                                                                                        | CORES                                      | BRILHO                        | D     | CLIVAGEM/<br>FRATURA                            | HÁBITO                                  | TRAÇO                      | OBSERVAÇÕES                                                |
|---------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------|
| FELDSPATOS          | quartzo     | $\text{SiO}_2$                                                                                                            | incolor, leitoso, violeta, amarelo...      | graxo, vítreo                 | 7     | sem clivagem, fratura conchoidal ou irregular   | prisma hexagonal, piramidado, irregular | sem                        | Sem alteração                                              |
|                     | ortoclásio  | $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$                                                                                                | branco, cinza, amarelado, verde, marrom... | vítreo, perláceo, porcelânico | 6     | clivagem boa em duas direções a $90^\circ$      | prismático, tabular                     | sem                        | Pode apresentar geminação Carlsbad e alteração para caulim |
|                     | microclínio | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$<br>$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$                                                       | incolor, branco...                         | vítreo                        | 6     | duas clivagens a $90^\circ$ , fratura irregular | tabular, prismático, em ripas           | sem                        | Pode apresentar geminação albita, e alteração              |
| MICAS               | biotita     | $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$                                                      | preta                                      | vítreo                        | 2,5   | excelente 1 direção                             | laminar, micáceo                        | sem                        | Mica preta                                                 |
|                     | moscovita   | $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$                                                                   | branca                                     | vítreo                        | 2,5   | excelente 1 direção                             | laminar, micáceo                        | sem                        | Mica branca                                                |
| SILICATOS DE FE, MG | piroxênios  | Augita<br>$\text{Ca}(\text{Mg, Fe, Al})_2(\text{Si, Al})_2\text{O}_6$<br>Diopsídio $(\text{Ca, Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$ | verde escuro a preto...                    | fosco                         | 5 a 6 | imperfeita 2 direções a $90^\circ$              | prismático (cristais curtos)            | verde acinzentado          | É comum a alteração                                        |
|                     | anfíbolos   | Hornblenda<br>$\text{Ca}_2\text{Mg}_4(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$                                           | marron, verde, preto...                    | acetinado a vítreo            | 5 a 6 | perfeita 2 direções a $120^\circ$               | prismático (cristais longos)            | verde acinzentado a marrom | É comum a alteração                                        |
| CARBONATOS          | calcita     | $\text{CaCO}_3$                                                                                                           | branco, várias                             | vítreo, perláceo, fosco       | 3     | excelente em três direções                      | romboédrico e outros                    | branco                     | reage com HCl a frio                                       |
|                     | dolomita    | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$                                                                                              | variadas                                   | vítreo                        | 3 a 4 | excelente em três direções                      | romboédrico e outros                    | branco                     | reage com HCl a quente                                     |
| ÓXIDOS              | hematita    | $\text{Fe}_2\text{O}_3$                                                                                                   | cinza a preta                              | metálico                      | 5 a 6 | boa                                             | granular ou compacta                    | vermelho                   | Pode apresentar oxidações                                  |
|                     | magnetita   | $\text{Fe}_3\text{O}_4$                                                                                                   | preta                                      | metálico                      | 6     | sem                                             | granular ou octaedros                   | preto                      | Apresenta forte magnetismo                                 |
| SULFETOS            | pirita      | $\text{FeS}_2$                                                                                                            | amarelo dourado                            | metálico                      | 6     | fratura irregular                               | cubeos a granular                       | preto                      | Pode apresentar oxidações                                  |
|                     | galena      | $\text{PbS}$                                                                                                              | cinza                                      | metálico                      | 2,5   | boa em 3 direções                               | cúbica                                  | cinza a preto              | Com HCl exala forte odor de enxofre                        |

