

Curso de Especialização em Beneficiamento Mineral

Departamento de Engenharia de Minas – Escola de Minas de Ouro Preto
Universidade Federal de Ouro Preto

Fundamentação mineralógica para a produção mineral

- Módulo 1 - Introdução à estrutura da Terra e origem dos elementos
- **Módulo 2 – Mineralogia fundamental**
- Módulo 3 – Formação de rochas e mineralizações
- Módulo 4 – Reconhecimento prático de minerais e rochas
- Módulo 5 – Minerais não-metálicos na indústria cerâmica
- Módulo 6 – Mineralogia e geologia de gemas
- Avaliação – prova escrita

Módulo 02 – Mineralogia Fundamental

Antonio Liccardo

Bibliografia módulo 2

- Klein C. & Hurlbut Jr. C.S. 1993. **Manual of Mineralogy**. 21. ed. New York, John Wiley & Sons. 681p.
- Dana, J. D. (1981). **Manual de Mineralogia**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 2 vols.
- Press, Siever, Grotzinger e Jordan - **Para Entender a Terra** – Ed. Bookman
- Teixeira, Toledo, Fairchild & Taioli , **Decifrando a Terra**, Ed.Oficina de Textos
- Hurlbut Jr. C.S. & Switzer G.S. 1980. **Gemologia** . Barcelona, Omega. 243p.
- Anderson, B. W. 1984. **A identificação das gemas**. Rio de Janeiro. Ao Livro Técnico. 460p.
- CETEM, 2008. **Rochas & Minerais Industriais** – usos e especificações



Minerais na forma de grãos, cuja identificação das propriedades físicas revela o significado geológico do ambiente

CONSTRUÇÃO: AREIA, CASCALHO, BRITA, PEDRA, ARGILA,
CIMENTO, AÇO, ALUMÍNIO, ASFALTO, VIDRO, GESSO

ENCANAMENTO E ELETRICIDADE: FERRO, COBRE, LATÃO,
CHUMBO, AMIANTO, VIDRO

TINTAS: PIGMENTOS, ENCORPANTES DE TALCO E AMIANTO

MOBÍLIA: FERRO E AÇO, LIXAS DE GRANADA E RUTILO

ROUPAS: FIBRAS NATURAIS CRESCIDAS COM FERTILIZANTES,
CORANTES

COMIDA: SAL, FERTILIZANTES, MÁQUINAS DE PROCESSAMENTO,
EMBALAGENS DE METAL E VIDRO, LOUÇA DE CERÂMICA E VIDRO,
PANELAS DE METAL, VIDRO E CERÂMICA

COSMÉTICOS: SAIS, CORANTES, EXCIPIENTES

História

- Textos bíblicos
- Arqueologia – paleolítico, neolítico, egípcios
- Plínio, o velho – Tratado das Pedras Preciosas
- Idade média – alquimistas
- Século XVIII – sistematização como ciência
- Século XIX – José Bonifácio no Brasil
- Século XXI – mineralogia moderna



Importância da extração
mineral e do
conhecimento
mineralógico desde o
paleolítico



- Plínio, o velho – Tratado das Pedras Preciosas
- Idade média – alquimistas





Naturalistas

John Mawe - 1812



TRAVELS

IN THE

INTERIOR OF BRAZIL,

PARTICULARLY IN THE

GOLD AND DIAMOND-DISTRICTS

OF THAT COUNTRY.

BY AUTHORITY OF THE PRINCE REGENT OF PORTUGAL;

EXCLUDED

A VOYAGE TO THE RIO DE LA PLATA,

AND AN HISTORICAL SKETCH OF THE REVOLUTION OF BUENOS AYRES.

ILLUSTRATED WITH ENGRAVINGS

By JOHN MAWE,

AUTHOR OF "THE MINERALOGY OF DERBYSHIRE."

LONDON:

PRINTED FOR LONGMAN, HURST, REES, ORME, AND BROWN,
PATERNOSTER-ROW.

1812.



JOHN MAWE

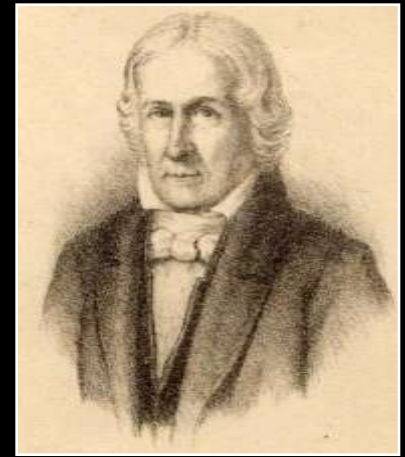
VIAGENS AO INTERIOR DO BRASIL



ZELIO VALVERDE

Mineralogia atual

- Desde José Bonifácio
- Ciência aplicada
- IMA – 30 minerais tipo 1959-2008
- Muitos foram invalidados
- 11 de 2003 a 2007
- Geodiversidade desconhecida !
- Daniel Atêncio - USP
- Mineralogia descritiva depende diretamente de colecionadores



José Bonifácio de
Andrada e Silva –



Granada Andradita – Museu
Ouro Preto

Minerais descobertos no século XXI



- **Coutinhoíta**

- **Kalungaíta**

- **Matioliíta**

- **Arrojadita (PbFe)**

- **Menezesita**

- **Ruifrancoíta**

- **Lindbergita**

- **Guimarãesita**

- **Oxikinoshitalita**

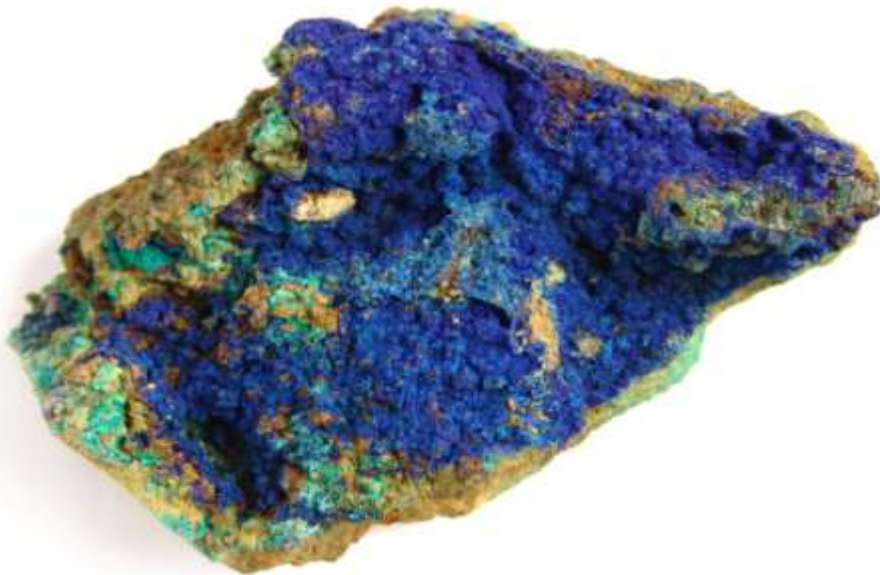
- **Bedadaíta**

- **Atencioíta**



COMO SE CLASSIFICAM OS MINERAIS?

- Plínio (77 DC): gemas, pigmentos, minérios
- Avicena, Agricola: características físicas
- Cronstedt (século 18): classificação química
- Berzelius (século 19) e James Dana (1850)



Elementos nativos

Sulfetos

Halóides

Óxidos

Hidróxidos

Carbonatos

Fosfatos

Boratos

Vanadatos

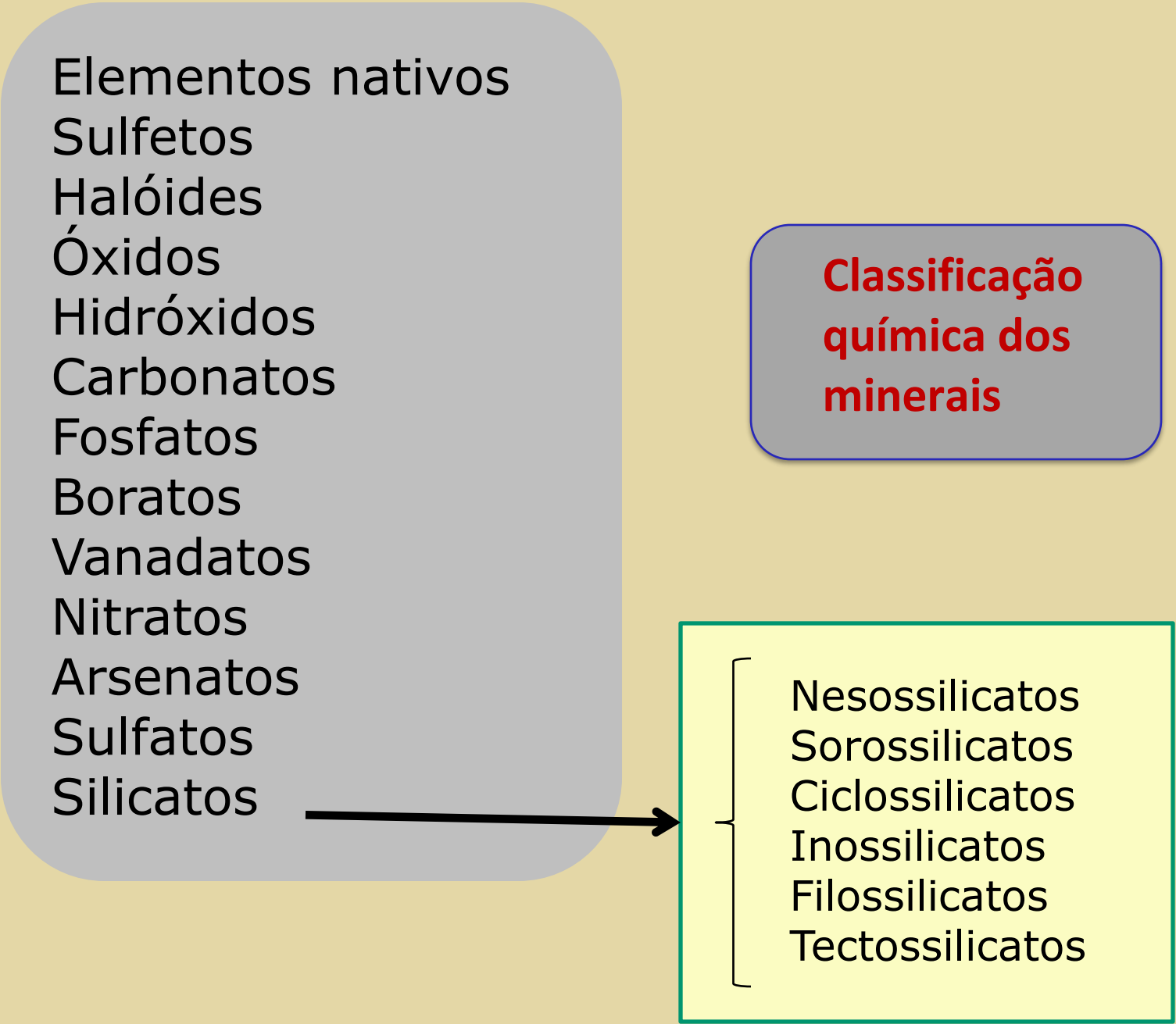
Nitratos

Arsenatos

Sulfatos

Silicatos

**Classificação
química dos
minerais**



Nesossilicatos
Sorossilicatos
Ciclossilicatos
Inossilicatos
Filossilicatos
Tectossilicatos

Classificação de minerais pelo uso

- Metálicos
- Não-metálicos

- físicos
- químicos

- Metálicos
- RMI
- Gemas
- Águas
- Energéticos



Minerais Metálicos



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



Não-metálicos – Rochas e Minerais Industriais

- Estruturais ou para construção civil – areia, brita, calcário, gipsita, argila vermelha, amianto, vermiculita...
- 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...

