

Antonio Liccardo

**Propriedades físicas dos minerais
e sua aplicação na gemologia**

Área de Mineralogia-Gemologia
UFOP

Programação

- Mineralogia física e gemologia
- Propriedades físicas (*s.s*)
- Propriedades ópticas
- Métodos de análise em gemologia
- Bibliografia recomendada

Mineralogia física

A mineralogia física analisa as propriedades dos minerais proporcionando uma identificação segura na maior parte dos casos, entre os principais minerais encontrados na crosta.

Gemologia

Gemologia compreende vários materiais, em sua maior parte minerais. A compreensão e uso de técnicas de mineralogia física são fundamentais para este ramo da ciência e também em sua aplicação prática (comércio)

...a relação cada vez mais íntima entre a mineralogia, a química e a física manifesta-se nas muitas e novas técnicas mineralógicas e, sobretudo, por **novos pontos de vista** (James Dana, 1959).



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

2mm

Na simples observação gemológica estão sendo consideradas todas as propriedades físicas e ópticas do material analisado.

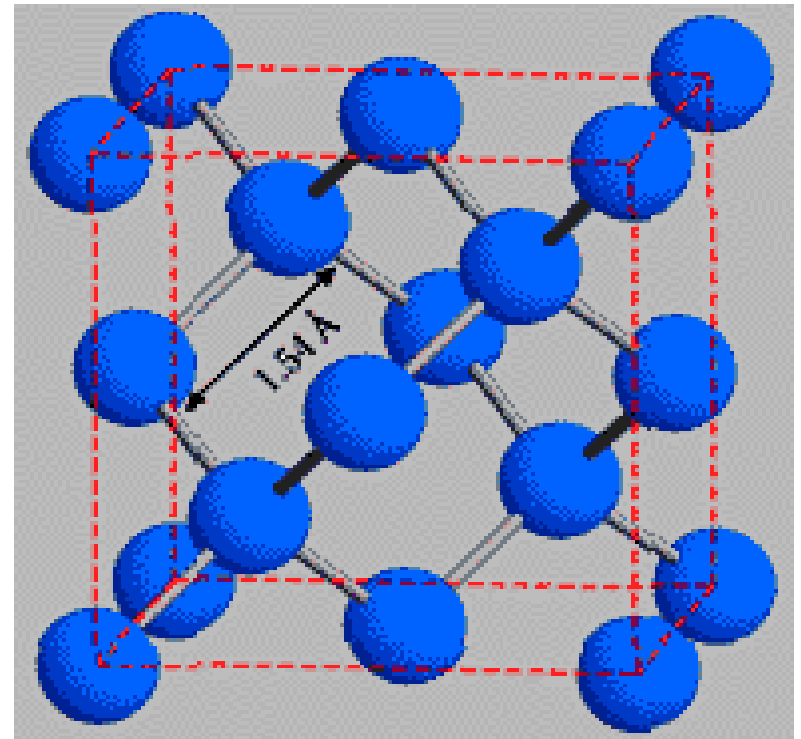


Estrutura dos materiais reflete-se nas propriedades

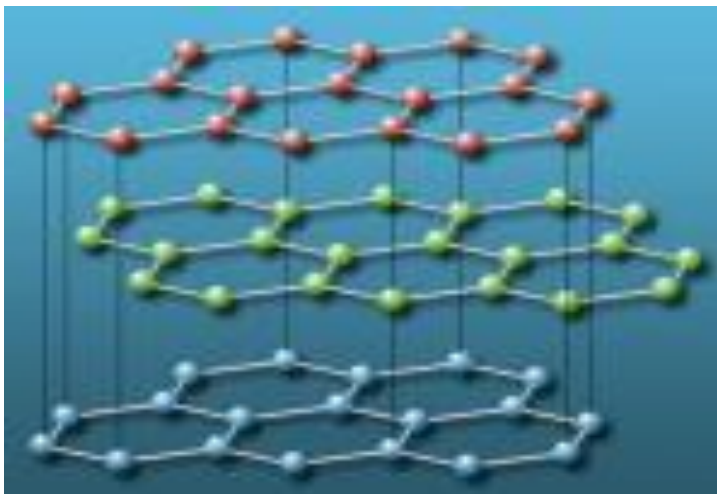
Composição química - C



Diamante - estrutura cristalina cúbica



Grafita - estrutura cristalina cúbica



COMO SE CLASSIFICAM MINERAIS E AS GEMAS?

- 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



Nesosilicatos

Sorossilicatos

Ciclossilicatos

Inossilicatos

Filossilicatos

Tectossilicatos

Propriedades físicas (*s.s*)

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

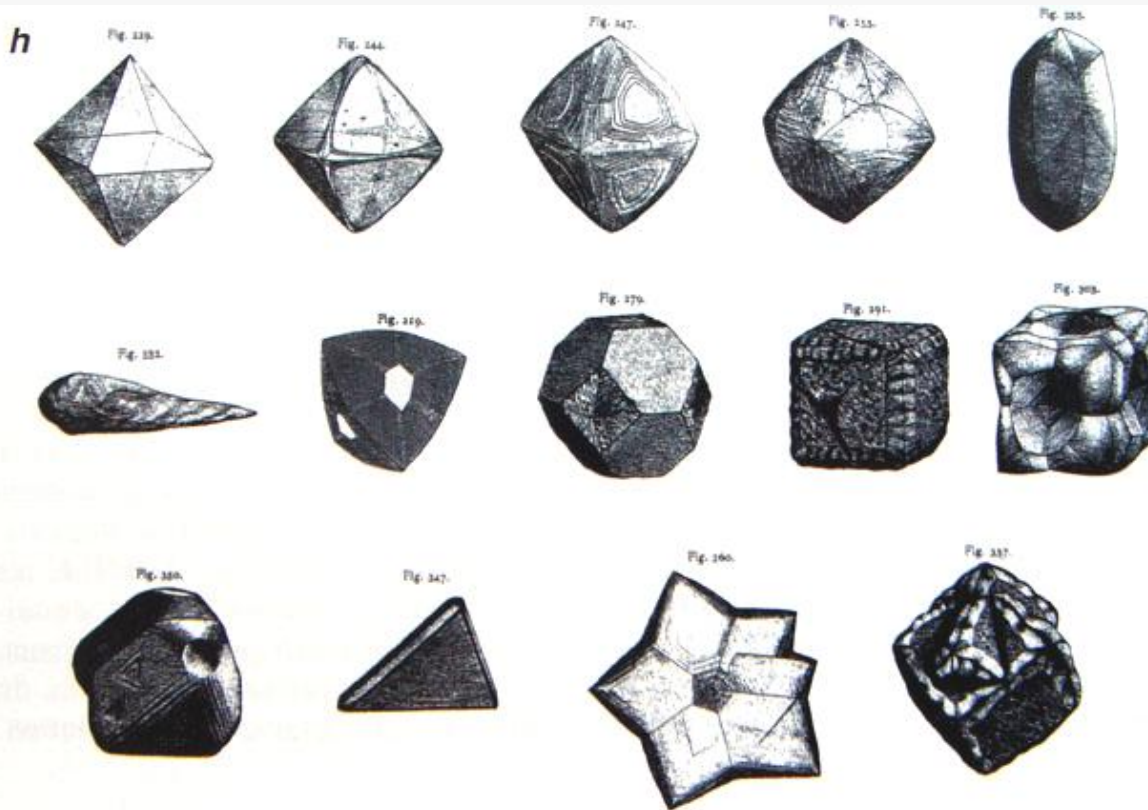
Hábito

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

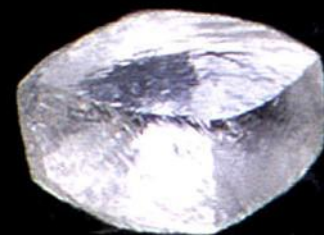


Formas do diamante – Goldschmidt 1920
e outros exemplos de hábitos em minerais

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

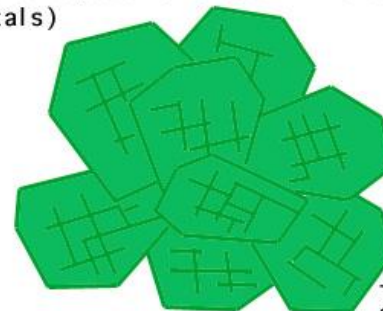
Resistência oferecida a esforços mecânicos ao ser rompido, esmagado ou dobrado.

