

Antonio Liccardo

**A cristalografia e sua
correlação com a gemologia**

Área de Mineralogia-Gemologia
UFOP

Programação

- Cristalografia e gemologia
- Estados de agregação da matéria
- Cristalografia estrutural
- Crescimento de cristais
- Estrutura e defeitos cristalinos
- Tipos de ligações químicas
- Cristalografia e propriedades físicas
- Bibliografia recomendada

- **Conceitos gerais**

- **Gemologia** – a maior parte dos materiais estudados são minerais. Alguns materiais são sintéticos ou artificiais.
- **Mineralogia** – por definição supõe uma estrutura cristalina, portanto baseia-se na cristalografia.
- **Cristalografia** não se restringe apenas aos minerais, pois compreende processos de desenvolvimento de cristais sintéticos e orgânicos.
- Na gemologia os conceitos de cristalografia são fundamentais, tanto para a compreensão dos **minerais gemológicos** como para os processos de produção de **simulantes** artificiais ou sintéticos.

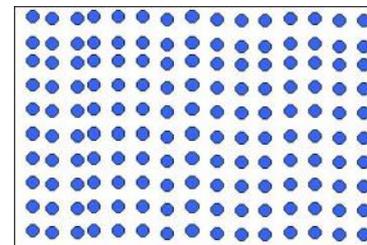
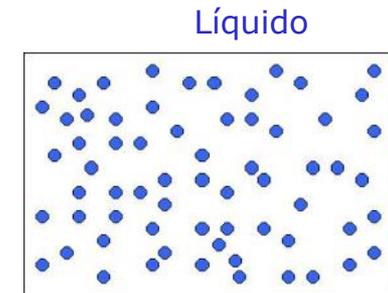
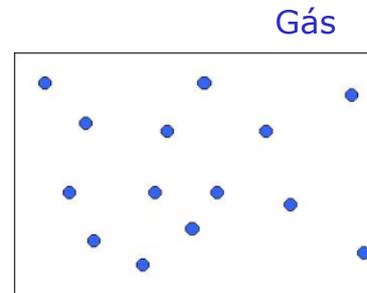
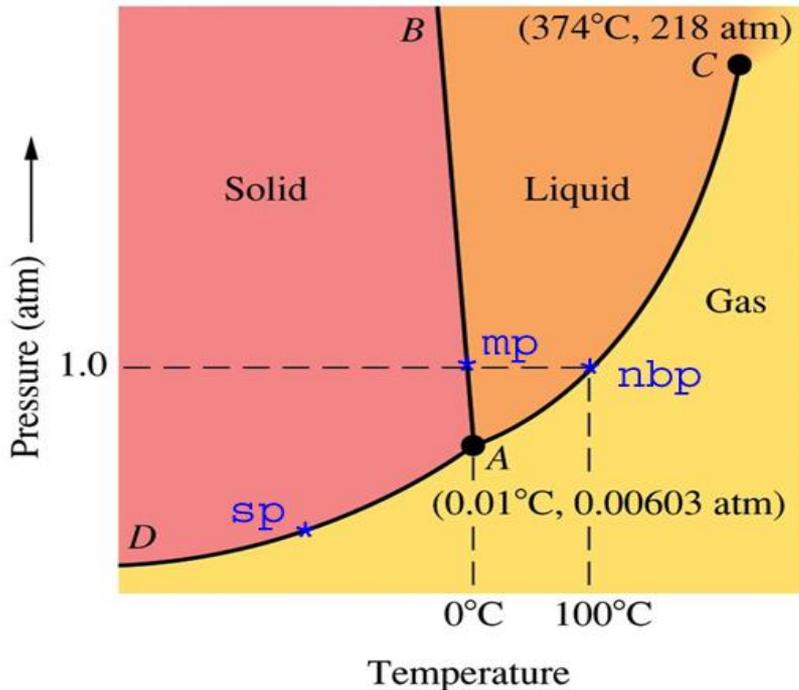
- **Cristalografia morfológica** – apesar de seu importante papel na evolução da mineralogia **definindo os limites externos dos cristais**, é hoje um campo científico encerrado.
- **Cristalografia estrutural** – se ocupa da estrutura, ou seja, da **ordem tridimensional** periódica das partículas que constituem o cristal.
- **Cristalografia química** – é o campo que estuda a relação entre a estrutura interna dos cristais e suas propriedades físico-químicas.
- **Cristalografia física** – correlaciona as propriedades físicas dos minerais com sua estrutura cristalográfica fundamental.

A cristalografia tem ampla aplicação não só no entendimento de cristais **naturais** (mineralogia e gemologia), como também na fabricação de cristais **sintéticos ou artificiais**.



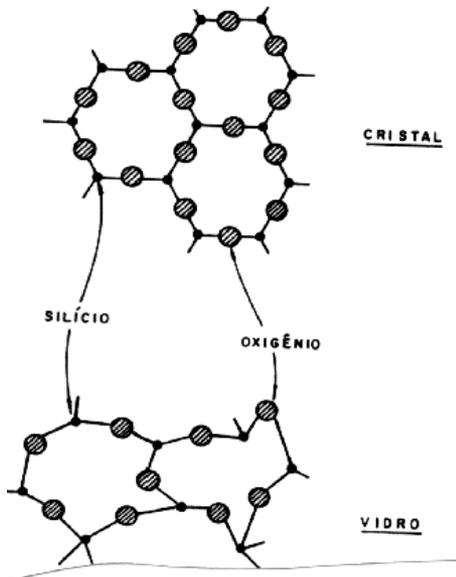
• Estados de agregação da matéria

- Gasoso (pequena quantidade de identidades – átomos, íons, moléculas e pequeno n° de colisões)
- Líquido (maior quantidade de identidades e maior n° de colisões)
- **Sólido** (grande aproximação dos constituintes e pouquíssimas colisões)
1cm³ de matéria sólida contém 10^{22} átomos, com distâncias de 10^{-16} m.



• Matéria cristalinas e amorfas

- **Cristal** – quando os constituintes da matéria no estado sólido apresentam-se organizados em **estruturas regulares** e definidas.
Ex. a maioria dos minerais, sal, açúcar...
- **Amorfo** – quando os constituintes se distribuem de maneira aleatória e eventual, irregular, **sem estrutura** definida. Do ponto de vista estrutural as substâncias amorfas se assemelham aos líquidos.
Ex. vidro, alguns mineralóides...

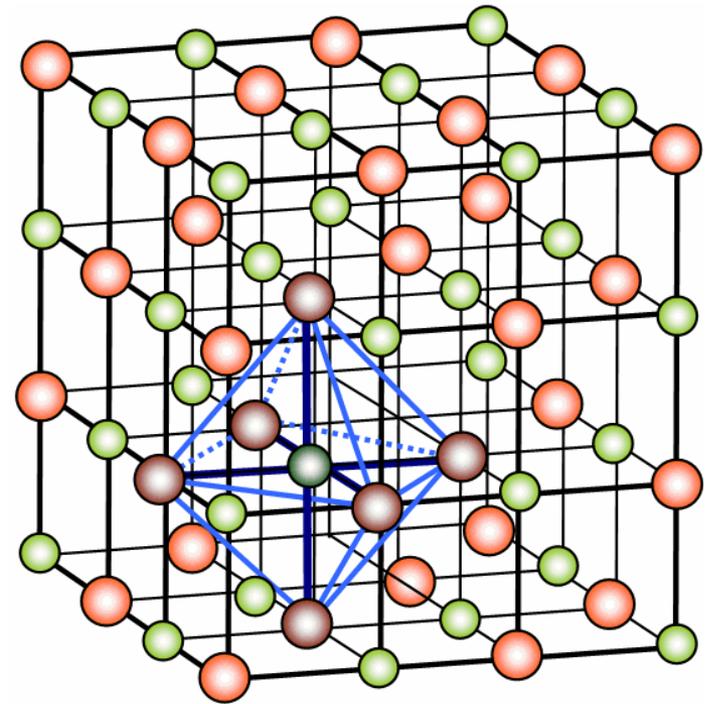


Amorfo é geralmente aceito como o **oposto** de estrutura cristalina. Esta substância pode ser **rígida**, no entanto não possuem a estrutura de uma substância sólida.

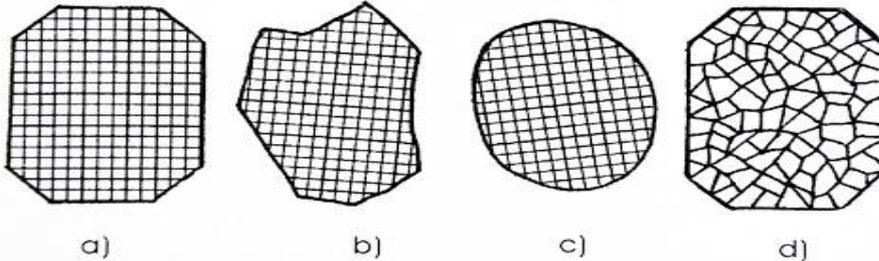
As substâncias amorfas podem ser **líquidas ou gasosas**, já que não possuem estrutura atômica definida. Algumas substâncias comuns no dia-a-dia são amorfas, como o **vidro**, poliestireno ou até mesmo o algodão doce.