**Tabela de minerais considerados preciosos com suas características principais**

| NOME    | COMPOSIÇÃO QUÍMICA | CORES           | BRILHO   | DUREZA  | DENSIDADE | HÁBITO                                                    | TRAÇO           | OBSERVAÇÕES                                  |
|---------|--------------------|-----------------|----------|---------|-----------|-----------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------|
| OURO    | Au                 | amarelo dourado | metálico | 2,5 a 3 | 19,3      | cúbico, octaédrico ou em escamas                          | amarelo dourado | maleável e dúctil                            |
| PRATA   | Ag                 | cinza prateada  | metálico | 2,5 a 3 | 10,5      | cúbico, octaédrico, dodecaédrico, filiforme ou dendrítico | branco prata    | maleável e dúctil<br>oxida-se com facilidade |
| PLATINA | Pt                 | cinza do aço    | metálico | 4 a 4,5 | 21        | cúbico ou irregular                                       | cinza brilhante | maleável e dúctil<br>funde a 1.773,5 °C      |
| PALÁDIO | Pd                 | cinza do aço    | metálico | 4,5 a 5 | 11,40     | granular                                                  | cinza brilhante | séctil                                       |

**Não metálicos**

|              |                                                                  |                                 |            |         |      |                                  |     |                                                    |
|--------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|---------|------|----------------------------------|-----|----------------------------------------------------|
| DIAMANTE     | C                                                                | incolor, azul, amarelo e outras | adamantino | 10      | 3,50 | octaédrico, cúbico, dodecaédrico | sem | dureza e brilho excepcionais                       |
| RUBI         | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                   | vermelha                        | vítreo     | 9       | 3,90 | barrilete ou bipiramidal         | sem | dureza alta e frequente macla polissintética       |
| SAFIRA       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                   | azul e outras cores             | vítreo     | 9       | 3,90 | barrilete ou bipiramidal         | sem | dureza alta e frequente macla polissintética       |
| ESMERALDA    | Be <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> | verde                           | vítreo     | 7,5 a 8 | 2,70 | prisma hexagonal                 | sem | cor característica e frequentemente com inclusões  |
| ÁGUA MARINHA | Be <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> | azul                            | vítreo     | 7,5 a 8 | 2,70 | prisma hexagonal                 | sem | cor característica e densidade                     |
| TOPÁZIO      | Al <sub>2</sub> [(F,OH) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ]          | incolor, azul, amarelo          | vítreo     | 8       | 3,50 | prisma rômbo                     | sem | cor característica e densidade                     |
| CRISOBERILO  | BeAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                                 | verde e outras cores            | vítreo     | 8,5     | 3,73 | prismático ou tabular            | sem | dureza alta e frequente macla cíclica              |
| TURMALINA    | silicato de B e Al                                               | várias cores                    | vítreo     | 7,5     | 3,00 | prisma ditrigonal                | sem | prismas com estrias e seção triangular arredondada |

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, B. W. **A identificação das gemas**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1984. 460 p.
- ANDRADA, M. F. R. Diário de uma viagem mineralógica pela Província de S. Paulo no Anno de 1805. **Revista do IHGSP**, Tomo 9, p. 527–548, 1847.
- BERRY, L. G.; MASON, W. H. **Mineralogy**. San Francisco: Freeman and Co., 1959.
- BRANCO, P. M. **Dicionário de mineralogia e gemologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608p.
- BRILHA, J. B. R. **Patrimônio geológico e geoconservação**: a conservação da natureza na vertente geológica. Viseu: Palimage Editores, 2005.
- BRUNET, R. **Le diamant**: un monde en révolution. Paris: Édition Belin, 2003. 416 p.
- BRUNN, C. W. **Cristais**: seu papel na natureza e na ciência. São Paulo: Ed. Nacional; Ed. USP, 1972. 292 p.
- BENVINDO DA LUZ, A.; LINS, F. A. F. **Rochas e minerais industriais**: usos e especificações. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. 988 p.
- BETEJHTIN, A. G. **A course of mineralogy**. Moscou: Peace Publishers, 1974.
- CANTO, E. L. **Minerais, minérios, metais**: de onde vêm? Para onde vão? São Paulo: Ed. Moderna, 1996. 128 p.
- CASTAÑEDA, C.; ADDAD J. E.; LICCARDO, A. **Gemas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Ed SBG-MG, 2001. 280 p.
- CHAUMETON, H. **Guía de los minerales**. Barcelona: Ediciones Omega, 1989. 380 p.
- CHVÁTAL, M. **Mineralogia para principiantes**: cristalografia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2007. 287 p.
- CORNEJO, C.; BARTORELLI, A. **Minerais e pedras preciosas do Brasil**. São Paulo: Solaris Edições Culturais, 2010. 704 p.