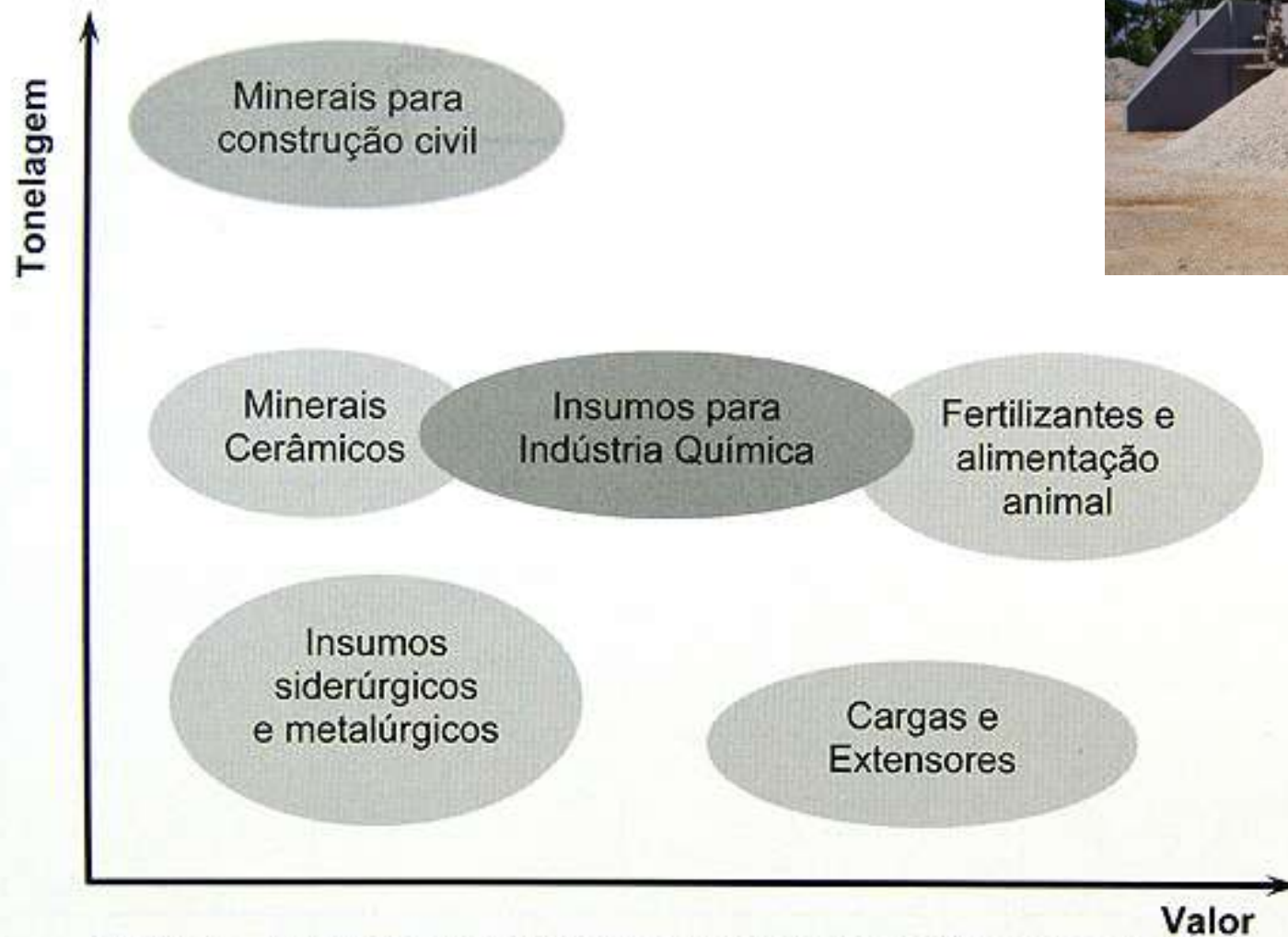


Figura 7 – Os grandes espaços de mercado para os Minerais Industriais.

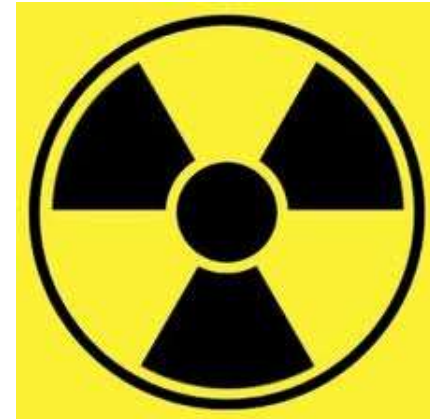
Tabela 11 – Aplicações de minerais selecionados em termoplásticos.

Mineral	Resina Principal	Função
Alumina Hidratada	Poliéster	Anti-Chama
Calcita Natural	PVC	Carga
CaCO_3 Precipitado	PVC	Resistência Impacto
Caulim (Air Floated)	Poliéster	Tixotropia
Caulim Calcinado	PVC	Resistência Elétrica
Caulim (<i>Surface Treated</i>)	Nylon	Estabilidade Dimensional
Mica	Polipropileno	Resistência à Flexão
Quartzo Moído	Epoxy	Estabilidade Dimensional
Talco	Polipropileno	Rigidez
Wollastonita	Nylon	Reforço Mecânico

Não-metálicos – gemas, águas e energéticos

- Pedras preciosas – diamante, berilo, coríndon, turmalina, quartzo...
- Águas* – minerais e subterrâneas (classificação comercial!)
- Energéticos – urânio, tório, turfa*, carvão*, petróleo*

* (não são minerais, mas são estudados na geologia e extraídos por mineração)



Classificação industrial

- Físicos – **mantêm** a identidade original – estruturais, cargas, auxiliares de processos, fundição...
- Químicos – **perdem** a identidade original – insumos para indústria química, fertilizantes, fluxo de metalurgia...

Classificação pela Funcionalidade

Uma sistemática de classificação dos minerais industriais, muito utilizada, baseada em funcionalidade, separa os não-metálicos em dois grupos: Minerais Físicos e Minerais Químicos. As Tabelas 1 e 2 agrupam os principais minerais participantes destes dois grandes grupos de minerais industriais. Ciminelli (2002b) estudou o mercado para a produção brasileira de minerais cerâmicos e minerais funcionais que compõem estes dois grandes grupos.

Tabela 1 – Grupo dos minerais físicos.

Mineral	Minerais Estruturais	Cargas e Extensores	Auxiliares de Processos	Fundição
Amianto	x	x	x	
Atapulgita		x	x	
Baritas	x	x	x	
Bentonita		x	x	x
Carbonato de Cálcio		x		
Cimento	x			
Diatomita	x	x	x	
Dolomita		x		
Gipsita	x	x		
Caulim	x	x		x
Agregados de baixo peso	x			
Mica	x	x		
Nefelina Sienito		x	x	
Perlita	x		x	
Pedra Pomes	x			
Areia e Cascalho	x			
Silica		x		x
Pedra Britada	x			
Pedra	x			
Talco		x		
Vermiculita	x			
Wollastonita		x		

Tabela 2 – Grupo dos minerais químicos.

Minerais	Insumos Indústria Química	Insumos Fertilizantes	Auxiliares Processos Químicos	Insumos Indústria Cerâmica	Fluxos Metalurgia
Argilas				x	
Baritas		x		x	
Bauxita		x		x	
Boro		x		x	
Bromina		x			
Cromita	x			x	
Dolomita		x		x	
feldspato				x	
fireclay				x	
Fluorita	x			x	x
Gipsita		x			x
Ilmenita, Rutilo	x				x
Caulim	x			x	x
Cal	x	x	x	x	x
Calcário	x	x			x
Sais de Lítio	x			x	x
Magnesita	x			x	
Turfa		x			
Fosfatos	x	x			
Potássio	x	x			
Sal	x		x		
Carbonato de Sódio	x		x	x	
Sulfato de Sódio	x		x		
Enxofre	x	x			
Talco				x	
Wollastonita		x		x	

O QUE É MINERAL?



calcofilita



serpierita

sólido homogêneo, cristalino, inorgânico, de ocorrência natural (processos geológicos) e composição química definida