- **Estrutura cristalina**

Arranjo geométrico bem definido dos átomos, ou seja, agrupamentos que se **repetem nas três direções** do espaço.



Estrutura cristalina do NaCl



A **estrutura interna** é a característica básica de um cristal, não importando a forma externa. Este é um fator de grande importância para a gemologia, já que as **amostras são lapidadas**.

O conceito de cristal é fundamental na gemologia, não obstante possam ser utilizadas substâncias amorfas naturais e artificiais como gema. Ex. "cristais" Swarowski, Murano, Baccarat ou a obsidiana e vidros naturais.



"Cristais"
Swarowski

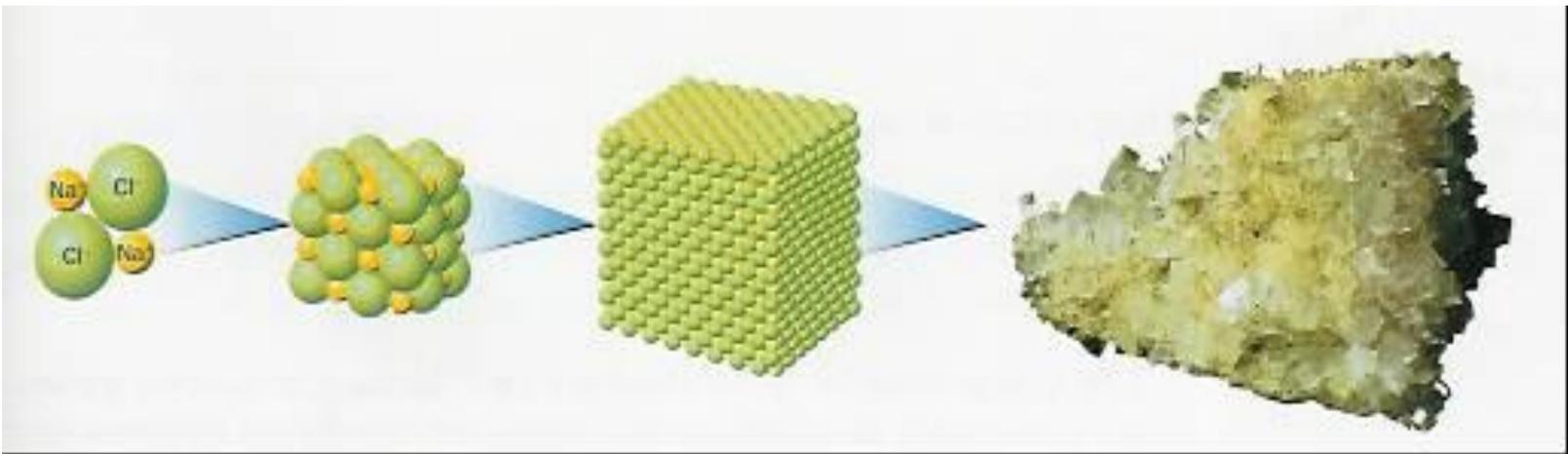


Quartzo e
"vidro-cristal"



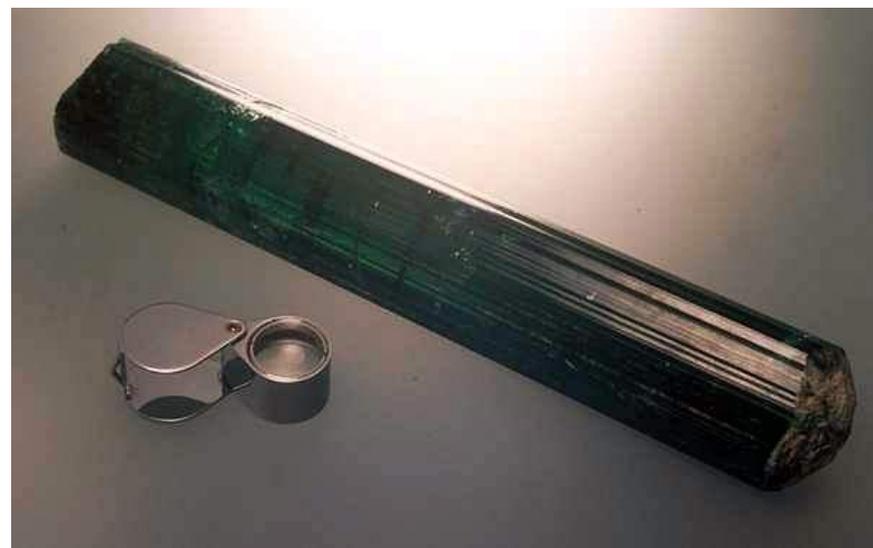
- **Cristalografia estrutural**

- Formação da estrutura cristalina
- Cella unitária e retículo cristalino
- Simetria
- Classes de simetria
- Sistemas cristalinos
- Formas cristalinas





Cristais variam muitíssimo de tamanho, conforme as condições de ambiente para o crescimento. De **nanocristais** de diamante em meteoritos a gigantescos **megacristais**, como os cristais de selenita em Naica, México.



American Golden Topaz – MG - Smithsonian

Para uso gemológico cristais de maiores dimensões e bem desenvolvidos proporcionam maior aproveitamento de lapidação e são mais procurados.

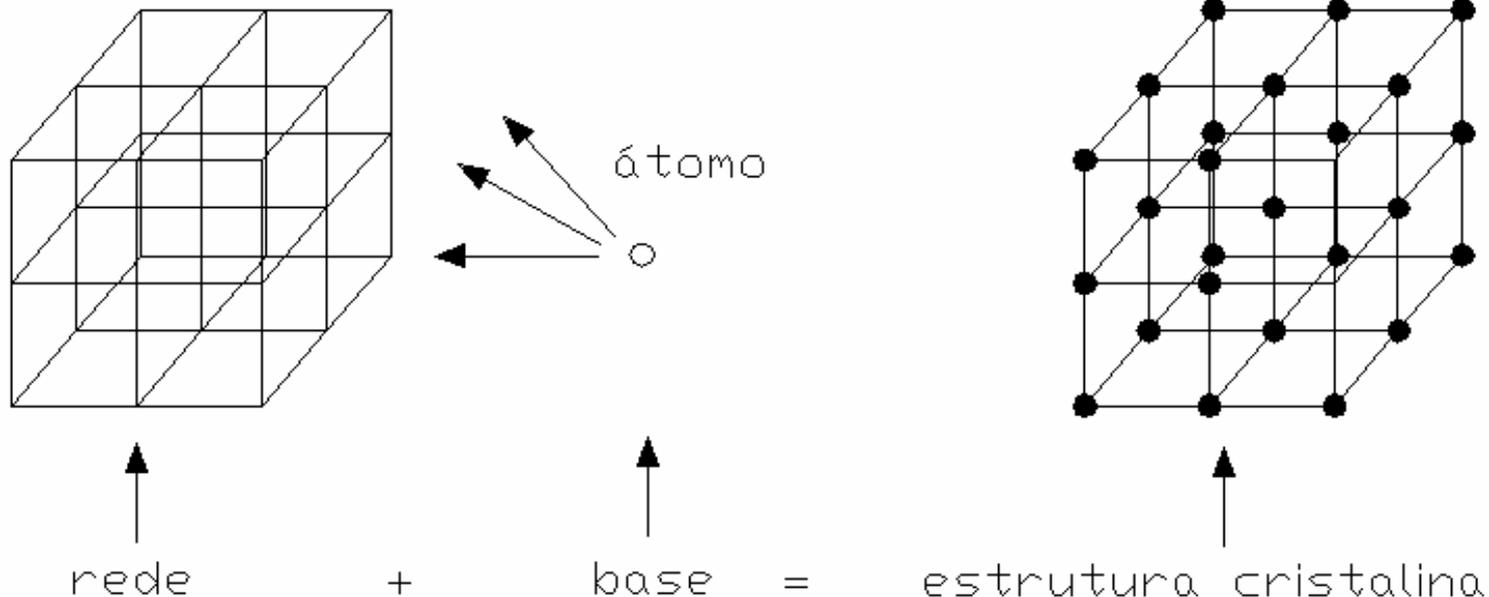
Pegmatitos e geodos em basaltos são os melhores contextos para gemas por permitirem cristalizações especiais.

• Formação da estrutura cristalina

Uma rede é definida por um **agrupamento periódico regular** de pontos no espaço, uma abstração matemática.