Coesão

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



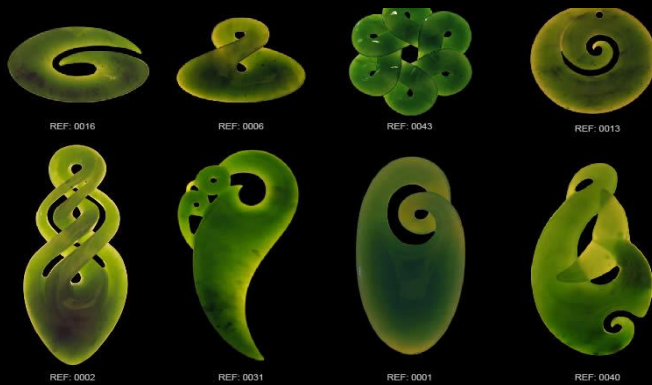
Jade usually has small interlocking crystals with cleavages at 90 degrees (although, the cleavages aren't seen in massive crystals)



- 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

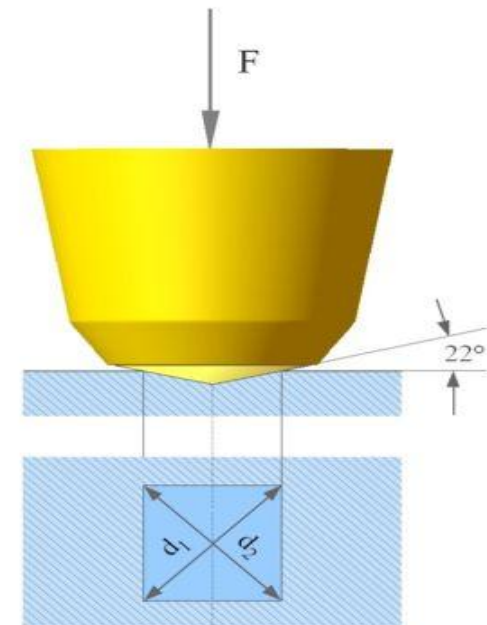
- Propriedade diretamente ligada à estrutura do cristal
- Aumenta com a densidade de empacotamento dos íons – diamante
- Aumenta com a diminuição do tamanho dos íons – calcita (3) e magnesita (4,5)



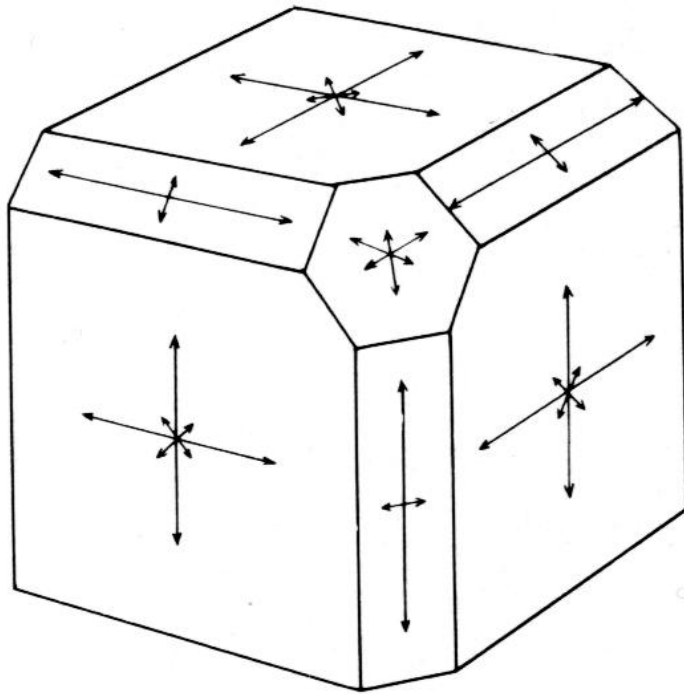
Dureza - escalas

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

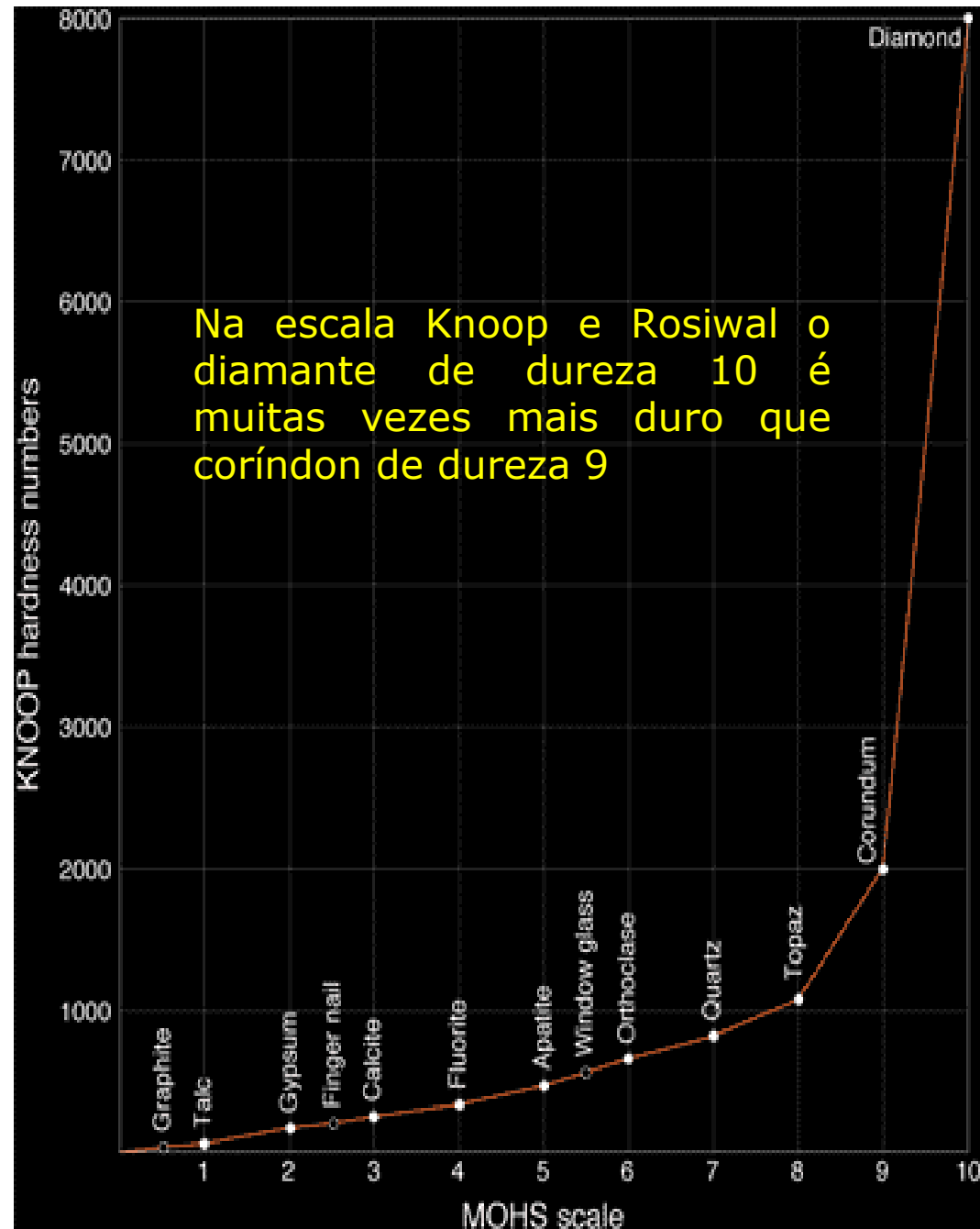
Dureza Vickers é um método de classificação da dureza baseada na **compressão de uma ponta piramidada**. Neste método, é usada uma pirâmide de diamante que é comprimida, com uma força arbitraria "F", contra a superfície do material. Calcula-se a área "A" da superfície impressa pela medição das suas diagonais.