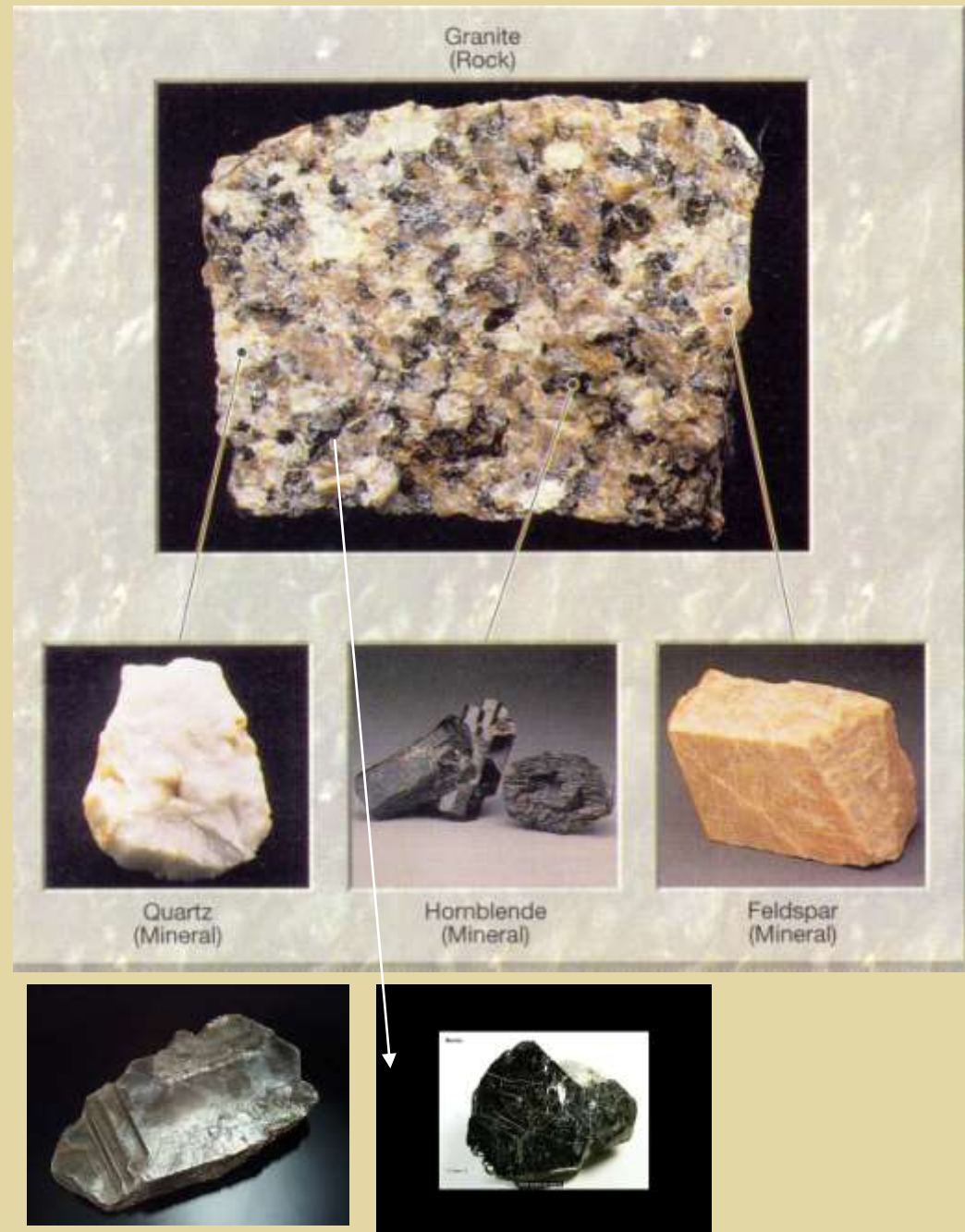
combinação ordenada dos átomos,
com propriedades cristalográficas específicas

retículo cristalino

- **Estrutura cristalina e composição química irão determinar as propriedades físicas dos minerais**

- **Rocha (I,S,M)** é um agregado coeso de minerais.

- **Cristal:** é um sólido homogêneo com ordem interna regular limitado por faces planas.



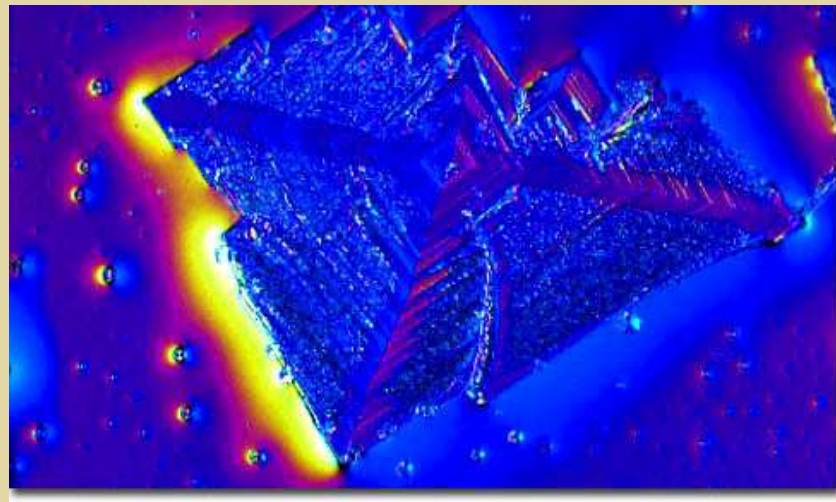
COMO SE FORMAM?

Ambiente magmático

Ambiente sedimentar

Ambiente metamórfico

COMO SE FORMAM?



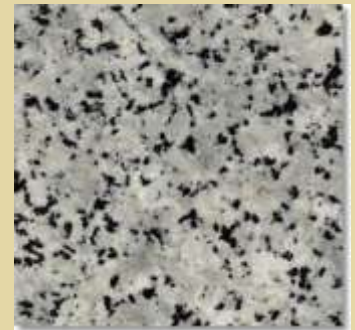
cristalização se inicia com a formação de microcristais



faces cristalinas se mantêm, enquanto houver espaço:
no magma, cavidades, fraturas, poros



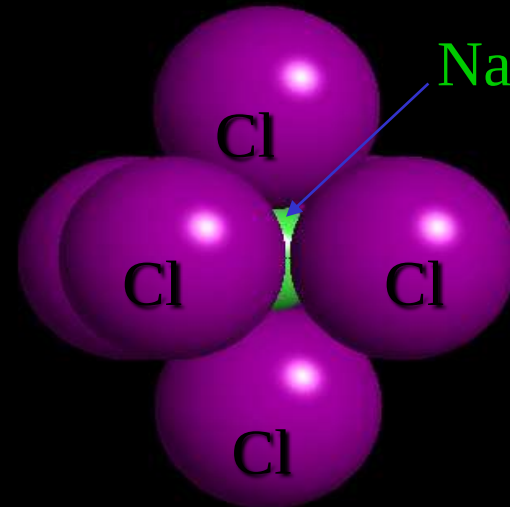
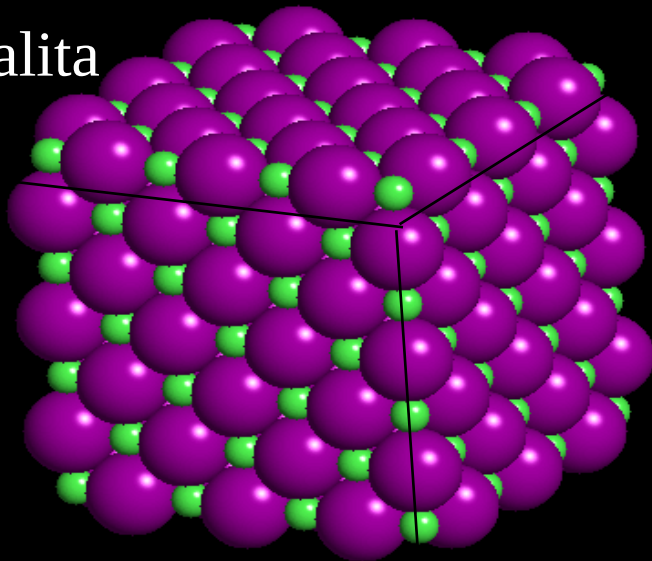
interferência de faces sobre outras
quando acabar o espaço



Estrutura cristalina

- Todos os minerais apresentam estrutura cristalina.
- A Estrutura cristalina é propriedade característica de cada mineral
- Todas as espécies de um mesmo mineral têm estrutura cristalina idêntica

Halita

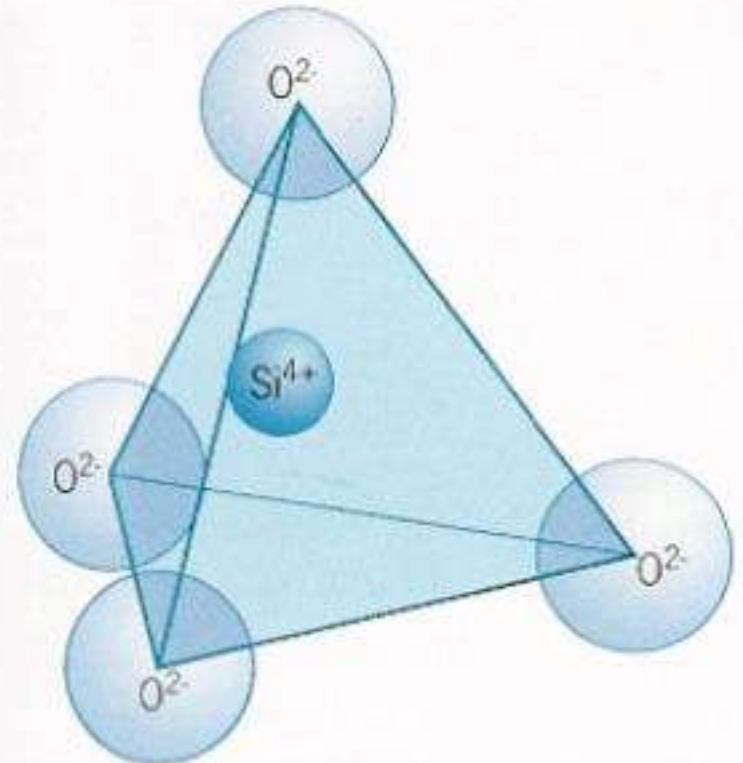


EXEMPLO DE ESTRUTURA CRISTALINA

SILICATOS

A estrutura básica do silicatos é o tetraedro $(\text{SiO}_4)^{4-}$.

O Si^{4+} localizado na região central, está rodeado por quatro átomos de oxigênio.