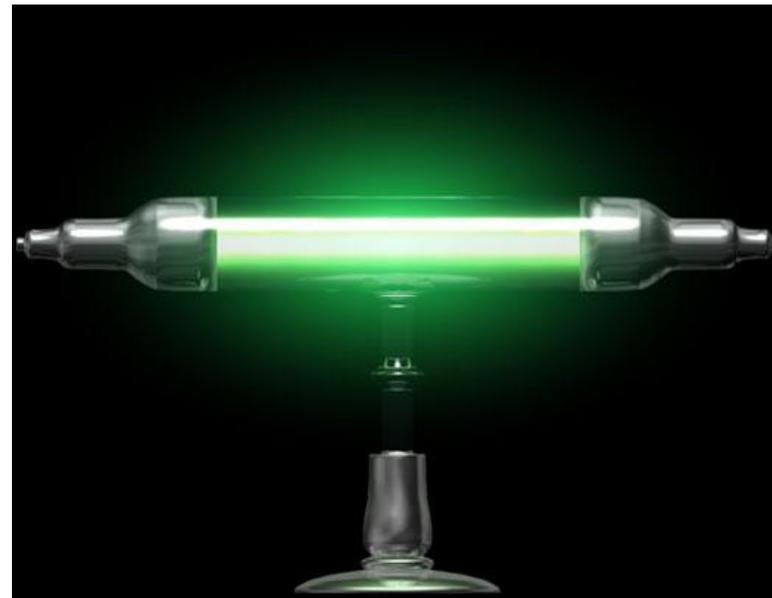
A estrutura cristalina forma-se então com uma base de átomos ligados a cada ponto da rede (unidade estrutural): **rede + base = estrutura cristalina**.

- Rede = estrutura geométrica
- Base = distribuição dos átomos em cada ponto da rede.

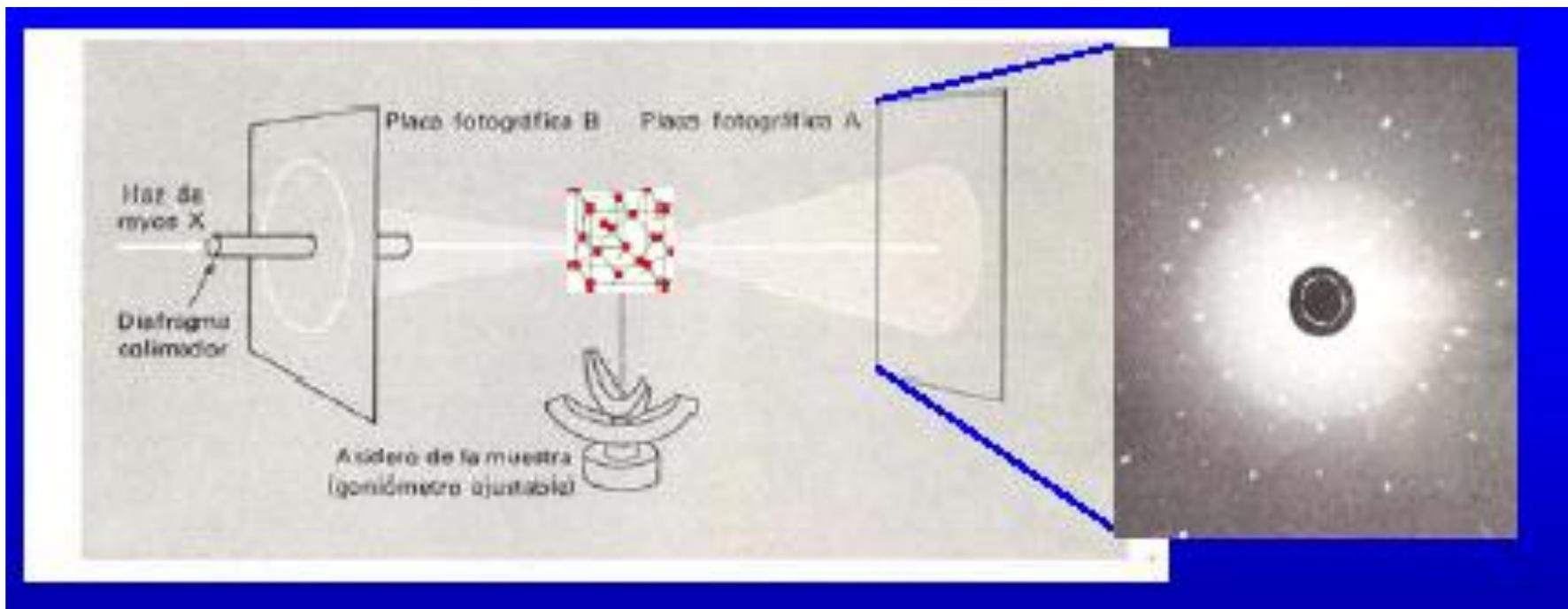


Difração de raios X

O arranjo cristalino das substâncias foi comprovado pelo uso de técnicas de difração de raios X.



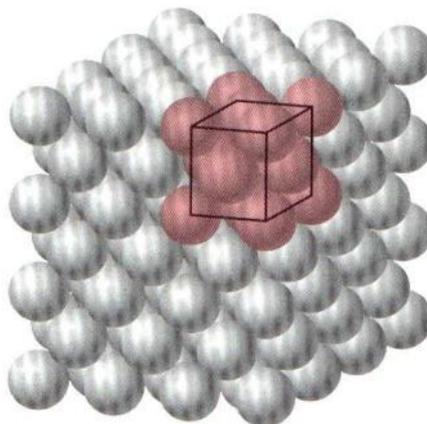
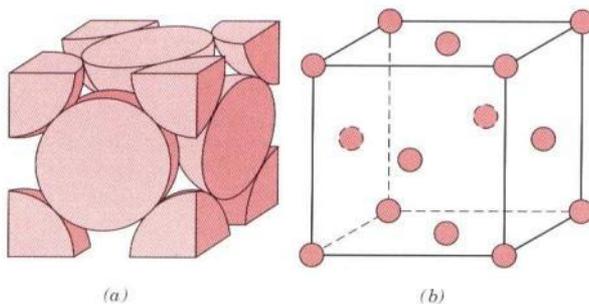
Técnica de Laue para monocristais



- **Cela unitária**

Estrutura mínima de um cristal que melhor enfoque a sua simetria e que possua o maior número de ângulos retos possível, ou maior número de ângulos iguais ou de arestas iguais.

A cela consiste num pequeno grupo de átomos que formam um **modelo repetitivo** ao longo da estrutura tridimensional (analogia com elos da corrente). É usada para **especificar um dado arranjo** de pontos em um retículo cristalino.



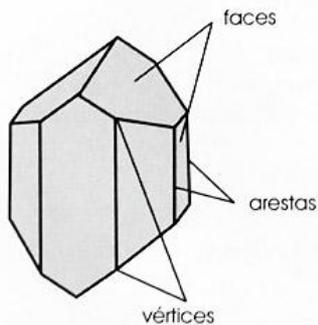
Cela Unitária

- **Retículo cristalino**

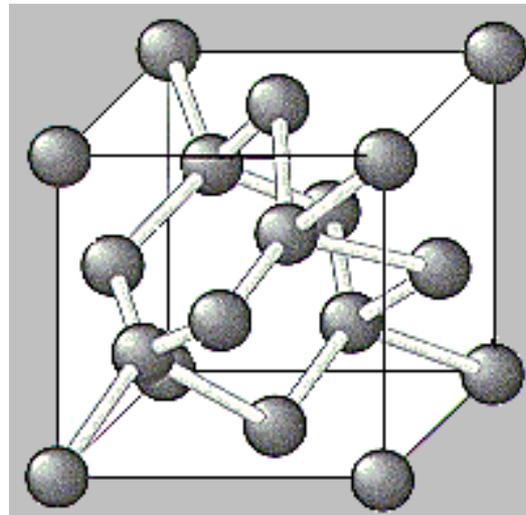
TEORIA RETICULAR

BRAVAIS (1850):

Comportamento de certas **propriedades** da matéria cristalina estão relacionadas ao **arranjo interno** das suas partículas.



ARRANJO INTERNO:
aparecimento de uma **forma poliédrica** com faces, arestas e vértices.



- **Retículo cristalino**

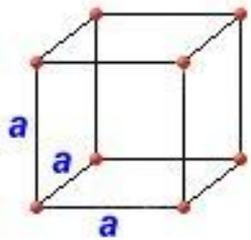
RETÍCULOS DE BRAVAIS

Um retículo cristalino é um conjunto periódico no qual as celas unitárias são repetidas.

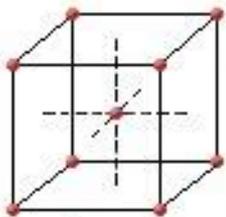
Estrutura cristalina é um arranjo de **átomos reais, dinâmico e sujeito a imperfeições**, enquanto o retículo espacial é simplesmente um conjunto de pontos no espaço, uma **abstração geométrica**.

Existem **14 retículos** espaciais ou retículos de Bravais, modos de dispor os pontos no espaço, de tal forma que tenham sempre um mesmo ambiente.