Dureza - anisotropia

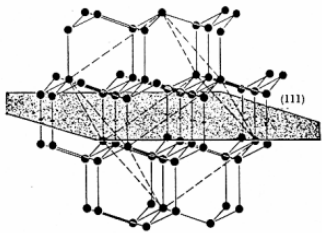


Propriedade vetorial – varia conforme certas direções nas faces dos cristais

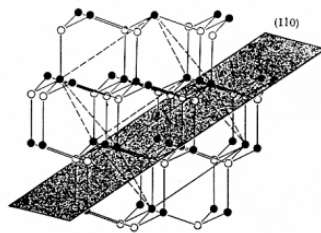


Clivagem

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



diamante C

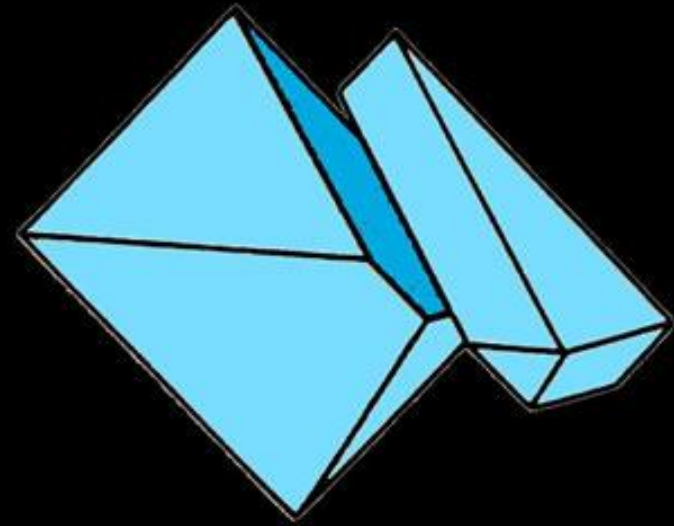


esfalerita ZnS

- 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

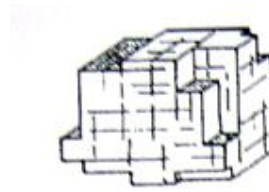


Clivar é uma das etapas na lapidação do diamante



Clivagem

- Perfeita
- Boa
- Ruim
- Ausente



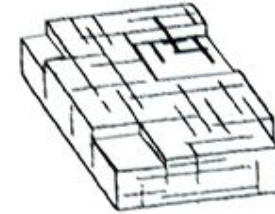
Cúbica



Octaédrica



Dodecaédrica



Romboédrica

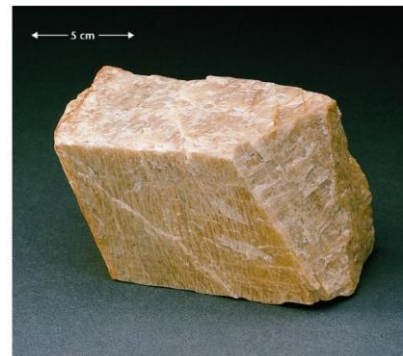


Prismática



Pinacoidal

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



Clivagem

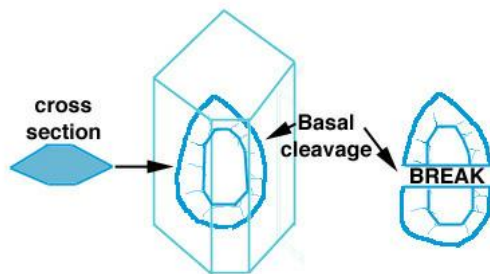
Fluorita: 4 direções, 8 faces octaédrica



Halita . 3 direções, 6 faces, cúbica

← 5 cm →

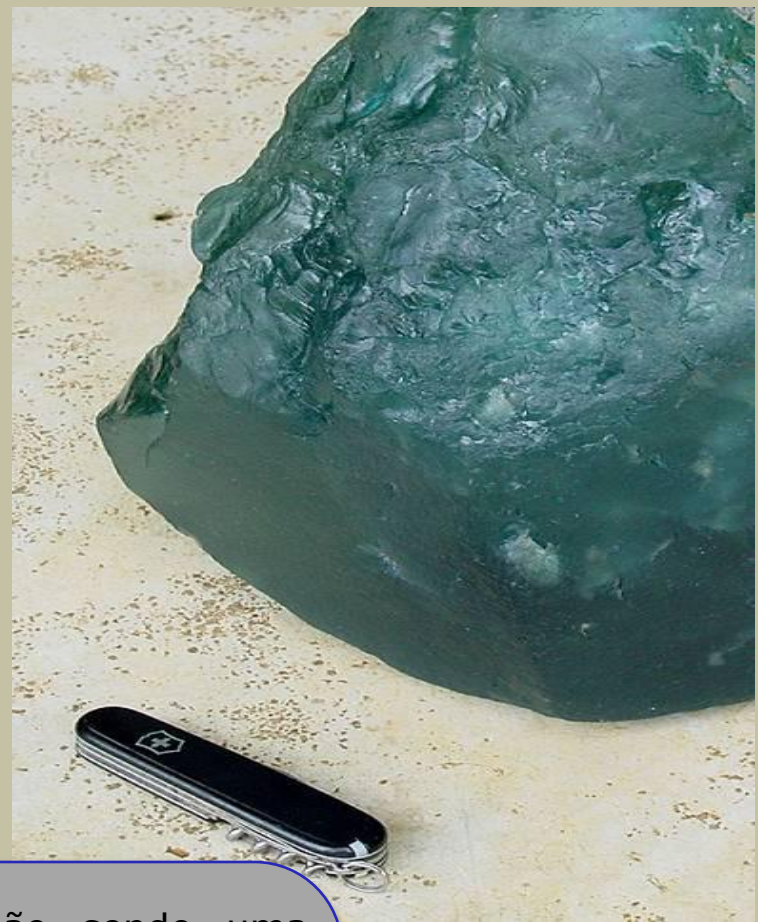
Calcita. 3 direções, 6 faces romboédrica



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.

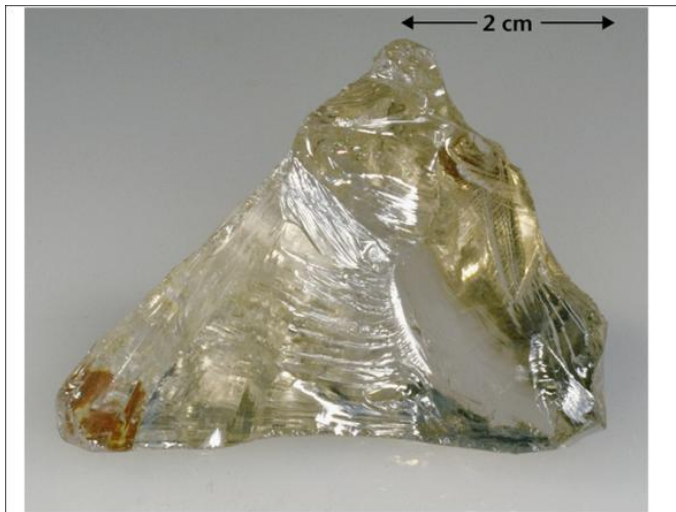
Fratura conchoidal: consiste em superfícies lisas e côncavas, semelhantes ao interior de uma concha. Ex. quartzo, opala, calcedônia, obsidiana.