- DANA, J. D. **Manual de mineralogia**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, [1978]. 2 v.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas**: uma introdução. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966. 558 p
- FLINT, E. **Princípios de cristalografia**. Moscou: Editorial Paz, 1966. 243 p.
- GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. London: John Wiley & Sons, 2004.
- HALL, C. **Pietre Preziose**. Milano: Fabbri Editori, 1994. 160 p.
- HEINRICH E. W. **Identificación microscópica de los minerales**. Bilbao: Urmo Ediciones, 1977. 456 p.
- HURLBUT JR., C. S.; SWITZER G. S. **Gemologia**. Barcelona: Ed. Omega, 1980. 243 p.
- JORDT-EVANGELISTA, H. **Mineralogia**: conceitos básicos, Ouro Preto: UFOP, 2002. 62 p.
- KLEIN C.; HURLBUT JR., C. S. **Manual of mineralogy**. 21st ed. New York: John Wiley & Sons, 1993. 681 p.
- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. **Manual of mineralogy** (after J.D. Dana). New York: John Wiley & Sons, 1999. 681 p.
- KLOCKMANN, E.; RAMDOHR P. **Tratado de mineralogia**. 2. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1961. 736 p.
- LEINZ, V.; SOUZA-CAMPOS, J. E. **Guia para determinação de minerais**. 5. ed. São Paulo: Nacional; USP, 1971.
- LEPREVOST, A. **Química analítica dos minerais**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 392 p.
- LICCARDO, A.; CAVA L. T. **Minas do Paraná**. Curitiba: Imprensa Oficial. Sesquicentenário, 2006. 165 p.
- \_\_\_\_\_.; LICCARDO V. B. **Pedra por pedra**: mineralogia para crianças. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 58 p.
- NASCIMENTO, M. A. L.; RUSCHKYS, U. A.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, geoconservação e geoturismo**. São Paulo, SBG, 2008.
- NEVES, P. C. P.; SCHENATO, F.; BACHI F. A. **Introdução à mineralogia prática**. 2. ed. Canoas: Ed. ULBRA, 2008. 336 p.
- NEVES, P. C. P.; FREITAS, D. V.; PEREIRA V. P. **Fundamentos de cristalografia**. Canoas: RS. Ed. ULBRA, 2009. 304 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.630** Material gemológico. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12.310** Diamante lapidado. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- PECCHIO M. et al. **Applied mineralogy**: developments in science and technology. São Paulo, ICAM-BR, 2004. 2v.
- PEREIRA, R. M.; ÁVILA, C. A.; LIMA, P. R. A. S. **Minerais em grãos**: técnicas de coleta, preparação e identificação. São Paulo: Oficina de Texto, 2005. 128 p.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.
- RUTLEY F. 1958. **Elementos de mineralogia**. 2. ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gill, 1958. 436 p.
- SHARPLES, C. Geoconservation in forest management: principles and procedures. **Tasforests**, v. 7, p. 37-50, 1995.

- SIMON; SCHUSTER. **Guide to rocks and minerals**. The American Museum of Natural History, 1978.
- SCHUMANN, W. **Gemas do mundo**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 2002.
- SKINNER B. J.. **Recursos Minerais da Terra**. São Paulo, Edgard Blucher, 1970. 140 p.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 557 p.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. **Mineral yearbook**: metals, minerals and fuels. Washington: Bureau of Mines, 1973. 1303p.
- VLEESCHDRAGER, E. **Le diamant**: réalité et passion. Anvers: Editions Du Perron, 1997. 267 p.
- WEBSTER, R. **Gems**: their sources, descriptions and identification. Londres: Butterworths Gem Books, 2002. 646p.
- WEISBACH, A.; KOLBECK, F. **Tabela para determinação de minerais**. Aracaju: Instituto de Tecnologia e Pesquisas de Sergipe, 1955. 121 p.

## **SOBRE O LIVRO**

|           |                    |
|-----------|--------------------|
| Tipologia | Adobe Garamond Pro |
| Ano       | 2017               |