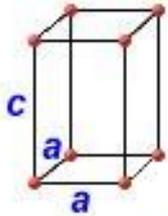
AS 14 REDES DE BRAVAIS



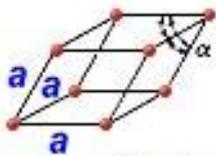
de face centrada



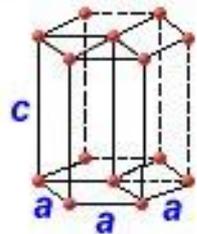
de corpo centrado
cúbico



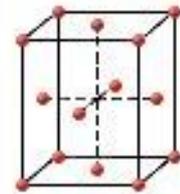
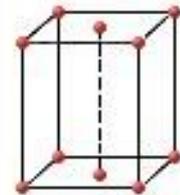
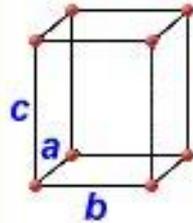
de corpo centrado
tetragonal



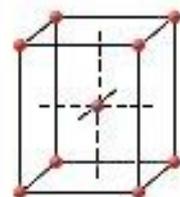
romboédrico



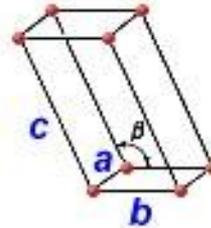
hexagonal



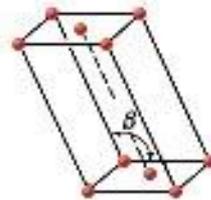
de face centrada



ortor-
rômico



monoclínico



triclínico

Podem ser identificados **14 tipos diferentes de celas unitárias**, conhecidas como redes de Bravais, sendo que cada uma apresenta características próprias.

- **Simetria – cristalografia morfológica**

Cristais crescem em sistemas lógicos e regulares que apresentam simetria em diversos graus.

parâmetros de simetria

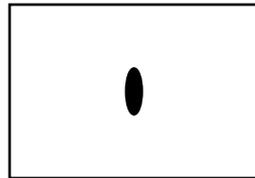
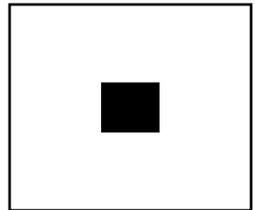
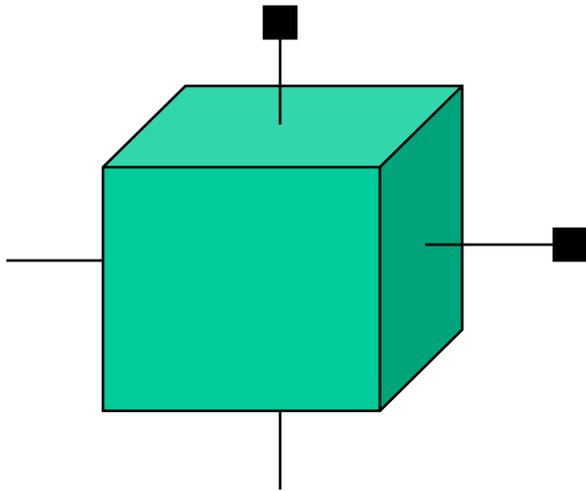
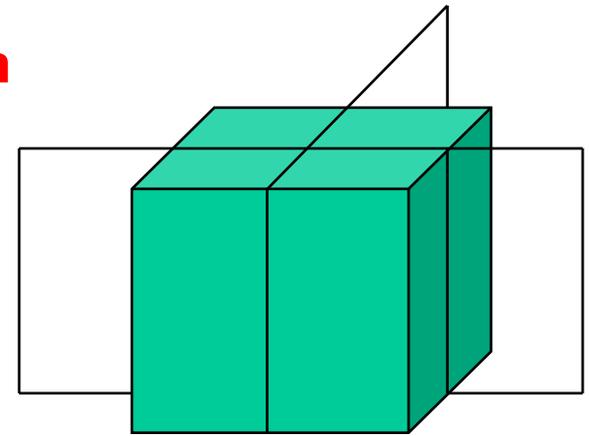
- Plano de simetria
- Eixo de rotação
- Centro de simetria
- Eixo de inversão

operações fundamentais

- Rotação
- Reflexão
- Inversão rotatória

• Simetria – cristalografia morfológica

Planos de simetria (P) – reflexão (mirror – m)



2-fold



3-fold

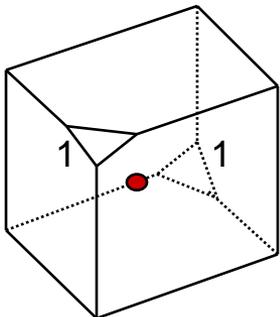


4-fold



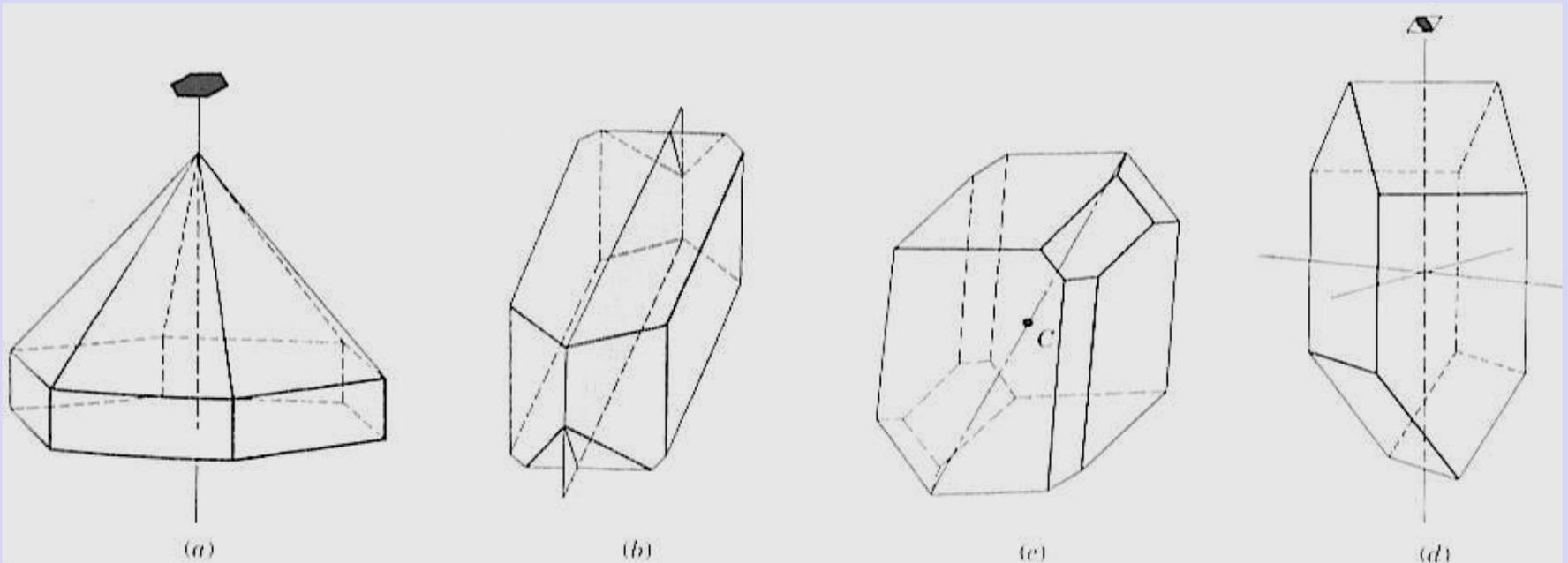
6-fold

Eixos de rotação
binário, ternário,
quaternário e
senário



Centro de simetria (C)

- **Simetria – cristalografia morfológica**



Rotação

Plano de reflexão

Centro de simetria

Rotação com inversão

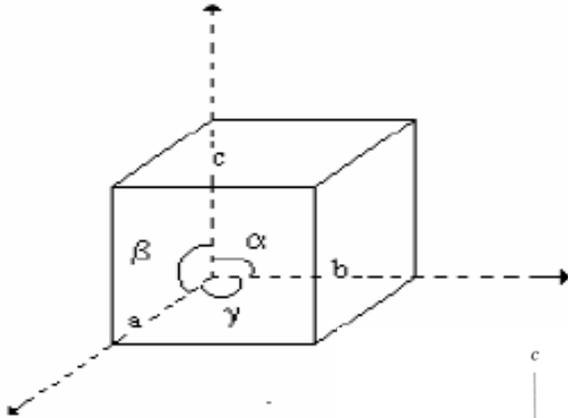
As Trinta e Duas Classes Cristalinas

• Classes de simetria

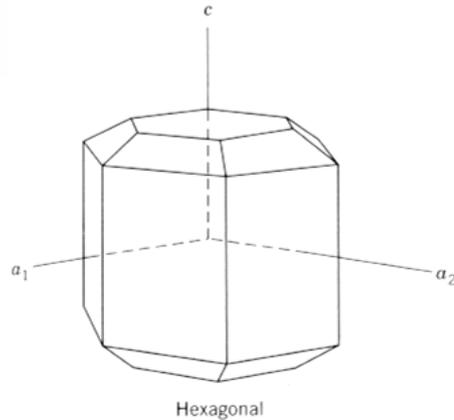
Por dedução lógica considerando as operações e os elementos de simetria só existem **32 classes cristalinas** que são agrupadas em sete sistemas