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

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

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

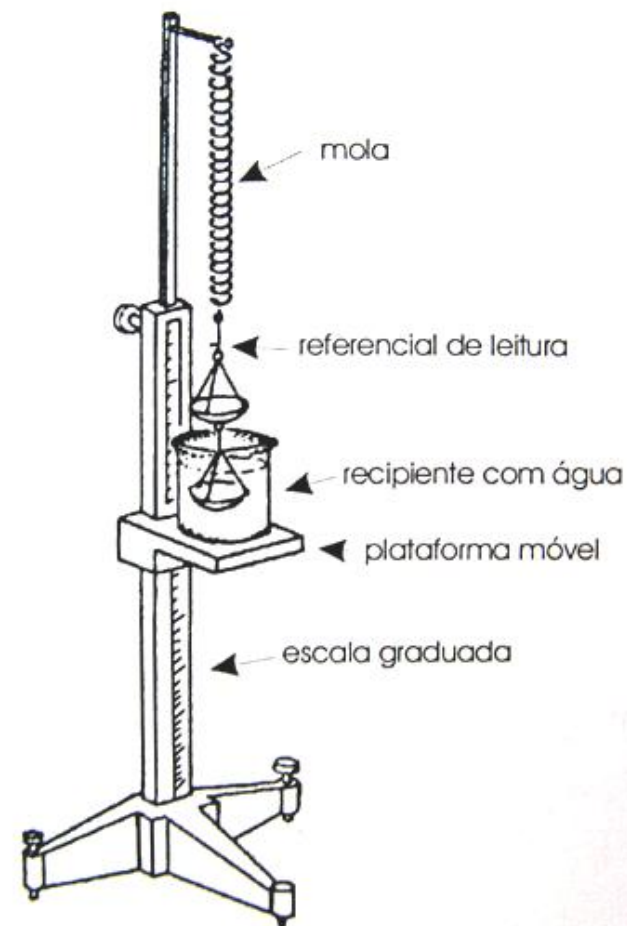


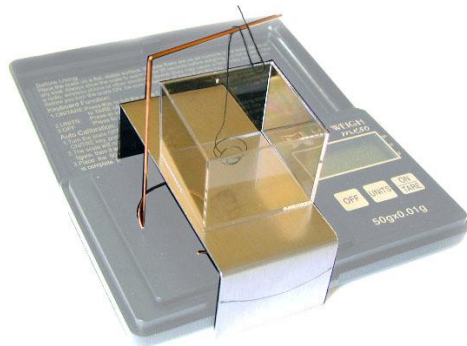
Figura 8 - Balança de Jolly.

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

Métodos de medição da densidade

Balança hidrostática
Líquidos densos
Leveridge e calibradores



Topázio azul X Água marinha

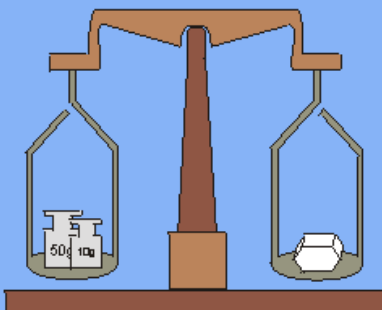
3,30 X 2,72



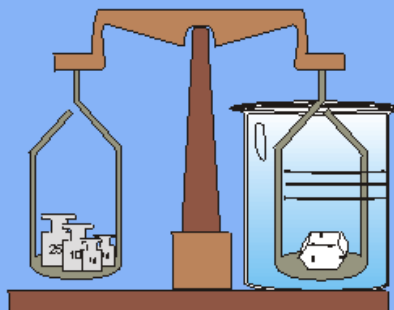
TURMALIN	JADEIT	SPINELL
3.06	3.32	3.65
3.32	3.32	3.32

242

Determinación del peso específico con una balanza hidrostática aprovechando la boyancia de un cuerpo en agua



1. Se mide el peso de la muestra mineral en aire
En este ejemplo la muestra pesa 60g.
2. Se mide la muestra hundiéndola en un vaso de agua.
En este ejemplo la muestra pesa 37g.
3. La diferencia de peso entre la muestra en aire y la muestra en agua da el volumen de agua reemplazada por la muestra.
En este ejemplo el volumen de agua reemplazada es $60g - 37g = 23g \Rightarrow 23cm^3$ (a $t = 4^\circ C$).



4. Se calcula el peso específico como cociente entre el peso de la muestra y su volumen, o es decir:
$$\frac{\text{peso de la muestra en aire}}{(\text{peso de la muestra en aire} - \text{peso de la muestra en agua})}$$

En este ejemplo el peso específico de la muestra es:
 $60g / (60g - 37g) = 60g / 23g \Rightarrow 2,6 g/cm^3$. La albita por ejemplo tiene un peso específico de este valor.
5. El valor del peso específico determinado con este método es exacto hasta la primera decimal.

A una temperatura $t = 4^\circ C$
un volumen de $1cm^3$
de agua pesa 1g.
Trabajando a una
temperatura ambiental
elevada se aplica una
corrección para
la temperatura.

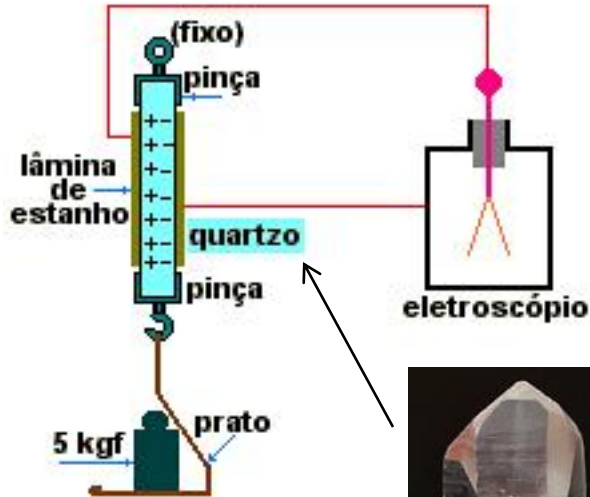
Batazlioti, SGRIM-Kee, 1999



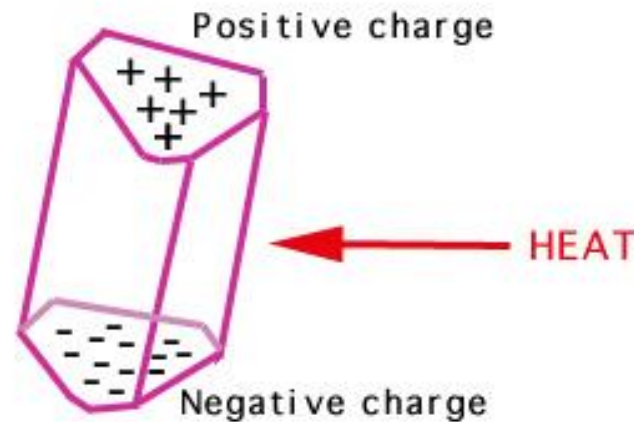
Propriedades elétricas

- 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

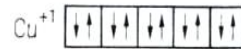


A pista da boate do Sustainable Dance Club, em Roterdã, é um exemplo de aplicação da piezoeletricidade. No piso, placas de 65 x 65 cm se movimentam verticalmente sob os passos de dança e geram entre 5 e 10 w, dependendo do vigor do movimento. “A **energia alimenta as luzes e o som do local**, que ganham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