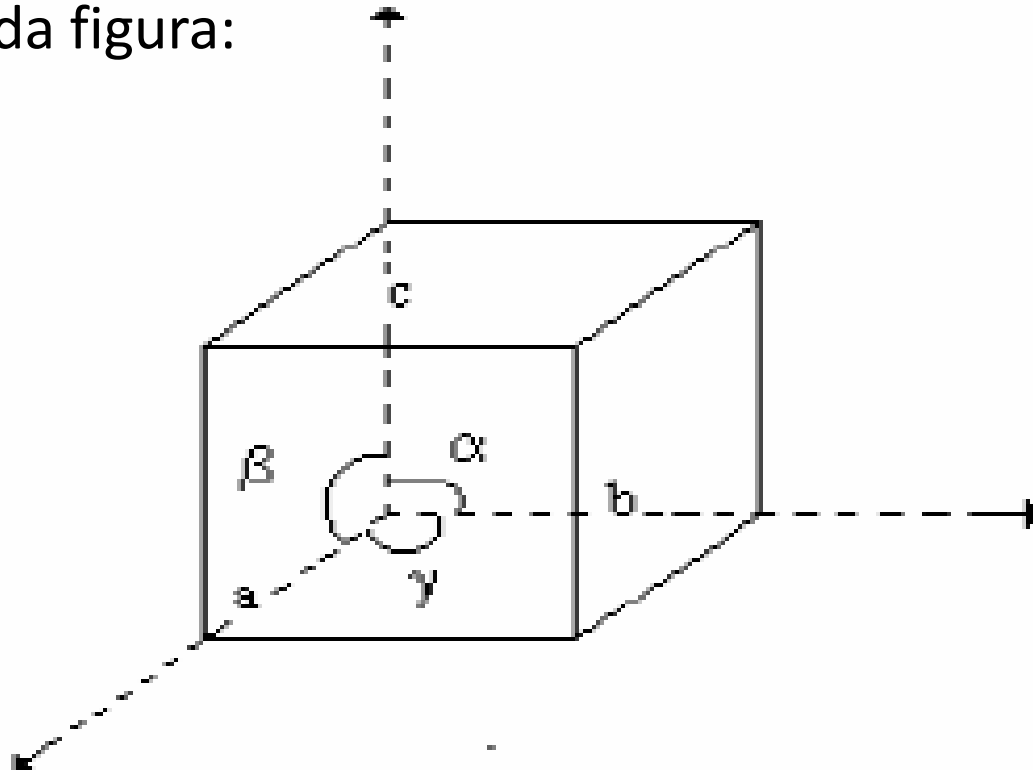
Estrutura cristalina



- Em uma pilha cada tijolo representa uma **cela unitária**.
- A distribuição em 3D forma a **estrutura cristalina**.
- Tijolos formando “montes” - células unitárias sem qualquer periodicidade material **amorfo**.

Os Sistemas Cristalinos

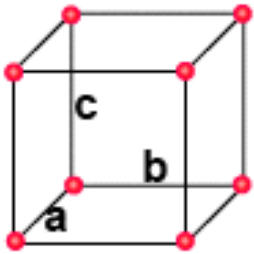
- Para classificar os sistemas cristalinos, toma-se o sistema cartesiano da figura:



Sistemas Cristalinos

SISTEMA	Constantes lineares	Constantes angulares	Exemplos	Simetria
CÚBICO	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	FLUORITA	4E3
TETRAGONAL	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	ZIRCÃO	E4
ORTORRÔMBICO	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	TOPÁZIO	3E2
MONOCLÍNICO	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	MALAQUITA	E2
TRICLÍNICO	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	ALBITA	C
TRIGONAL	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$	$\alpha = \beta = 120^\circ$ $\gamma = 90^\circ$	TURMALINA	E3
HEXAGONAL	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$	$\alpha = \beta = 60^\circ$ $\gamma = 90^\circ$	BERILO	E6

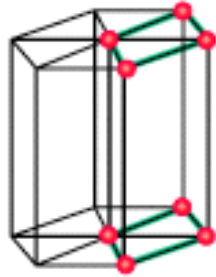
Sistemas Cristalinos



cubic

$$a = b = c$$

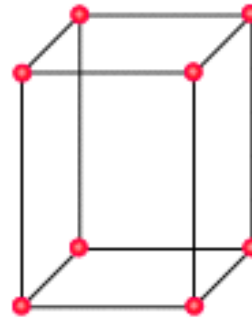
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



hexagonal

$$a = b \neq c$$

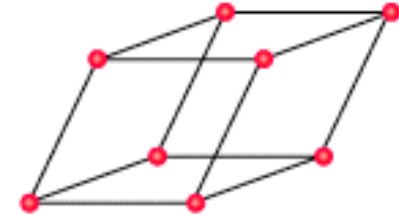
$$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$$



tetragonal

$$a = b \neq c$$

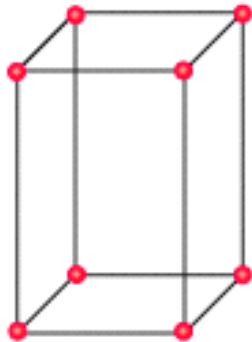
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



rhombohedral

$$a = b = c$$

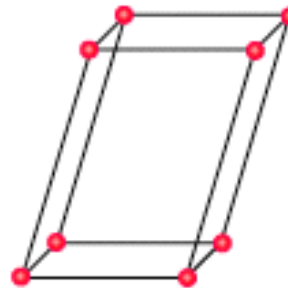
$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



orthorhombic

$$a \neq b \neq c$$

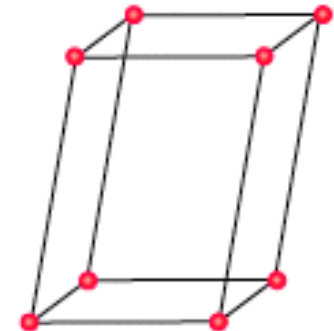
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



monoclinic

$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$$

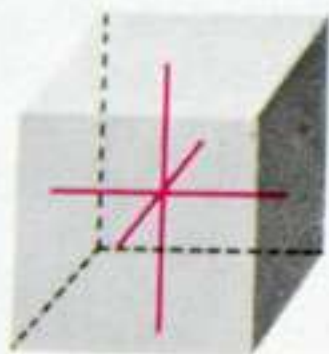


triclinic

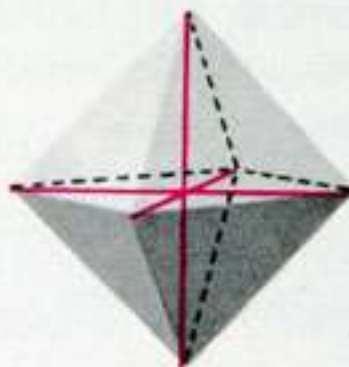
$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$