Sistema cristalino	Classe cristalina	Símbolos de Hermann-Mauguin	Simetria
Isométrico	Hexaoctaédrica Giroédrica (Icositetraédrica pentagonal)	$4/m \bar{3} 2/m$ 432	$C, 3A_4, 4A_2, 6A_2, 9P$ $3A_4, 4A_2, 6A_2, 3A_2, 4A_2, 6P$
	Hexatetraédrica Diploédrica (Didodecaédrica)	43m $2/m \bar{3}$	$3A_2, 4A_2, 6P$ $C, 3A_2, 4A_2, 3P$
	Tetartoédrica (Pentagonododecaédrica tetraédrica)	23	$3A_2, 4A_2$
Hexagonal divisão Hexagonal	Bipiramidal-dihexagonal Trapezoédrica-hexagonal	$6/m 2/m 2/m$ 622	$C, 1A_2, 6A_2, 7P$ $1A_2, 6A_2$
	Piramidal-dihexagonal Bipiramidal-ditrigonal	$6mm$ $6m2$	$1A_2, 6P$ $1A_2, 3A_2, 4P$
	Bipiramidal-hexagonal Piramidal-hexagonal	$6/m$ $\frac{6}{6}$	$C, 1A_2, 1P$ $1A_2$
	Bipiramidal-trigonal	$\frac{6}{6}$	$1A_2, 1P$
Hexagonal divisão Romboédrica	Escalenoédrica-hexagonal Trapezoédrica-trigonal	$\bar{3} 2/m$ 32	$C, 1A_2, 3A_2, 3P$ $1A_2, 3A_2$
	Piramidal-ditrigonal Romboédrica	$3m$ $\bar{3}$	$1A_2, 3P$ $C, 1A_2$
	Piramidal-trigonal	3	$1A_2$
Tetragonal	Bipiramidal-ditetragonal Trapezoédrica-tetragonal	$4/m 2/m 2/m$ 422	$C, 1A_2, 4A_2, 5P$ $1A_2, 4A_2$
	Piramidal-ditetragonal Escalenoédrica-tetragonal	$4mm$ $42m$	$1A_2, 4P$ $3A_2, 2P$
	Bipiramidal-tetragonal Piramidal-tetragonal	$4/m$ $\frac{4}{4}$	$C, 1A_2, 1P$ $1A_2$
	Biesfenoédrica-tetragonal	$\frac{4}{4}$	$1A_2$
Ortorrômbico	Bipiramidal-rômbica Biesfenoédrica-rômbica	$2/m 2/m 2/m$ 222	$C, 3A_2, 3P$ $3A_2$
	Piramidal-rômbica	$mm2$	$1A_2, 2P$
Monoclínico	Prismática Esfenoédrica	$2/m$ 2	$C, 1A_2, 1P$ $1A_2$
	Domática	m	$1P$
Triclínico	Pinacoidal Pedial	$\bar{1}$ 1	C Nenhuma simetria

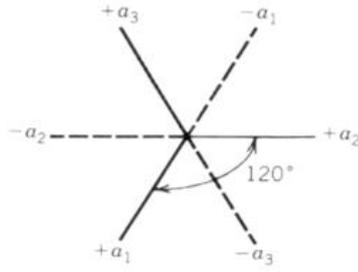
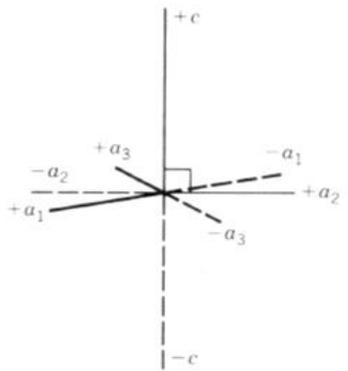
- **Sistemas cristalinos**



Para o estudo e a classificação dos sistemas cristalinos utiliza-se o **sistema cartesiano** de representação tridimensional com três eixos no espaço.



No caso do sistema **hexagonal/trigonal** adota-se a representação com um eixo **c** vertical e eixos **a1**, **a2** e **a3** no plano horizontal



As **variações lineares e relações angulares** entre estes eixos resultará nos sete sistemas cristalinos.

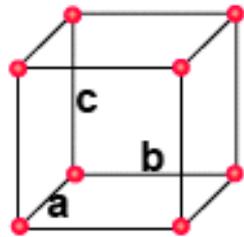
$a_1 = a_2 = a_3$, intersecting at 120°
 c perpendicular to plane with a_1, a_2, a_3

Hexagonal

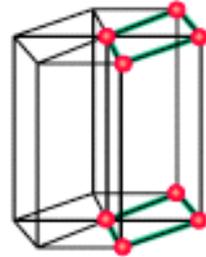
- Sistemas cristalinos**

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

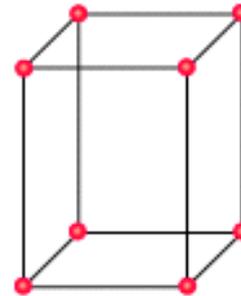
- **Sistemas cristalinos**



cubic
 $a = b = c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



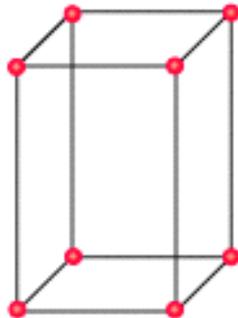
hexagonal
 $a = b \neq c$
 $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$



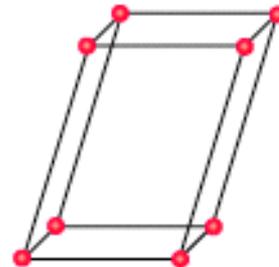
tetragonal
 $a = b \neq c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



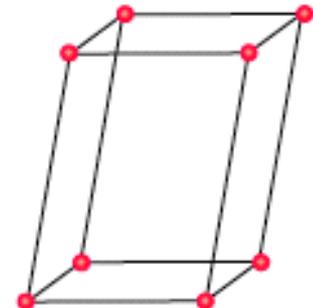
rhombohedral
 $a = b = c$
 $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$



orthorhombic
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



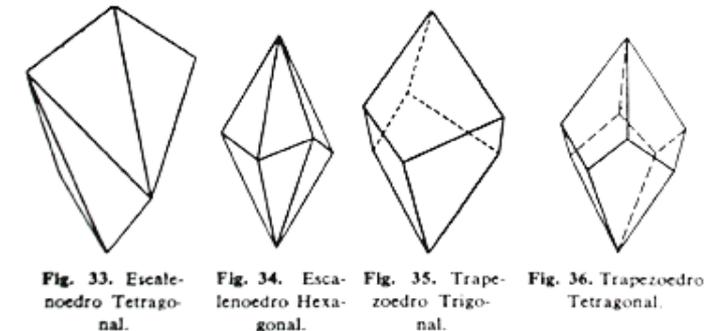
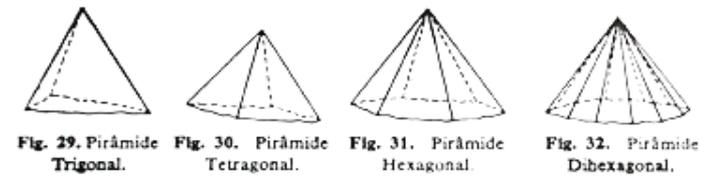
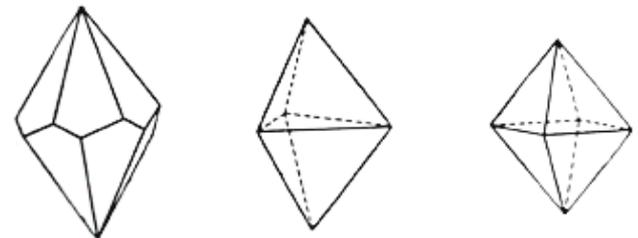
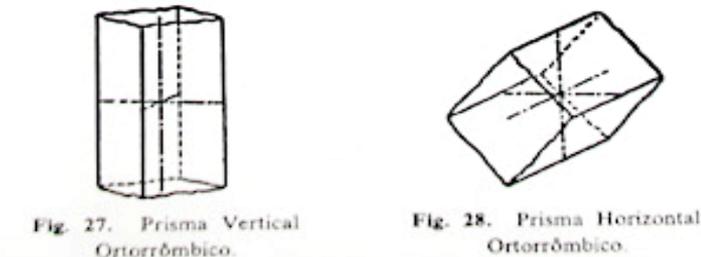
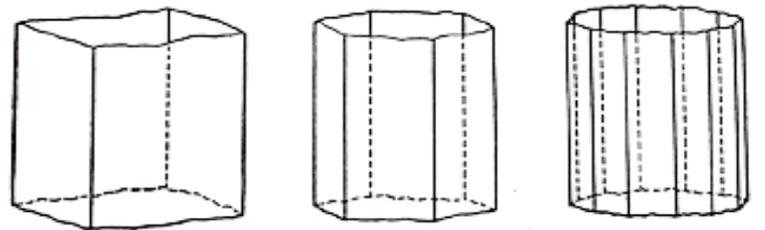
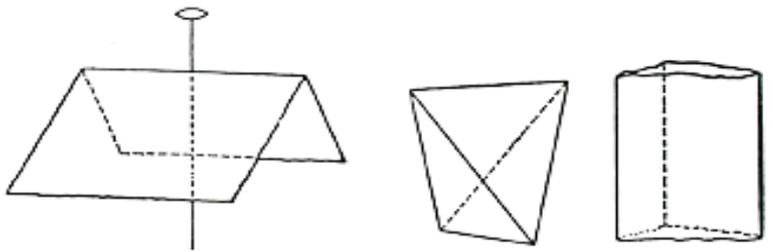
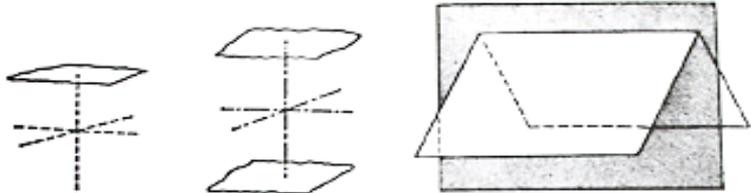
monoclinic
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$