Magnetismo

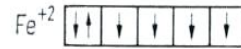
- Magnetismo: atração por um campo magnético externo - susceptibilidade magnética - alinhamento dos *spins* - **minerais com Fe**

diamagnetisch



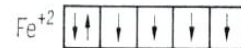
Kupfer Cu

paramagnetisch



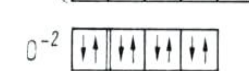
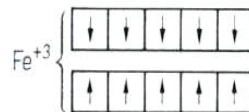
} Pyrit FeS_2

ferromagnetisch



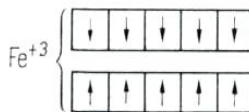
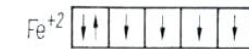
Kamazit Fe

antiferromagnetisch

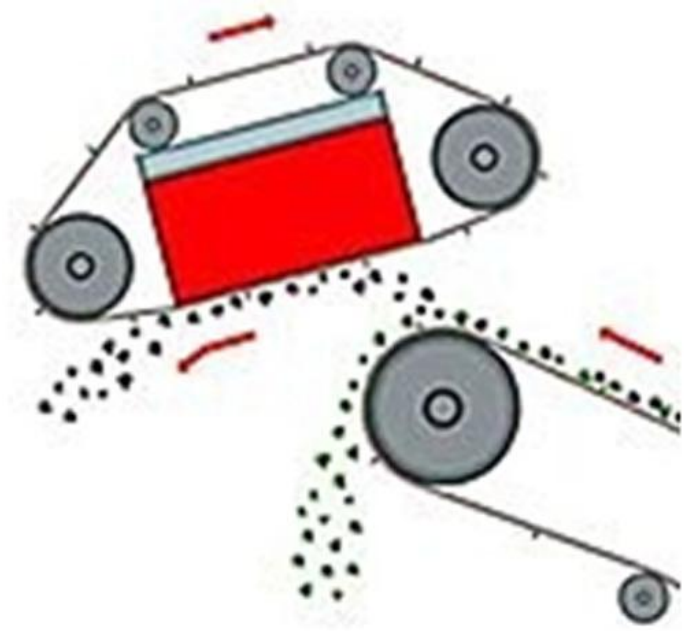


} Hämatit Fe_2O_3

ferrimagnetisch



} Magnetit Fe_3O_4



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 da cristalografia
- Cor e traço
- Brilho
- Diafaneidade
- Refração
- Birrefringência
- Pleocroísmo
- Dispersão
- Luminescência

Cristalografia

Isotrópicos

cúbico

Anisotrópicos

hexagonal

trigonal

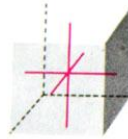
tetragonal

ortorrômbico

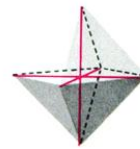
monoclínico

triclínico

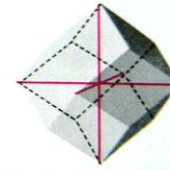
Sistema Cúbico



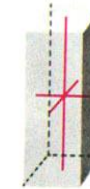
Cubo



Octaedro



Rombododecaedro



Prisma tetragonal
e e pinacóide basal



Bipirâmide



Pirâmide com prisma

Sistema Tetragonal

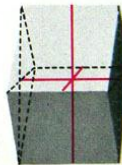
Sistema Ortorrômbico



Pinacóides



Bipirâmide



Prisma
e pinacóide

Sistema Trigonal



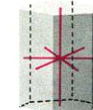
Sistema Hexagonal



Bipirâmide hexagonal



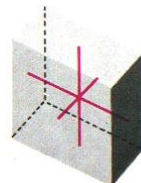
Prisma hexagonal
e pinacóide basal



Prisma hexagonal
e pinacóide basal

Sistema Triclínico

Sistema Monoclínico



Pinacóides



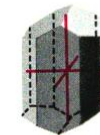
Pinacóides



Pinacóides



Pinacóides



Prismas
e pinacóides



Prismas e
Clinopinacóide

Cor

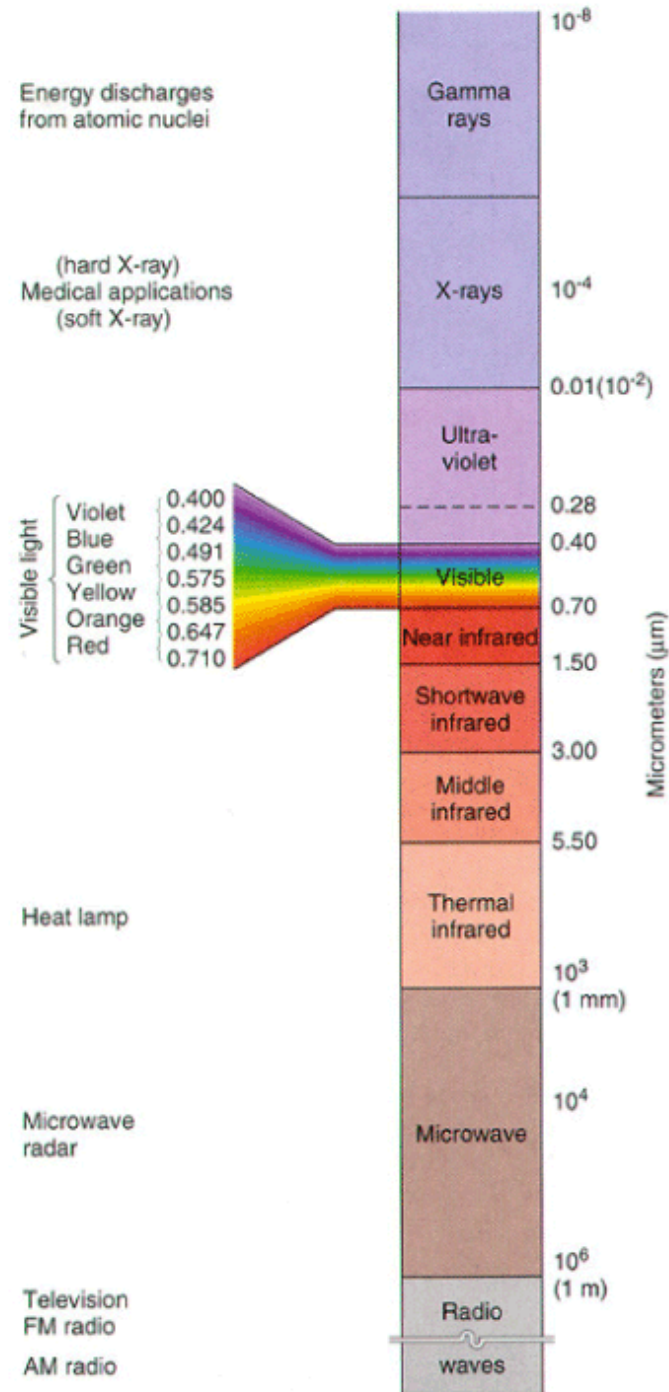
Resulta da absorção seletiva da luz

Idiocromáticos: mesma cor

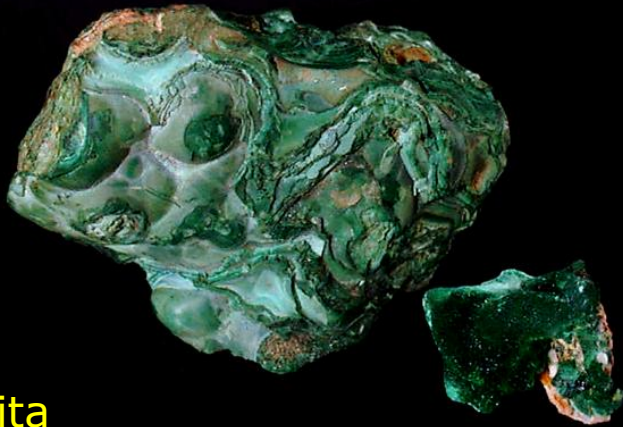
Ex. Malaquita, rodocrosita, azurita...