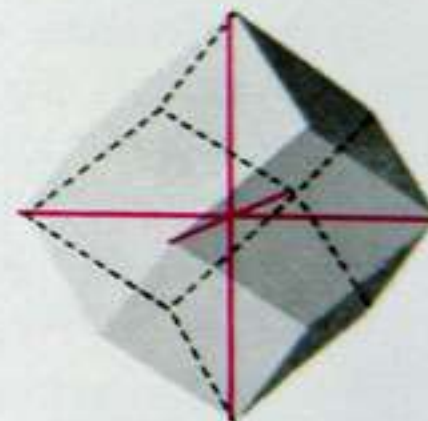
Sistema Cúbico



Cubo



Octaedro

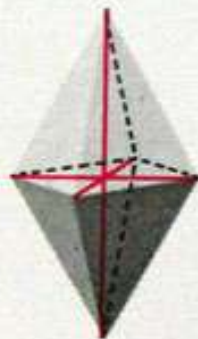


Rombododecaedro

Sistema Tetragonal



Prisma tetragonal
e e pinacóide basal

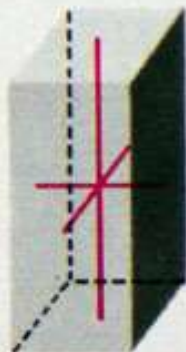


Bipirâmide

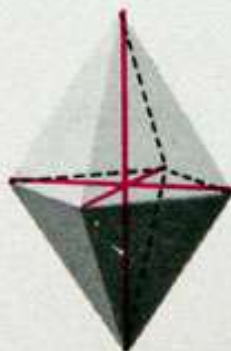


Pirâmide com prisma

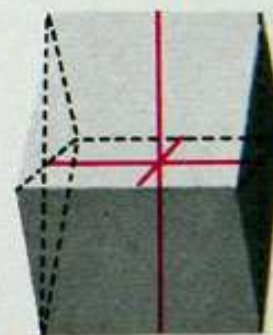
Sistema Ortorrômbico



Pinacóides



Bipirâmide

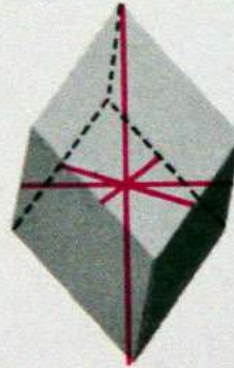


Prisma
e pinacóide

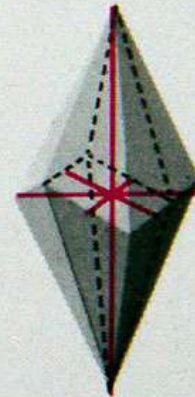
Sistema Trigonal



Bipirâmide

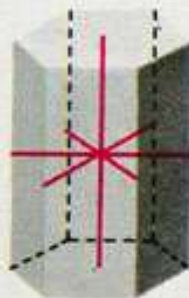


Romboedro



Escalenoedro

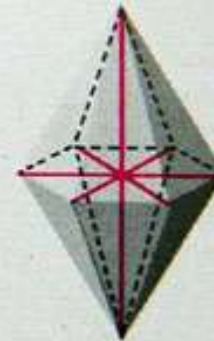
Sistema Hexagonal



Prisma hexagonal
e pinacóide basal

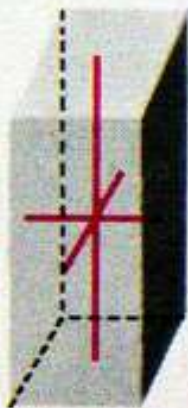


Prisma hexagonal
e pinacóide basal

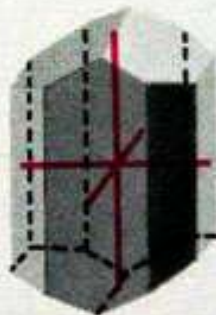


Bipirâmide hexagonal

Sistema Monoclínico



Pinacóides

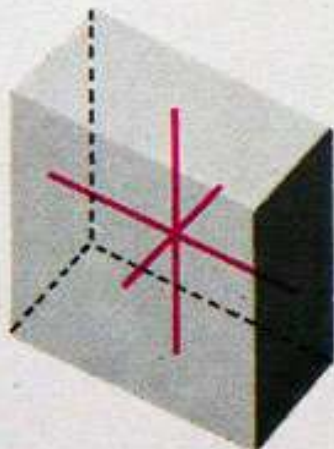


Prismas
e pinacóides



Prismas e
Clinopinacóide

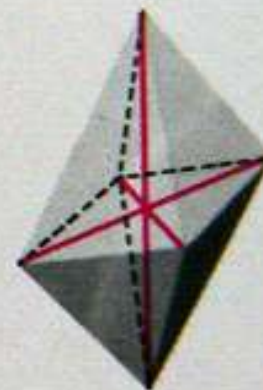
Sistema Triclínico



Pinacóides



Pinacóides



Pinacóides

Estrutura dos materiais reflete-se nas propriedades

Composição química - C



Grafita - estrutura cristalina cúbica

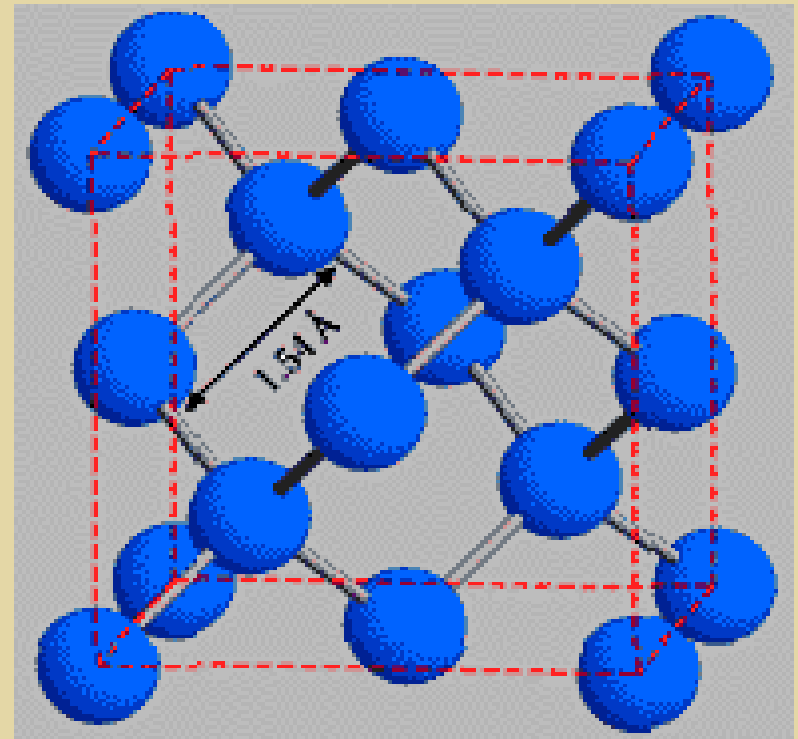


POLIMORFISMO

minerais com mais de uma forma cristalina

depende das condições de formação

Diamante - estrutura cristalina cúbica



Identificação dos minerais

As propriedades físicas mais óbvias e mais facilmente comparáveis são as mais utilizadas na identificação dos minerais.

Na maioria das vezes, essas **propriedades**, e a utilização de **tabelas** adequadas, são suficientes para uma correta **identificação**.

Técnicas mais avançadas: análises químicas, microscópio petrográfico, difração de raios X...



???

???



???

12 16:47

Propriedades físicas (s.s)

- Hábito
- Dureza
- Tenacidade
- Fratura, clivagem, partição
- Densidade
- Propriedades elétricas e magnéticas
- Condutibilidade térmica

Hábito

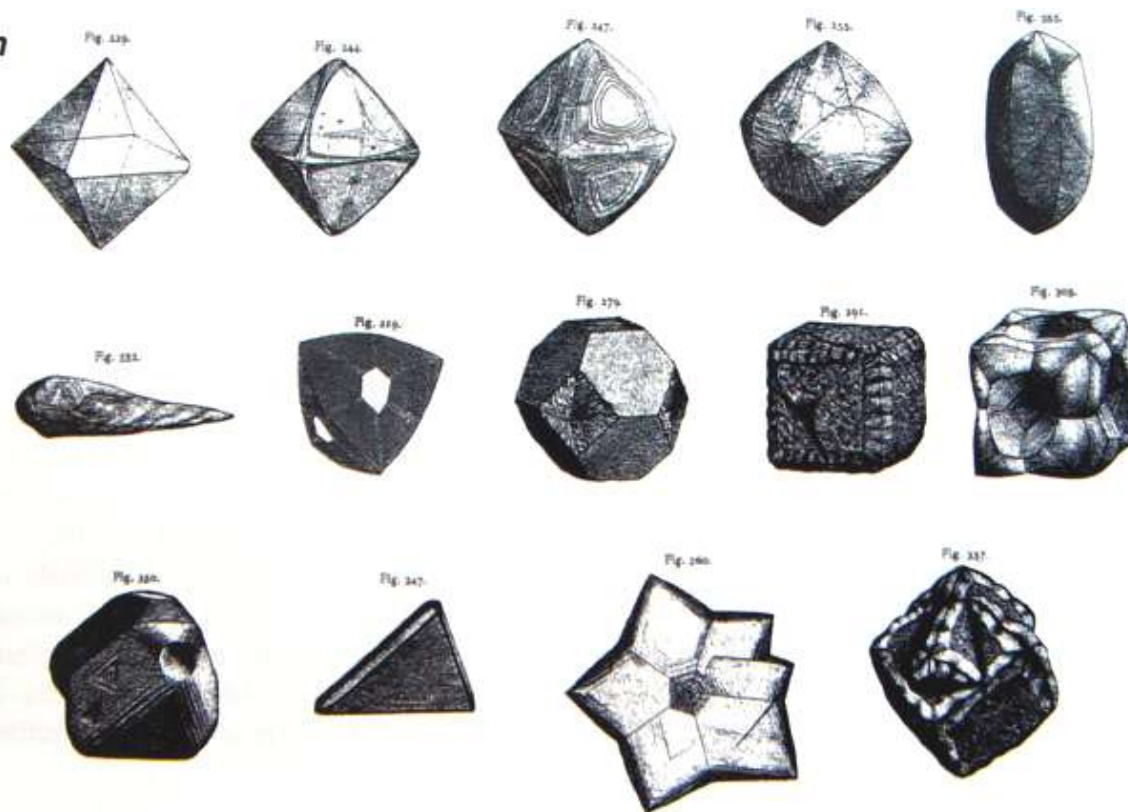
O **formato** com que o mineral é encontrado pode ser útil na sua identificação e algumas vezes até diagnóstico. Está relacionado ao sistema de cristalização ou ausência de cristalização em materiais amorfos



Nem sempre está presente!

Hábito

h



Formas do diamante – Goldschmidt 1920
e outros exemplos de hábitos em minerais

Hábito	Minerais
cúbico (todo quadradinho)	pirita, galena 
octaédrico (balãozinho)	diamante, fluorita, magnetita 
romboédrico (quadrado torto)	calcita 
prismático (comprido)	quartzo, turmalina, berilo, topázio, epidoto 
tabular (achatado)	mica, hematita, albita, barita 
piramidal (ponta de pirâmide)	zircão, coríndon (rubi e safira), anatásio 

Hábito

Formas variadas de diamantes de
várias procedências



Tenacidade

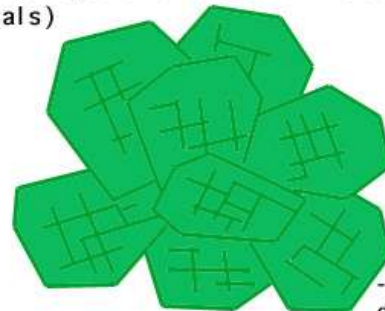
Resistência oferecida a esforços mecânicos ao ser rompido, esmagado ou dobrado.

Coesão

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



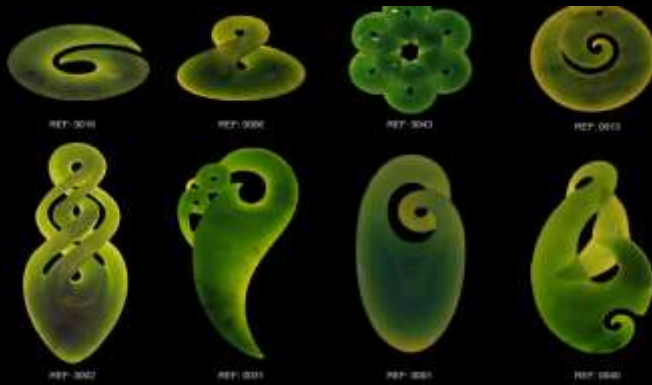
Jade usually has small interlocking crystals with cleavages at 90 degrees (although, the cleavages aren't seen in massive crystals)



- the green color is due to the presence of Cr^{+++}

Tenacidade

A tenacidade permite um nível de escultura excepcional em alguns agregados minerais como a nefrita (jade) ou calcedônia (ágata)



Dureza

Resistência ao risco.

Capacidade de um mineral riscar ou ser riscado por outro

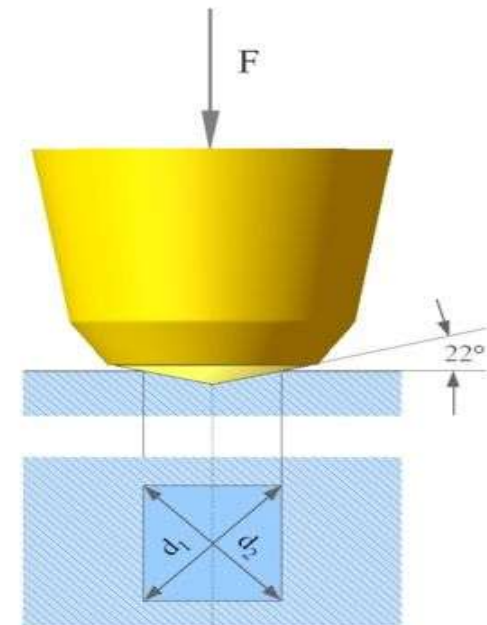
- Propriedade diretamente ligada à estrutura do cristal
- Aumenta com a densidade de empacotamento dos íons – diamante
- Aumenta com a diminuição do tamanho dos íons – calcita (3) e magnesita (4,5)



Dureza - escalas

ESCALA DE MOHS	MINERAL	ESCALA DE ROSIHAL
1	Talco	0,03
2	Gipso	1,25
3	Calcita	4,5
4	Fluorita	5,0
5	Apatita	6,5
6	Ortoclásio	37
7	Quartzo	120
8	Topázio	170
9	Coríndon	1.000
10	Diamante	140.000

Dureza Vickers é um método de classificação da dureza baseada na **compressão de uma ponta piramidada**. Neste método, é usada uma pirâmide de diamante que é comprimida, com uma força arbitraria "F", contra a superfície do material. Calcula-se a área "A" da superfície impressa pela medição das suas diagonais.