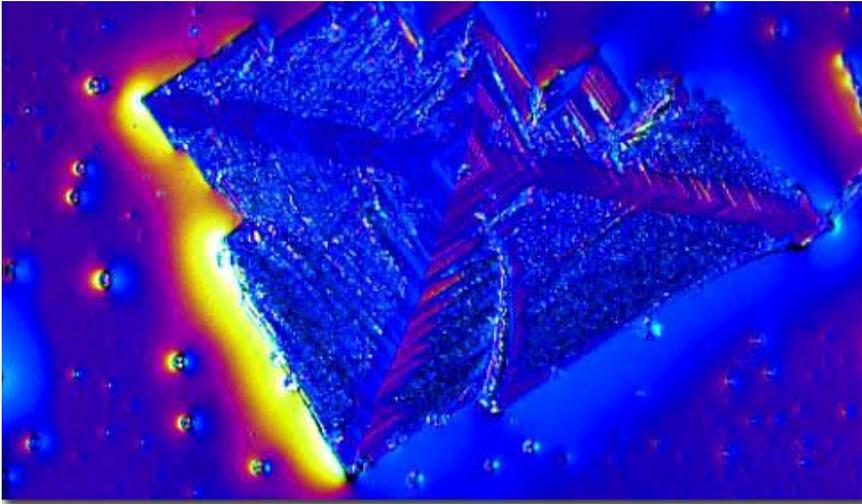
triclinic
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

• Formas cristalográficas

A forma cristalográfica consiste num **grupo de faces do cristal, que têm a mesma relação com os elementos de simetria.**



• Crescimento de cristais



Cristais crescem a partir de uma **nucleação** e sobre os cristalitos uma sucessiva acresção de matéria

As faces cristalinas se mantêm, enquanto houver **espaço**. Na natureza isto pode acontecer no magma, em cavidades, fraturas, poros... Sem espaço começa a haver interferência de cristais vizinhos

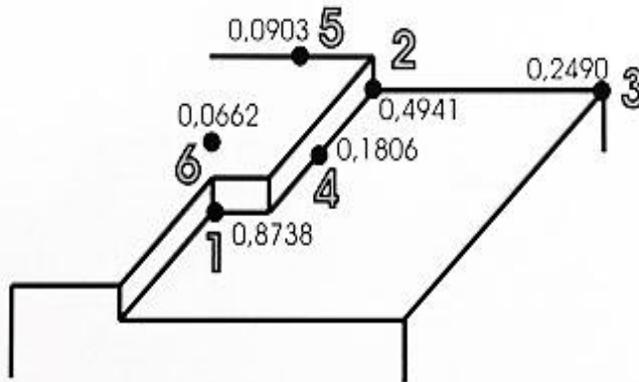


FIG. 2.2

Face em crescimento de um cristal da halita. A posição energética mais conveniente para o agrupamento das entidades elementares é no ponto 1, e a menos conveniente é no ponto 6. Os números pequenos indicam (em unidades arbitrárias) a quantidade de energia liberada com o agrupamento das entidades elementares numa posição dada.

Mecanismos para cristalização de minerais

- resfriamento de magmas
- rearranjo de íons em temperaturas intermediárias
- precipitação de sais com a evaporação de uma solução

- **Crescimento de cristais**

O crescimento tem **velocidades desiguais** em diferentes direções. A forma do cristal vai refletir o arranjo interno das células unitárias em **empacotamentos** variados

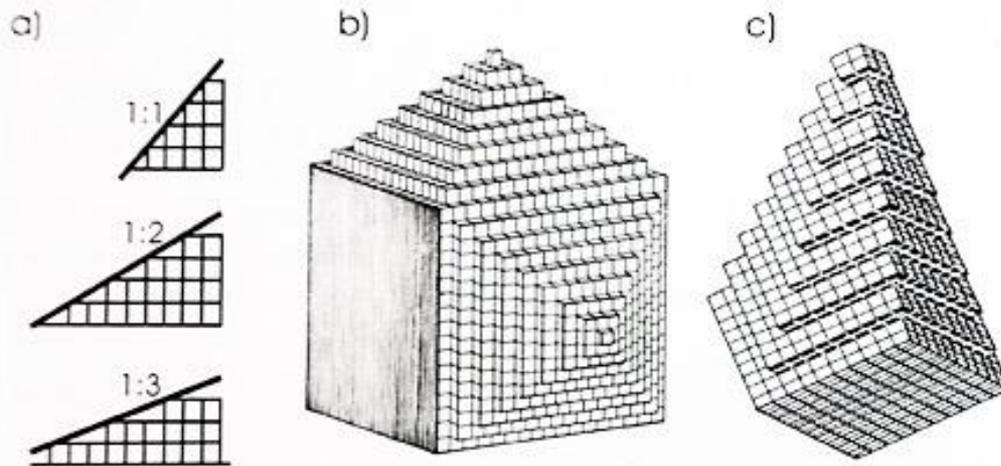
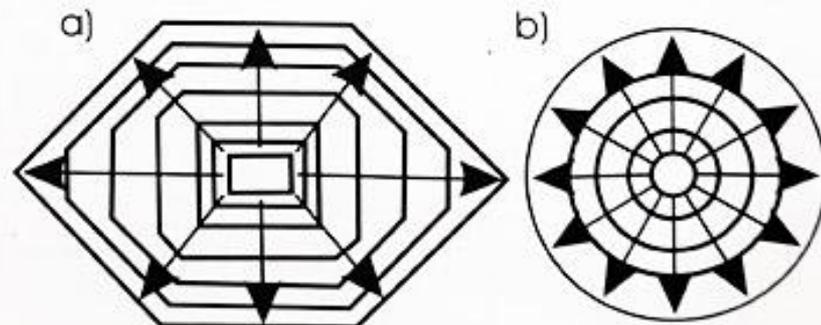


FIG. 2.3

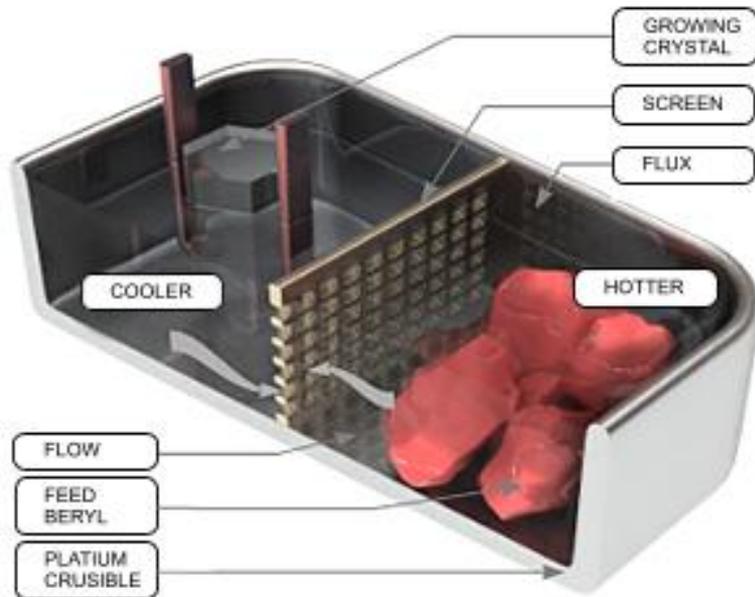
Todas as formas cristalinas nos respectivos sistemas podem ser erguidas de celas fundamentais: a) as faces no cristal são apenas aquelas "permitidas" pelo retículo cristalino; b) losango erguido de cubos; c) escalenoedro erguido a partir de romboedros.

FIG. 2.4

Os cristais são limitados por faces iguais em razão da velocidade variada de crescimento em direções diferentes (a); se o crescimento fosse igualmente rápido em todas as direções, o resultado seria uma forma esférica do cristal (b).