Alocromáticos: cor varia com impurezas que entram na estrutura do mineral

Ex. Coríndon (rubí e safiras), turmalinas (rubelita, verdelita...), berilo (água-marinha, esmeralda)



Cor - idiocromáticos



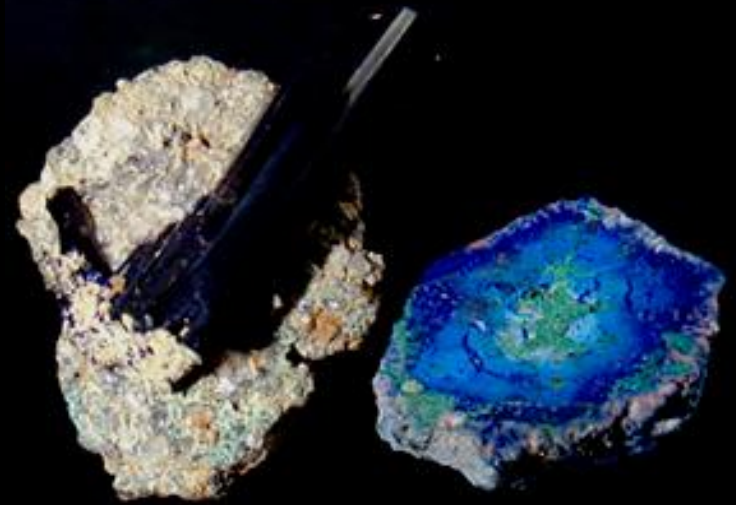
Malaquita



Rodocrosita



Enxofre



Azurita



Água marinha - Fe



Esmeralda - Cr

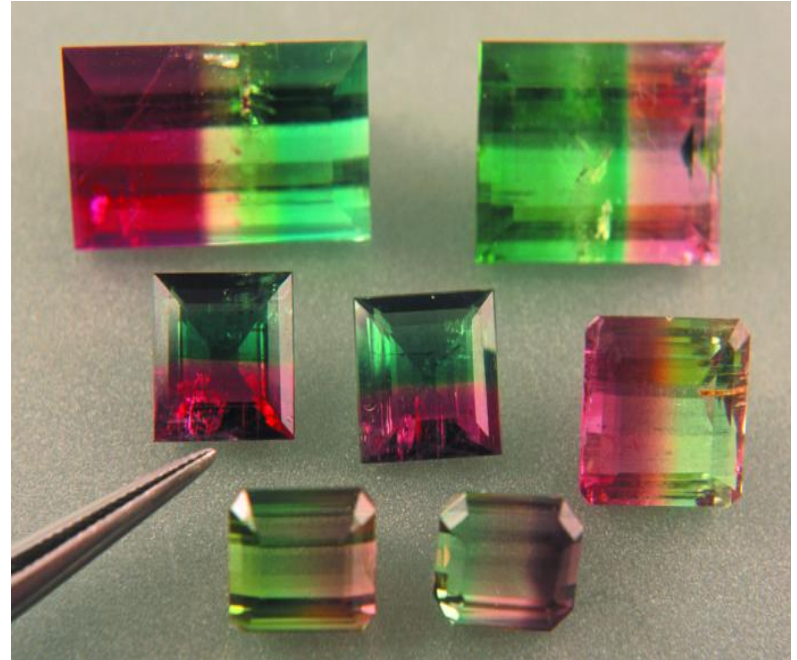
Cor - alocromáticos

Coríndon

Rubi - Cr

Safira azul - Fe e Ti

Cor - alocromáticos



Turmalina



Granada

Zoneamento de cor
Várias cores no
mesmo cristal



Cor - alocromáticos

						
D	E	F	G	H	I	J
COLOURLESS			NEAR COLOURLESS			
						
K	L	M	N-O-P-Q-R		S-T-U-V-W-X-Y-Z	
FAINT YELLOW			VERY LIGHT YELLOW		LIGHT YELLOW	

Cor e variações do branco em diamante – escala Cape

Cor - traço

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

É útil para
identificação de
minerais
opacos, mas
tem pouca
aplicação em
gemologia



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



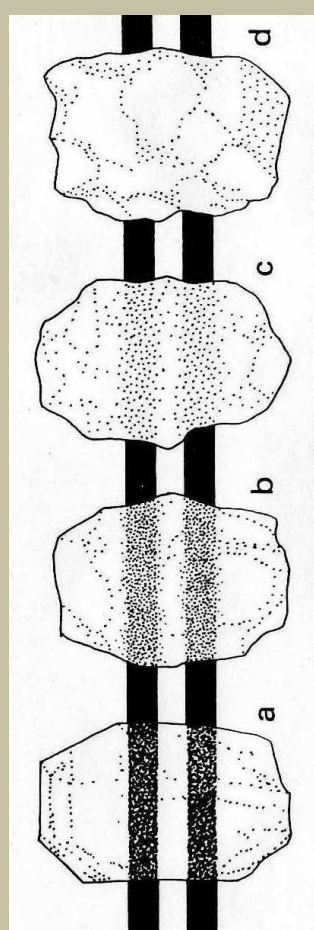
A grande maioria
das gemas
apresenta brilho
vítreo

Brilho adamantino - diamante



Diafaneidade

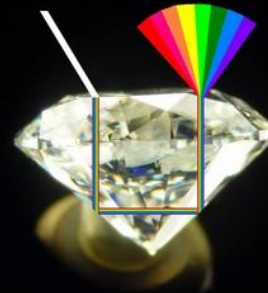
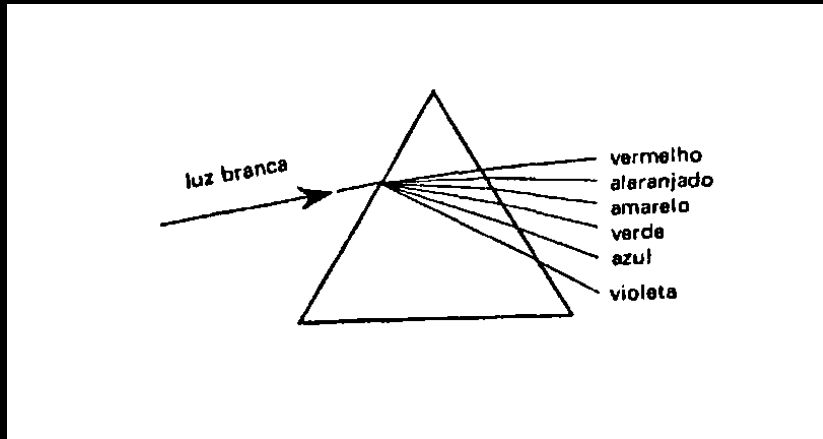
- *Minerais transparentes*: não absorvem ou absorvem pouco a luz. Ex. quartzo
- *Minerais translúcidos*: absorvem a luz consideravelmente e dificultam o reconhecimento de imagens através deles. Ex. calcedônia
- *Minerais opacos*: absorvem toda a luz. Ex: elementos nativos metálicos, óxidos e sulfetos



Translúcidos e opacos são mais adequados para cabochão

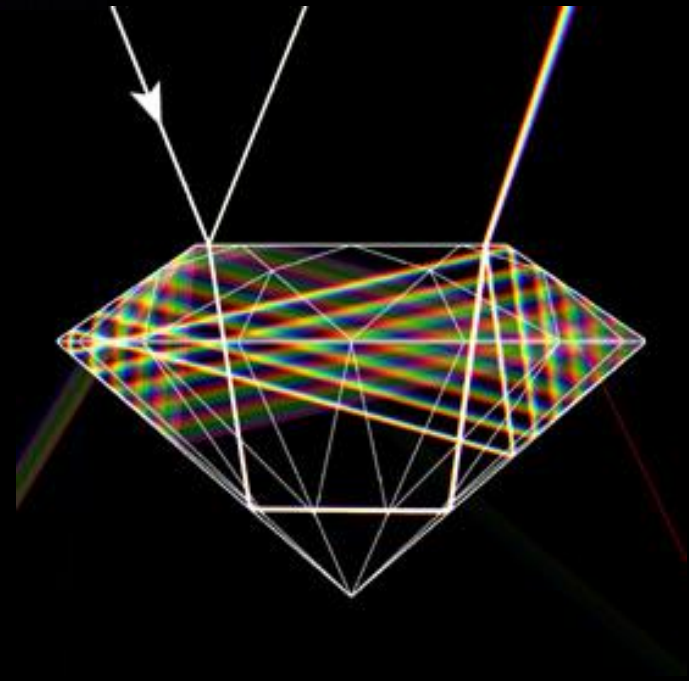


Dispersão da luz – “fogo”