MINERAIS DA ESCALA DE DUREZA DE MOHS

1 - Talco



2 - Gipsita



3 - Calcita



4 - Fluorita



5 - Apatita



6 - Ortoclásio



7 - Quartzo



8 - Topázio



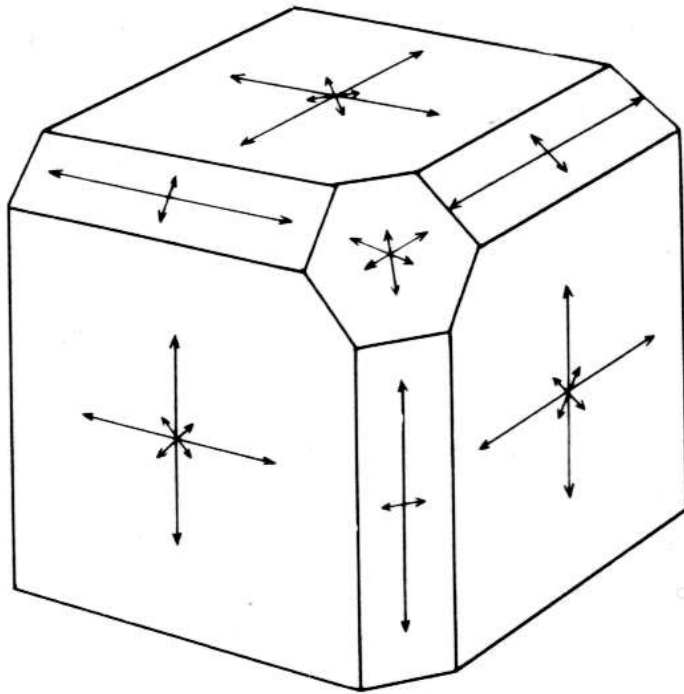
9 - Rubi e safira



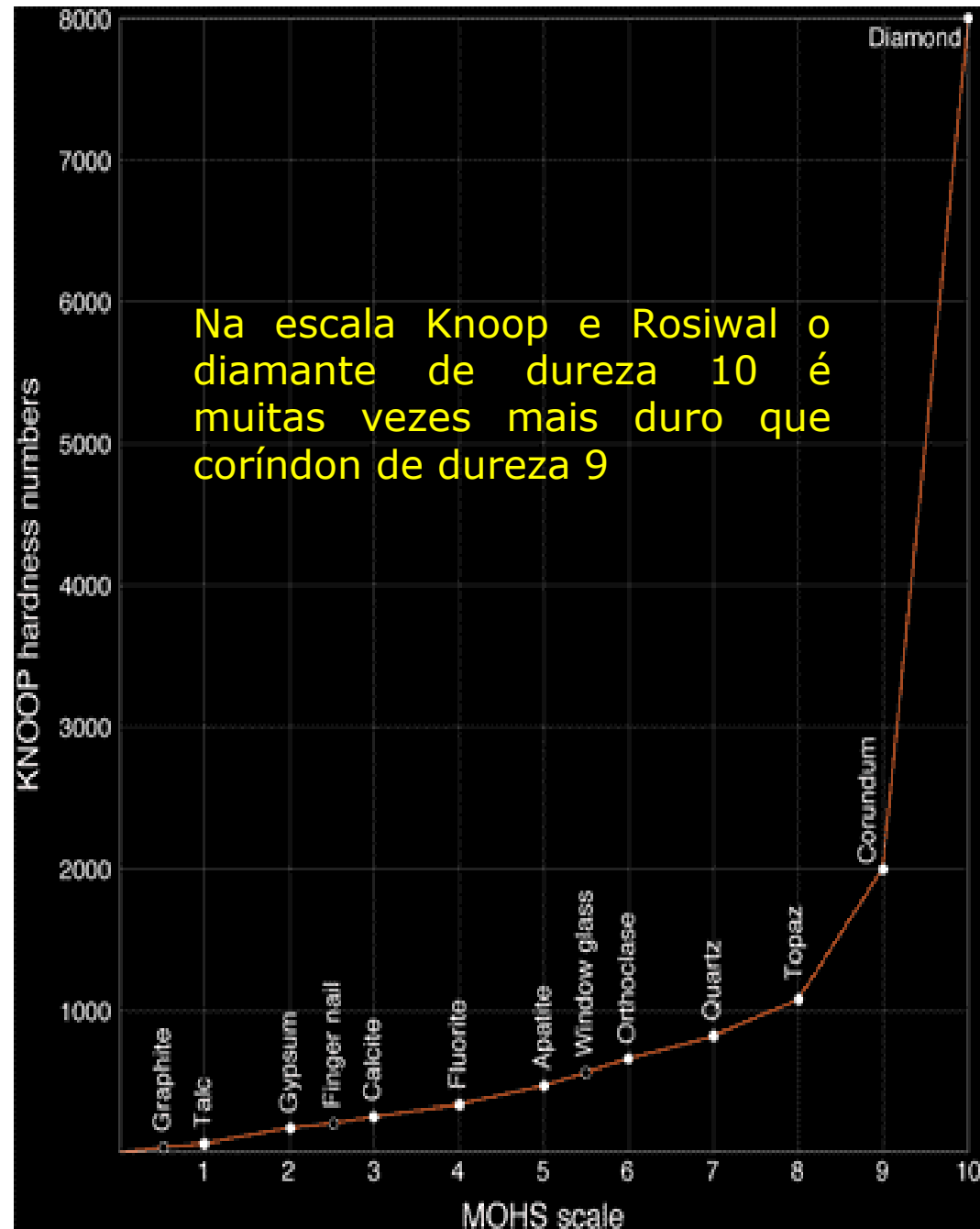
10 - Diamante



Dureza - anisotropia

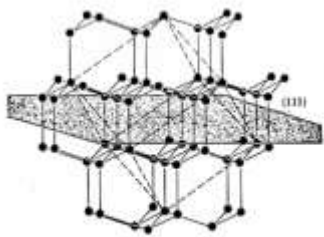


Propriedade vetorial – varia conforme certas direções nas faces dos cristais

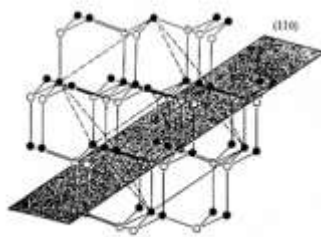


Clivagem

Quando um mineral se rompe ao longo de **planos de fraqueza** quando aplicada uma força adequada.



diamante C

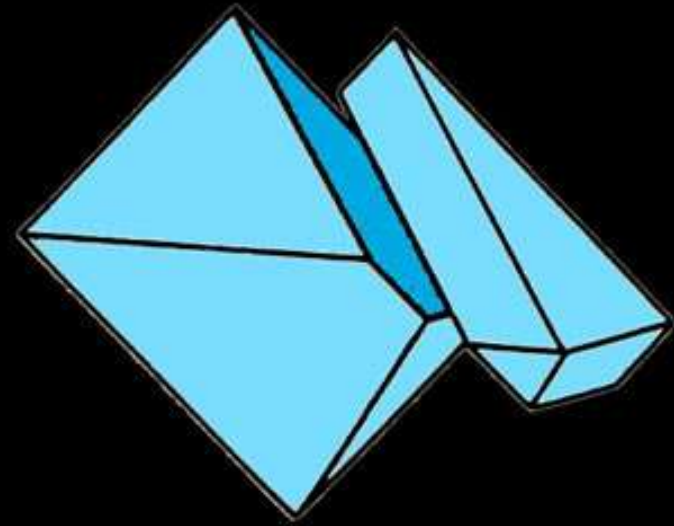


esfalerita ZnS

- Característica intrínseca de alguns minerais
- Ocorre paralelamente aos planos de átomos
- Espaçamento reticular maior ou tipo mais fraco de ligação ou ambos
- Todo plano de clivagem é paralelo a uma face ou possível face do cristal



Clivagem

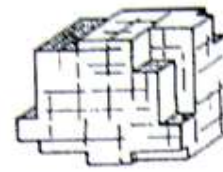


Clivar é uma das etapas na lapidação do diamante



Clivagem

- Perfeita
- Boa
- Ruim
- Ausente



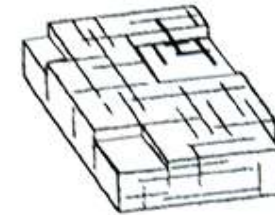
Cúbica



Octaédrica



Dodecaédrica



Romboédrica

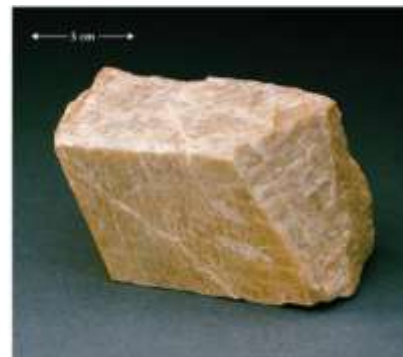


Prismática



Pinacoidal

Clivagem em uma ou mais direções. Ex: feldspato em duas direções (boa e imperfeita) e galena 3 direções.



Clivagem

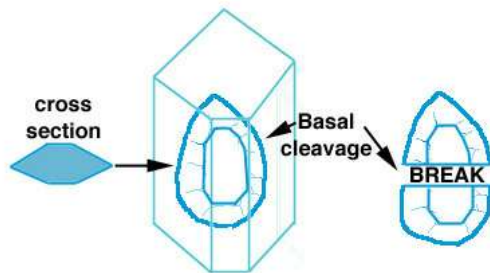
Fluorita: 4 direções, 8 faces octaédrica



Halita . 3 direções, 6 faces, cúbica

← 5 cm →

Calcita. 3 direções, 6 faces romboédrica



A clivagem tem grande importância na lapidação de gemas. A mesa da lapidação deve ser projetada com alguma angulação em relação ao plano de clivagem.