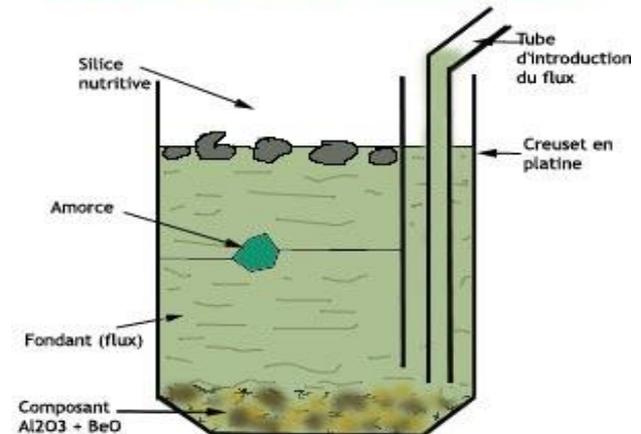


- **Crescimento de cristais**

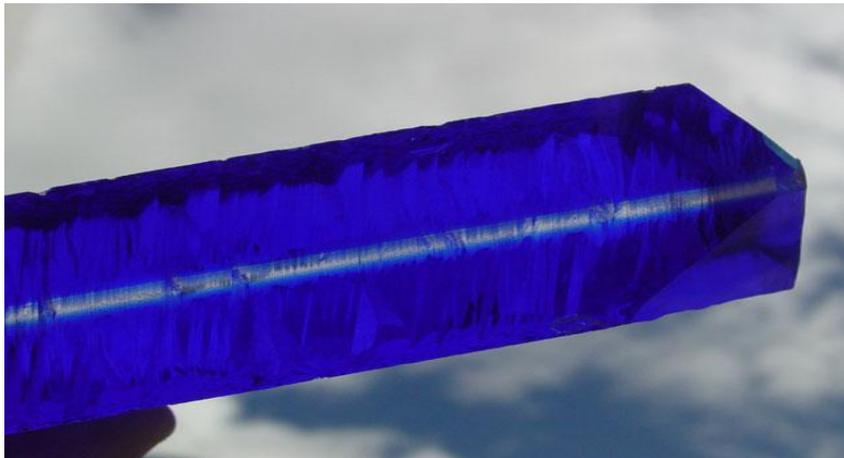
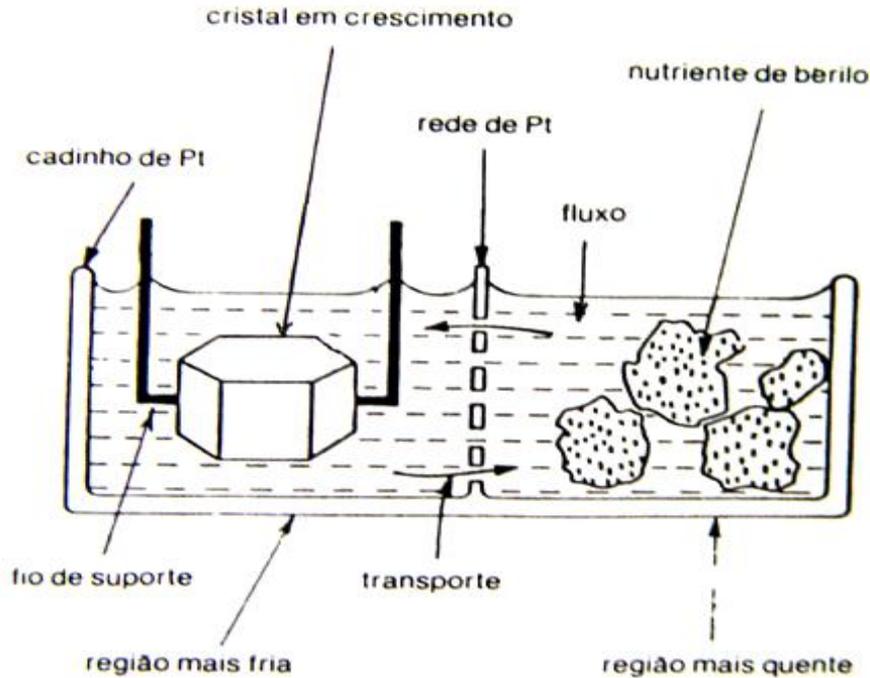


O processo de desenvolvimento de cristais sintéticos por fluxo mostra como o arranjo interno se reflete na forma dos cristais. A partir de uma **semente** o material em estado de fusão (**nutriente**) vai se depositando.

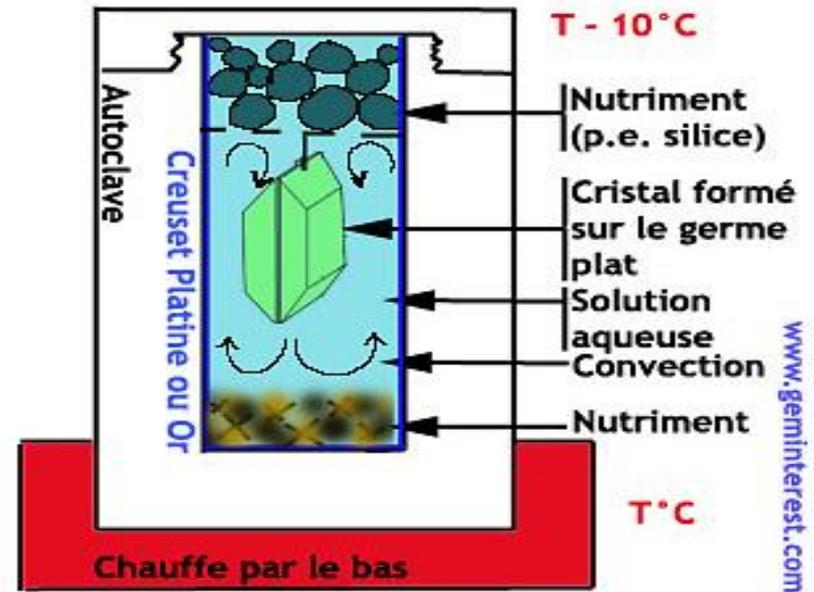
Schéma procédé anhydre (flux) : exemple de l'émeraude



• Crescimento de cristais

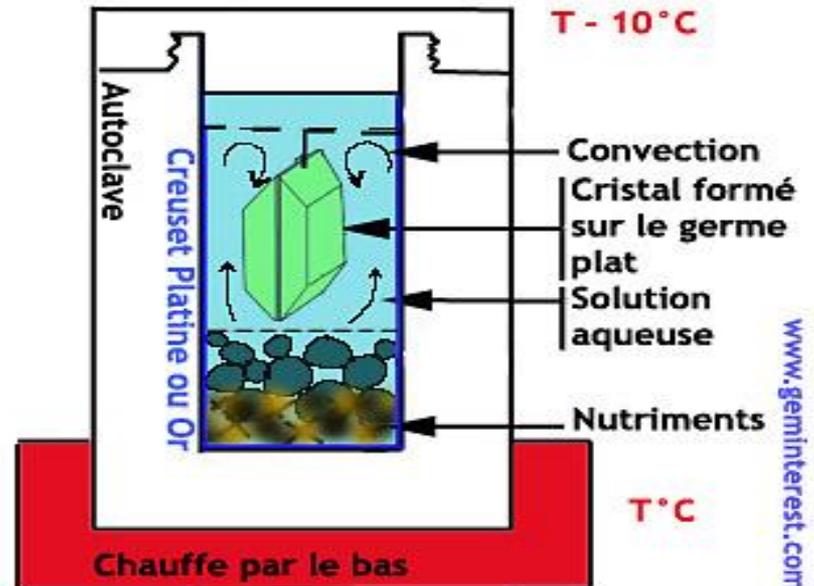


1e Schéma: Procédé dissolution hydrothermale



www.geminterest.com

2e Schéma: Procédé dissolution hydrothermale



www.geminterest.com

- **Inclusões durante a cristalização**



Inclusões podem constituir defeitos em gemas ou valorizar as gemas pelo resultado estético

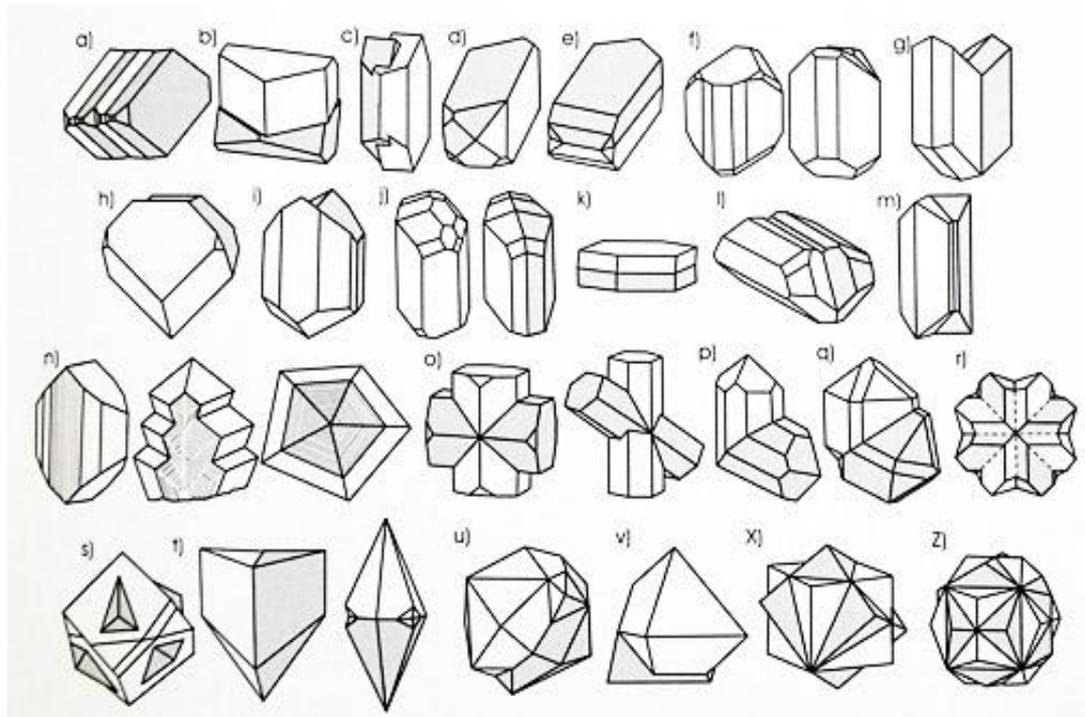


A cristalização de um mineral pode envolver outros minerais pré-cristalizados (inclusões **protogenéticas**) ou os cristais podem se desenvolver contemporaneamente (**singenéticas**) ou, ainda, as inclusões podem se desenvolver após a cristalização do hospedeiro (**epigenéticas**)

• Geminação de cristais

Geminações são agregados regulares de cristais e são determinantes para o aproveitamento gemológico dos minerais.