Dispersão: “ir” vermelho – “ir” violeta

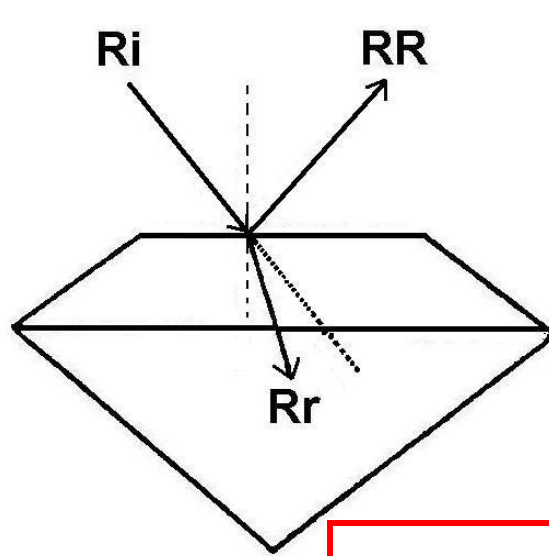
Dispersão do diamante = 0,044



No comércio:

BRILHO forte + DISPERSÃO forte (fogo) = brilhância

Índice de Refração



Ri = raio incidente

RR = raio refletido

Rr = raio refratado

linha perpendicular ao ponto de incidência da luz

trajetória do raio de luz se não fosse refratado

$$IR = V_{\text{ar}} / V_{\text{gema}}$$

Exemplo:

Veloc. luz no ar = 300.000 km/s

Veloc. luz no diamante: 125.000 km/s

$$IR_{\text{diamante}} = 300.000 / 125.000$$

$$IR_{\text{diamante}} = 2,4$$

O índice de refração é uma assinatura de cada substância o que é fundamental na identificação de gemas. A compreensão da luz refletida também é importante na lapidação

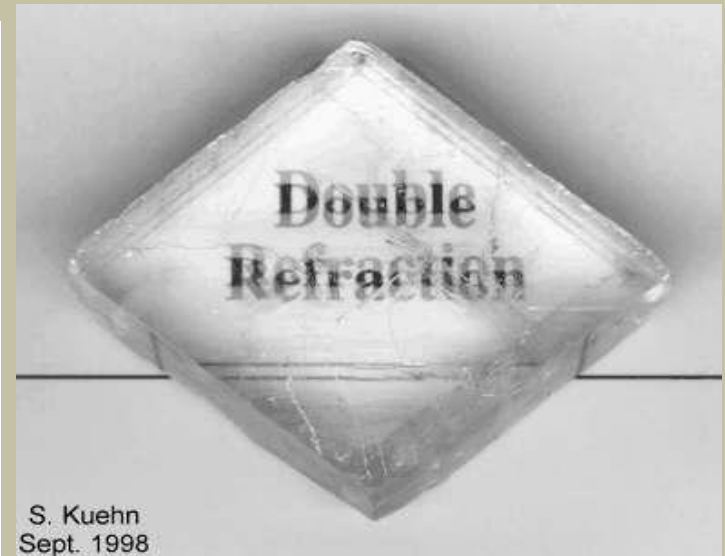
Birrefringência

Em cristais anisótropos ocorre a **dupla refração**, onde o raio de luz refratado divide-se em duas componentes em função do comportamento diferente da luz conforme a direção dos eixos

A diferença entre os índices de refração máximo e mínimo destes cristais resulta na **birrefringência**, cujo valor é um bom indicativo para diagnóstico da gema.



Exemplos de
birrefringência alta:
calcita, zircão,
moissanita



S. Kuehn
Sept. 1998

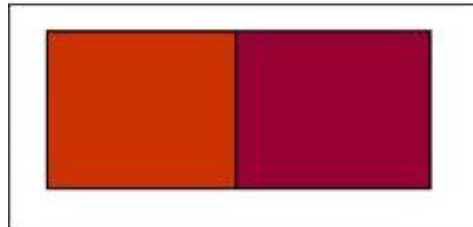
Pleocroísmo

Em gemas coloridas, transparentes e anisótropas pode ser observado o **pleocroísmo** com um **dicroscópio**.

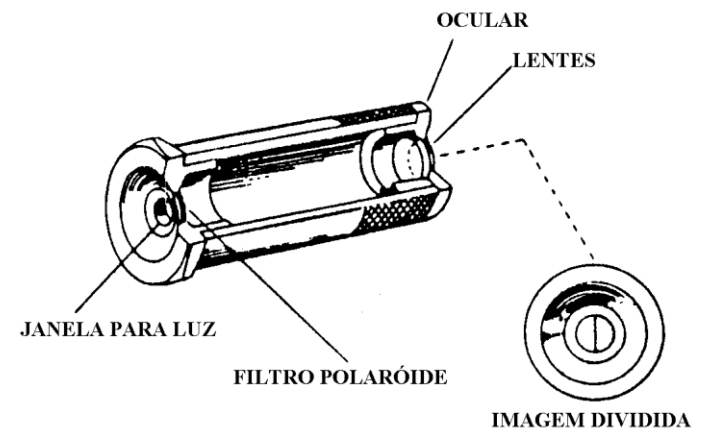
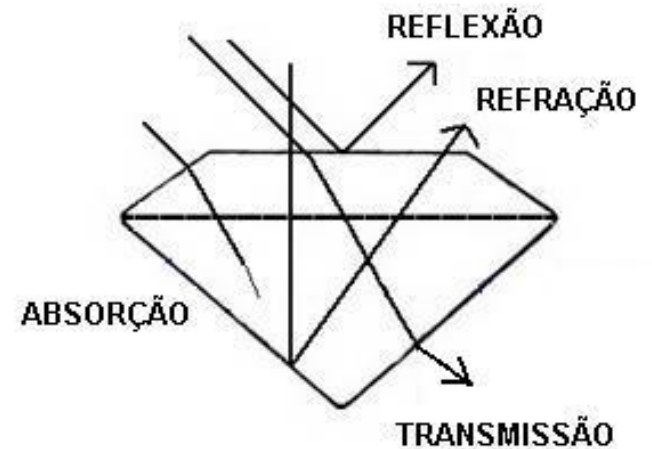
A gema apresenta cores diferentes conforme a direção cristalográfica.

O pleocroísmo pode ser diagnóstico para algumas gemas

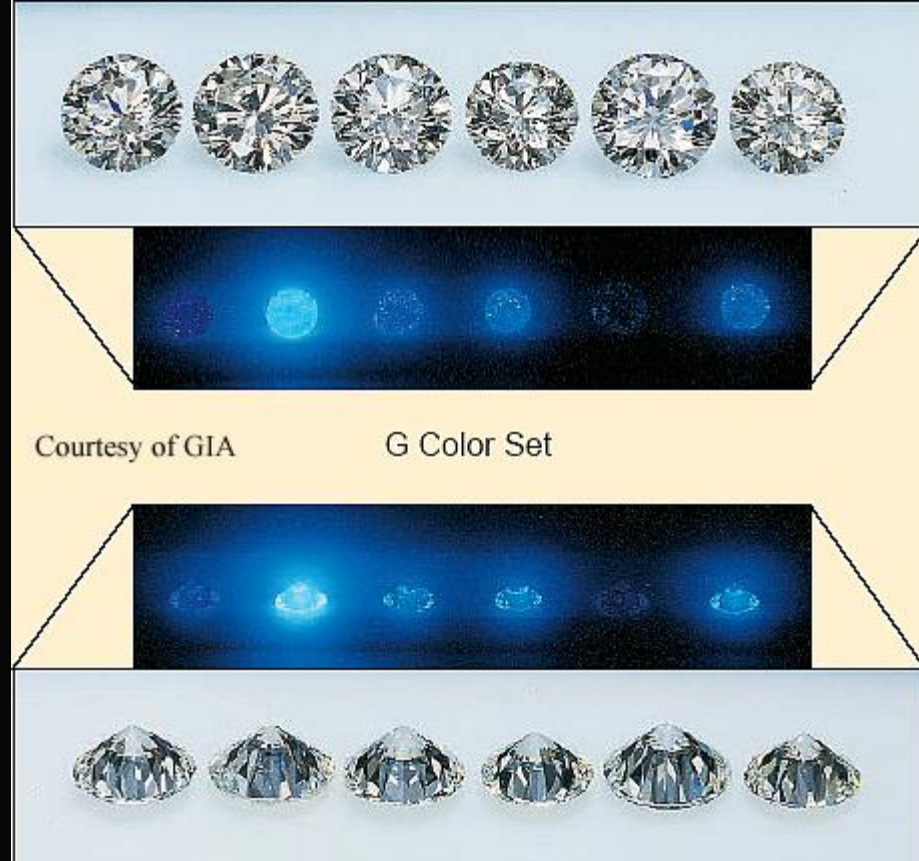
Não pode ser observado em agregados cristalinos, gemas isotrópicas, incolores ou amorfas