Fratura

é a maneira de como o mineral se quebra quando não apresenta planos de clivagem. Vidros e substâncias amorfas apresentam fraturas



Fratura irregular: muitos minerais apresentam, não sendo uma propriedade diagnóstica. Ex. turmalina.

Fratura conchoidal: consiste em superfícies lisas e côncavas, semelhantes ao interior de uma concha. Ex. quartzo, opala, calcedônia, obsidiana.

Fratura denteada ou serrilhada: metais nativos (ouro, prata, cobre).

Fratura



Exemplos de fraturas em obsidiana, quartzo e sílex. O lascamento de sílex e quartzo teve grande importância na evolução humana em fabricação de ferramentas.



Partição



Partição em coríndon de Santa Catarina

Ao contrário da clivagem, não é encontrada em todos os espécimes do mesmo mineral.

Resulta normalmente de planos de geminação e possui número limitado de planos

Exemplos – geminação polissintética em coríndon; partição basal em piroxênio



Macla polissintética em rubi do Camboja

Densidade

Razão peso por volume.

É o número que expressa a razão entre o peso do mineral e o peso de um mesmo volume de água.

Indica quantas vezes um certo volume do mineral é mais pesado que o mesmo volume de água.



=



Galena
 $d = 7.6$



=



Ouro
 $d = 19.3$

Minerais pesados	Densidade	Minerais leves	Densidade
ouro	19,3	berilo	2,7
hematita	5,3	quartzo	2,6
pirita	5,0	calcita	2,7
galena	7,6	feldspato	2,6
barita	4,5	enxofre	2,1
cassiterita	7,0	halita	2,1
zircão	4,4	ulexita	1,9

$$\text{Densidade} = \frac{\text{Peso no ar}}{\text{Peso no ar} - \text{Peso na água}}$$

cassiterita	6.980-7.020
zircão	4.600-4.700
almandina	4.310-4.320
coríndon	3.980-4.020
espinélio	3.550-4.620
turmalina	3.030-3.150
berilo	2.710-2.720
opala	2.150

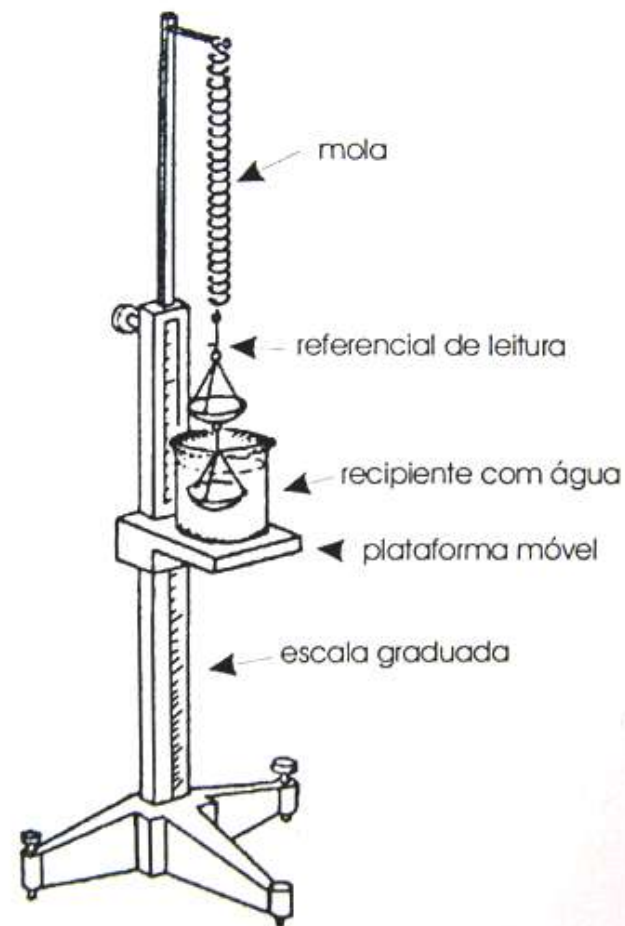
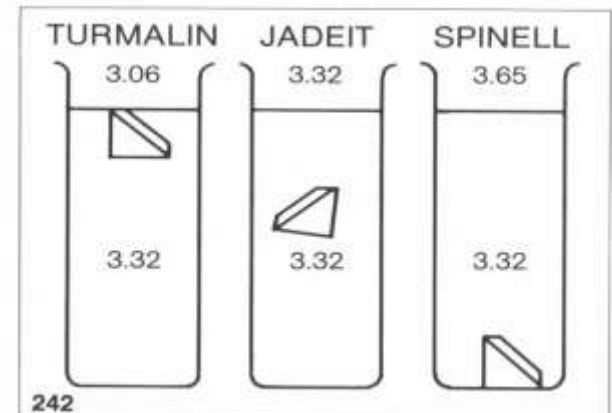


Figura 8 - Balança de Jolly.

Densidades das gemas mais importantes

Zircon: . 4.32 - 4.70	Diamond:3.52	Conch Pearl:... ..2.85
Almandite Garnet: 4.05	Peridot:3.34	Turquoise:.....2.76
Ruby:4.00	Jadeite: 3.34	Lapis Lazuli:.....2.75
Sapphire:4.00	Zoisite (tanzanite) . .3.35	Beryl Group:..... 2.72
Malachite:3.95	Diopside: 3.29	Pearl:2.70
Rhodolite Garnet: 3.84	Spodumene: 3.18	Quartz:.....2.66
Pyrope Garnet:3.78	Andalusite:3.17	Coral:2.65
Chrysoberyl:3.73	Tourmaline: 3.06	Iolite:2.61
Spinel:3.60	Nephrite:2.95	Opal:2.15

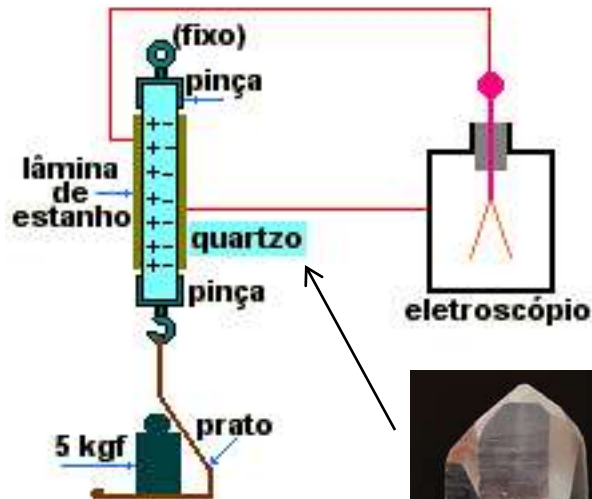
Topázio azul x Água marinha



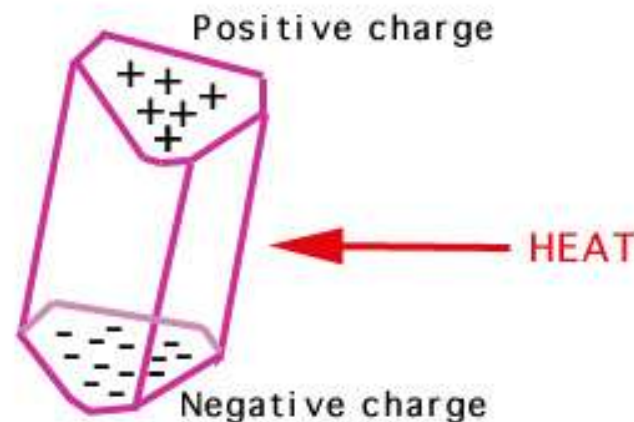
Propriedades elétricas

- Condutibilidade em alguns metálicos (cobre, prata...)
- Piezo- e piroeletricidade: só ocorrem em classes cristalinas sem um centro de simetria, tendo assim eixos polares (ex.: **quartzo e turmalina**, ambos trigonais)
- Condutibilidade elétrica pode acontecer em raros diamantes tipo II

Piezo- e piroeletricidade quartzo e turmalina



Pyroelectric property



A pista da boate do Sustainable Dance Club, em Roterdã, é um exemplo de aplicação da piezoeletricidade. No piso, placas de 65 x 65 cm se movimentam verticalmente sob os passos de dança e geram entre 5 e 10 w, dependendo do vigor do movimento. “A **energia alimenta as luzes e o som do local**, que ganham potência de acordo com as ações do público, estimulando a geração de mais energia”,

Magnetismo

- Magnetismo: atração por um campo magnético externo - susceptibilidade magnética - alinhamento dos *spins* - **minerais com Fe**

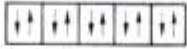
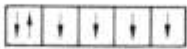
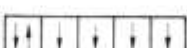
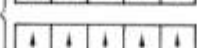
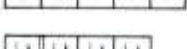
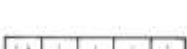
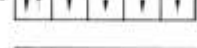
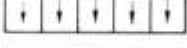
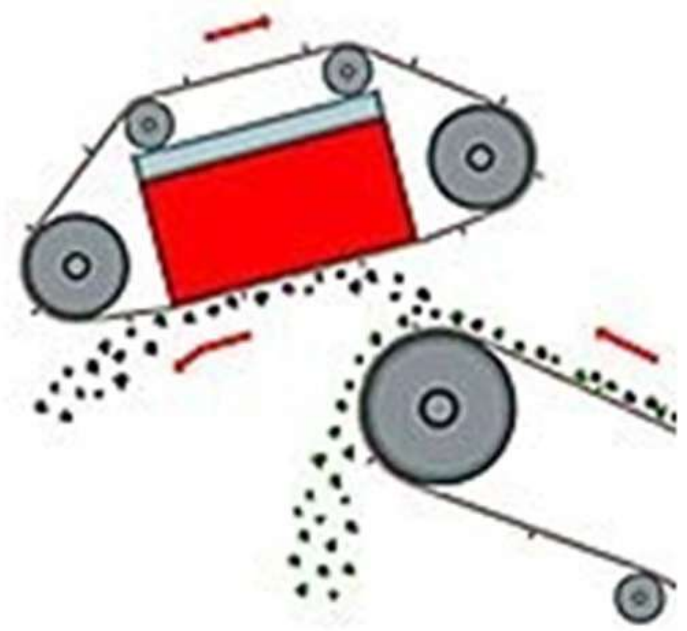
diamagnetisch	Cu^{+1}		Kupfer Cu
paramagnetisch	Fe^{+2}		Pyrit FeS_2
	S^{-2}		
ferromagnetisch	Fe^{+2}		Kamazit Fe
antiferromagnetisch	Fe^{+3}		Hämatit Fe_2O_3
			