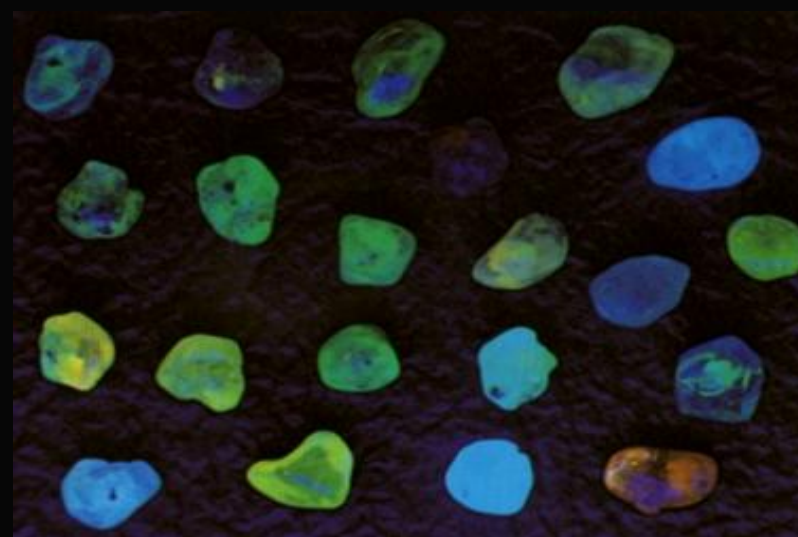
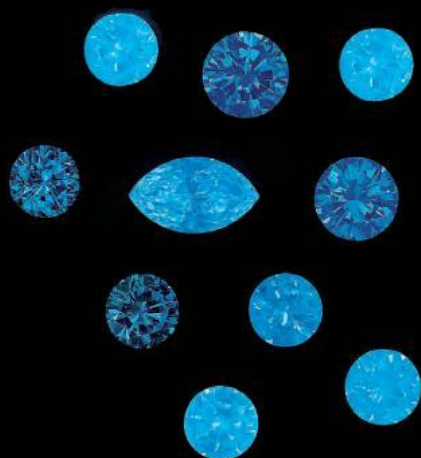
Dicroscópio

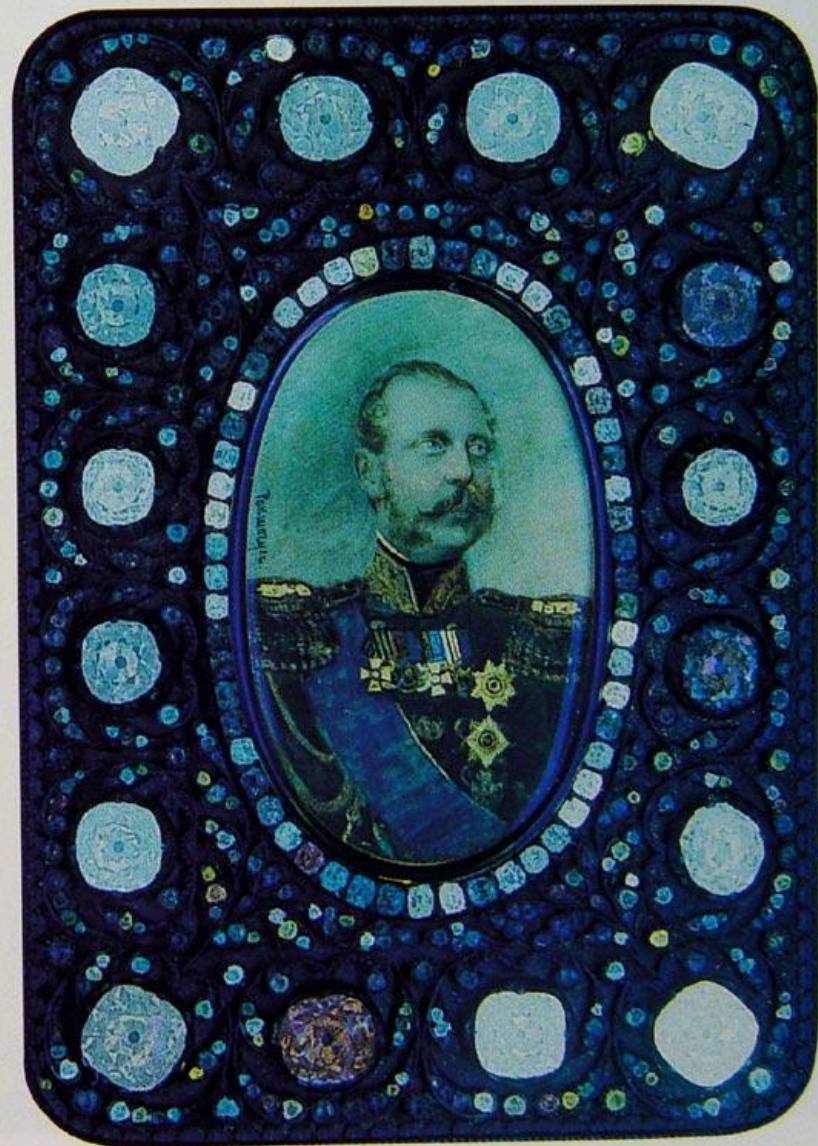


Luminescência



Fluorescência ao UV





Identificação de imitações de diamantes em jóias antigas ou em lotes

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



Análise das propriedades na gemologia

Gemologia prioriza métodos **não-destrutivos** de análise dos materiais

As propriedades **ópticas** são as mais importantes tanto na identificação como na lapidação

Em geral as amostras não apresentam mais seu aspecto natural por terem sido **polidas**.



Observações com **lupa** de inclusões ou qualidade da lapidação trazem importantes informações sobre o material

Densidade é medida em balanças hidrostáticas

Propriedades ópticas são observadas em: polariscópio, dicroscópio, microscópio, lâmpada UV, refratômetro, reflectômetros, filtros especiais, etc..

Excepcionalmente utilizam-se pontas de dureza e **análises destrutivas** como retirada do pó para difratometria de RX ou riscos na cintura da gema.

Análise das propriedades físicas (s.s.)



Análise das propriedades ópticas



quarzo aventurinina verde



650

cromocalcedonio
verde intenso



480

calcedonio verde
tinto artificialmente





Para saber mais...

- **Anderson, B. W.** 1984. A identificação das gemas. Rio de Janeiro. Ao Livro Técnico. 460p.
- **Hurlbut Jr. C.S. & Switzer G.S.** 1980. Gemologia. Barcelona, Omega. 243p.
- **Schumann, W..** 2002. Gemas do Mundo. 9. ed. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico. p. 280.
- **Klein C. & Hurlbut Jr. C.S.** 1993. Manual of Mineralogy. 21. ed. New York, John Wiley & Sons. 681p.