	O^{-2}		
ferrimagnetisch	Fe^{+2}		Magnetit Fe_3O_4
	Fe^{+3}		
	O^{-2}		

Bild 2.83. Magnetische Struktur einiger charakteristischer Minerale [7]



Magnetita Fe_3O_4

Table 3.2. *Magnetic susceptibilities of various minerals*

Type	Susceptibility $\times 10^6$ emu		Type	Susceptibility $\times 10^6$ emu	
	Range	Average		Range	Average
Graphite		-8	Siderite	100-310	
Quartz		-1	Pyrite	4-420	130
Rock salt		-1	Limonite		220
Anhydrite, Gypsum		-1	Arsenopyrite		240
Calcite	-0.6- -1		Hematite	40-3000	550
Coal		2	Chromite	240-9400	600
Clays		20	Franklinite		36,000
Chalcopyrite		32	Pyrrhotite	$10^2-5 \times 10^5$	125,000
Sphalerite		60	Ilmenite	$2.5 \times 10^4-$	
Cassiterite		90		3×10^5	1.5×10^5
			Magnetite	$10^5-1.6 \times 10^6$	5×10^5

Gemologia - Inclusões metálicas
em diamantes sintéticos

Suscetibilidade magnética como
critério de identificação

Pirrotita
(FeS)



Condutibilidade térmica

Diamantes podem ser reconhecidos por sua condutibilidade térmica

Material	conductivity	density
	W/m*K	g/cm(3)
Aluminum	247	2.71
Aluminum (6061)	171	2.6-2.9
Aluminum (6063)	193	2.6-2.9
Aluminum (7075-T6)	130	2.6-2.9
Brass (70Cu-30Zn)	115	n/a
Copper	398	8.94
Gold	315	19.32
Magnesium	170	1.74
Magnesium alloy ZK60A	117	1.74-1.87
Silver	428	10.49
Tungsten	178	19.3
Zinc	113	7.13
Diamond	2500	3.51
Graphite	25-470	1.3-1.95
Silicon	141	2.33



Propriedades ópticas

- Importância na identificação de gemas, pois as análises não são destrutivas

- Cor
- Brilho
- Diafaneidade
- Refração
- Birrefringência
- Pleocroísmo
- Dispersão
- Luminescência

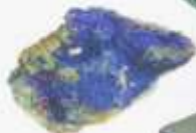


QUER VER ALGUNS MINERAIS QUE TÊM SEMPRE A MESMA COR?

malaquita verde



azurita azul



pirita amarelo dourado



ouro amarelo dourado



hematita cinza



crocoíta laranja



enxofre amarelo



E OS QUE VARIAM DE COR?

topázio azul, incolor, amarelo e vermelho



berilo verde, azul, amarelo, incolor, rosa



quartzo incolor, rosa, violeta, amarelo, castanho, verde



diamante incolor, verde, azul, rosa, vermelho



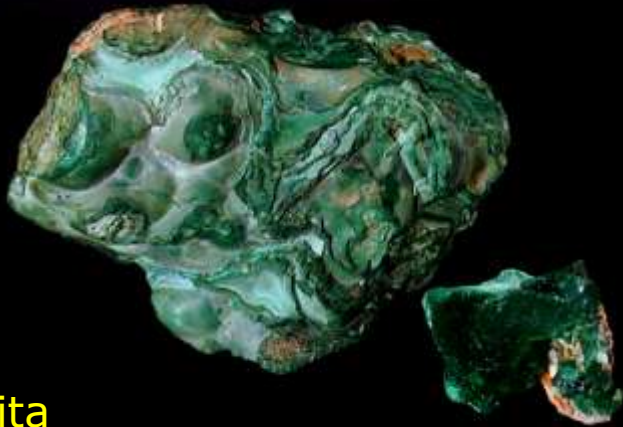
granada vermelho, laranja, rosa, verde



apatita azul, incolor, amarelo



Cor - idiocromáticos



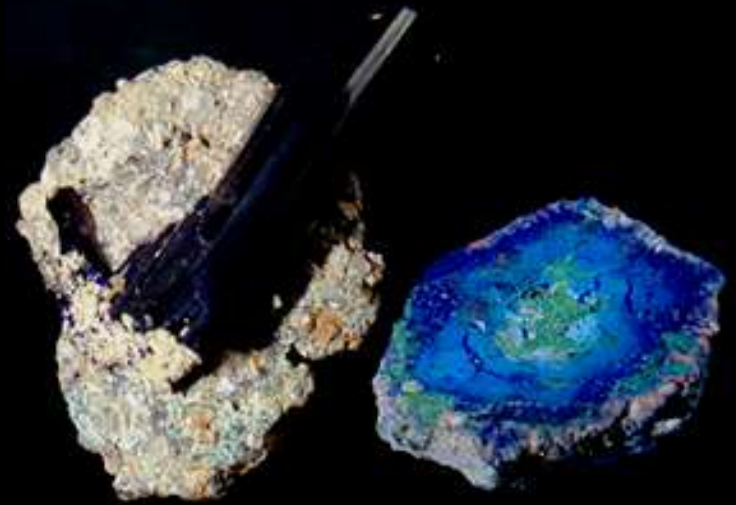
Malaquita



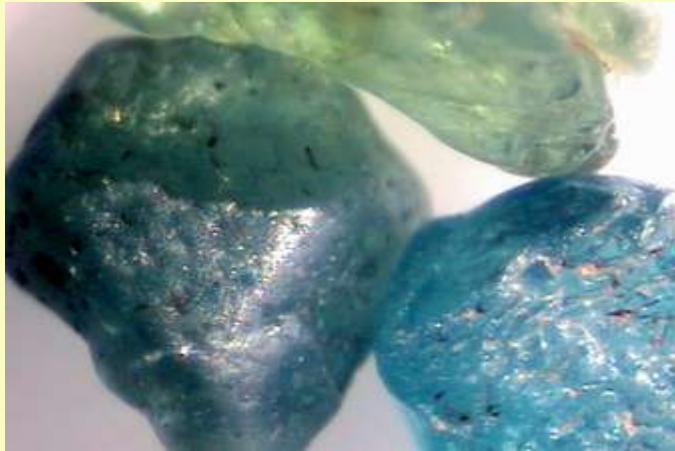
Rodocrosita



Enxofre



Azurita



Água marinha - Fe



Esmeralda - Cr

Cor - alocromáticos

Coríndon

Rubi - Cr

Safira azul - Fe e Ti

Cor do traço

É a cor do pó do mineral quando riscado numa placa de porcelana.

É útil para
identificação de
minerais opacos



Hematita



Figure 3.18 Streak of a Mineral Color contrast between hematite mineral specimen and a hematite streak. Massive hematite is opaque, has a metallic luster, and appears black. On a porcelain plate, hematite gives a red streak.



A pirita é dourada, mas o seu traço é preto, o que ajuda na identificação

Mineral	Traço
hematita	vermelho
pirita	preto
goethita	amarelo-castanho
calcita	branco

Brilho

- É o reflexo da luz natural nas superfícies do mineral.
- Pode ser **metálico** ou **não metálico**.
- O brilho metálico é próprio dos metais como pirita, galena ou ouro
- o brilho **não metálico** pode receber as seguintes denominações:
 - adamantino:** minerais transparentes a translúcidos de alto índice de refração. Ex: diamante, zircão, rutilo.
 - resinoso:** semelhante a certas resinas. enxofre nativo.
 - Gorduroso ou graxo:** halita, nefelina, quartzo leitoso.
 - ceroso:** semelhante a cera de vela. calcedônia, opala.
 - terroso:** Caulinita, talco
 - nacarado:** Ex: talco, gipsita,
 - sedoso:** semelhante a seda. Ex: Asbestos, gipsita fibrosa.
 - vítreo:** Semelhante ao vidro. quartzo, topázio, turmalina.



Brilho metálico - cobre



Talco com brilho resinoso e terroso



Brilho vítreo -
quartzo



A grande maioria
das gemas
apresenta brilho
vítreo

Brilho adamantino - diamante



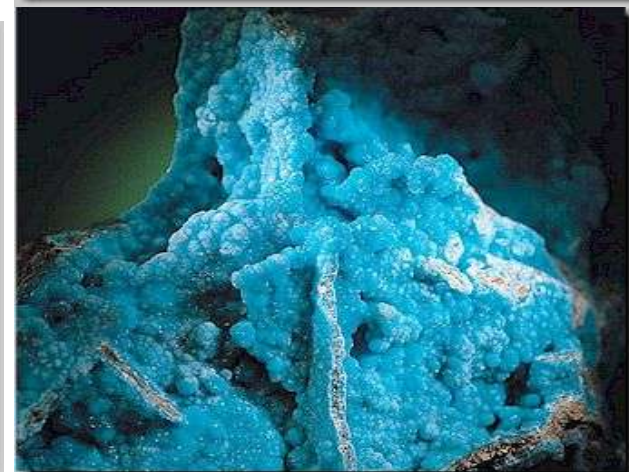
Propriedades excepcionais em minerais

- **ODOR**
 - Ex.: fétido (enxofre nativo)
- **SABOR**
 - Ex: salino (Halita)
- **Reação aos ácidos**
 - Ex: carbonatos (malaquita, rodocrosita, calcita...)
- **Radioatividade**
 - Ex: minerais de urânio e gemas irradiadas

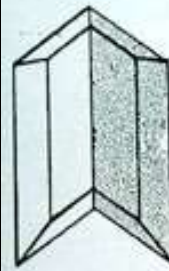




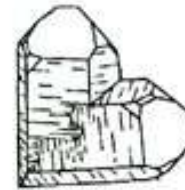
Agregados cristalinos



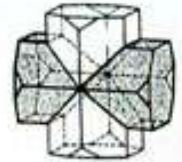
Geminações



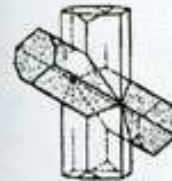
(a)



(b)



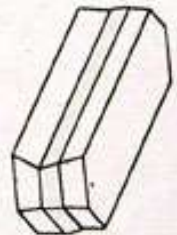
(c)



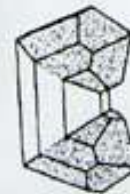
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)