Normalmente representam uma dificuldade maior para a lapidação e os **planos de geminação são planos de fraqueza**.



Geminação cíclica em crisoberilo tipo Alexandrita



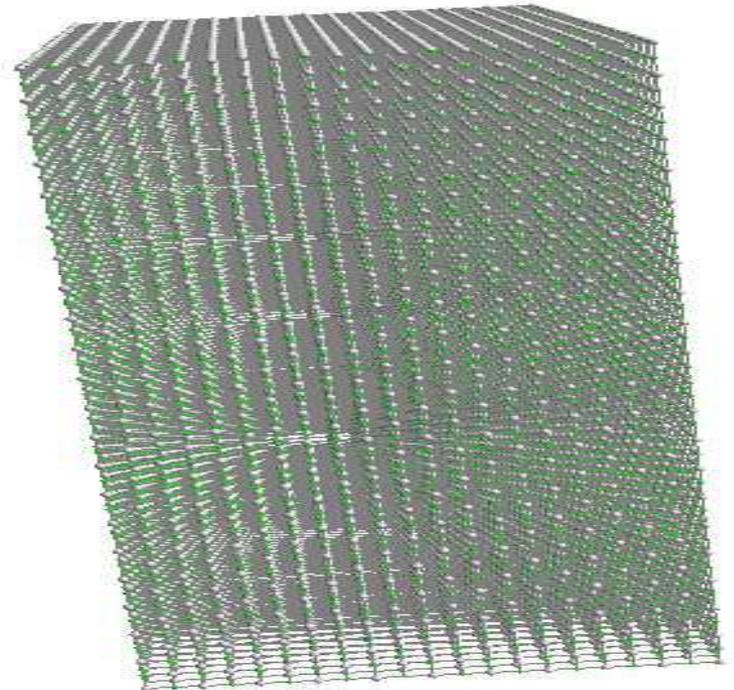
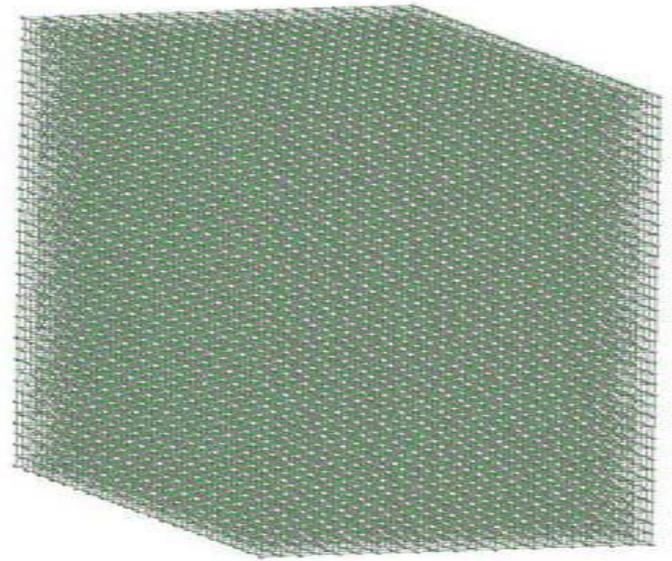
Macla polissintética em coríndon de Santa Catarina e do Camboja

• Defeitos cristalinos

- Cristal perfeito e cristal real
- Cristal perfeito é teórico
- Tipos de defeitos:
 - Pontuais
 - Lineares
 - Planares
 - Volumétricos

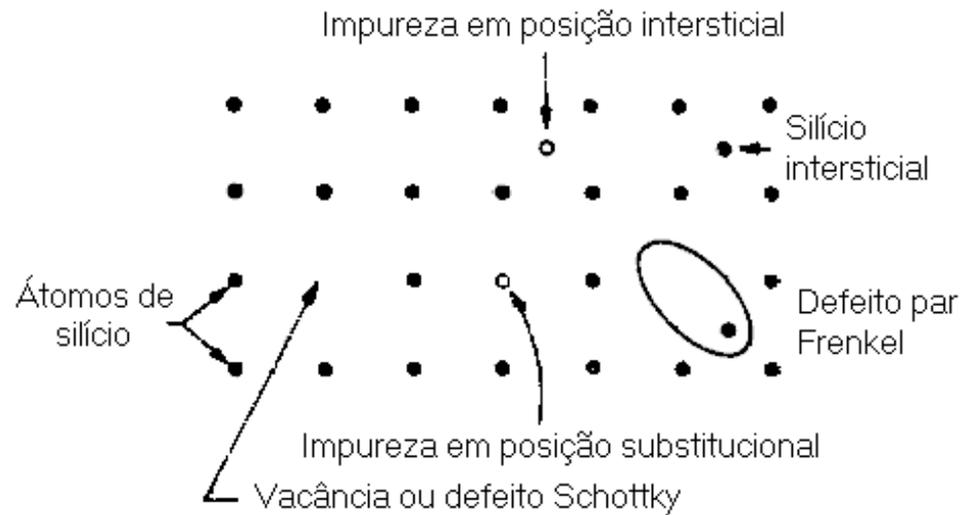
O estudo dos defeitos cristalinos encontra grande aplicação na **engenharia de materiais**.

Na gemologia é um importante mecanismo de **causa de cor** e seu entendimento possibilita a aplicação de **tratamentos** que modificam a coloração.

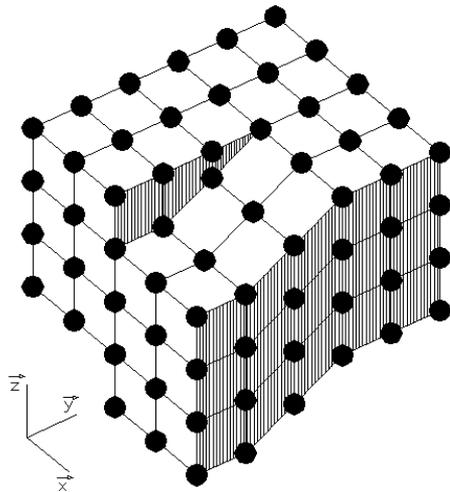


a) Defeitos pontuais

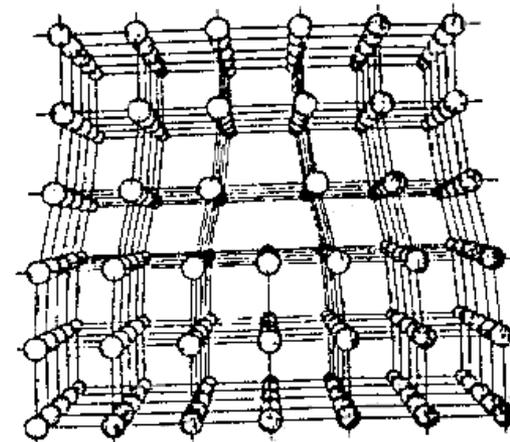
Densidade de defeitos pontuais cresce com a temperatura



b) Defeitos lineares



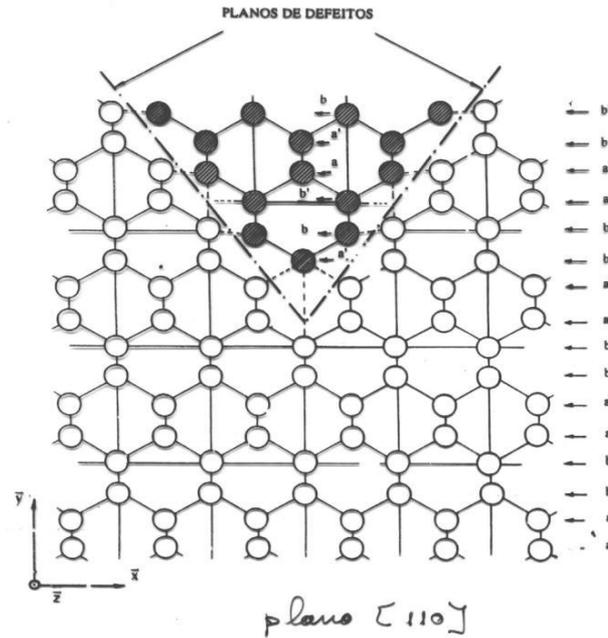
Discordância tipo parafuso ou espiral.



Discordância de borda ou de cunha

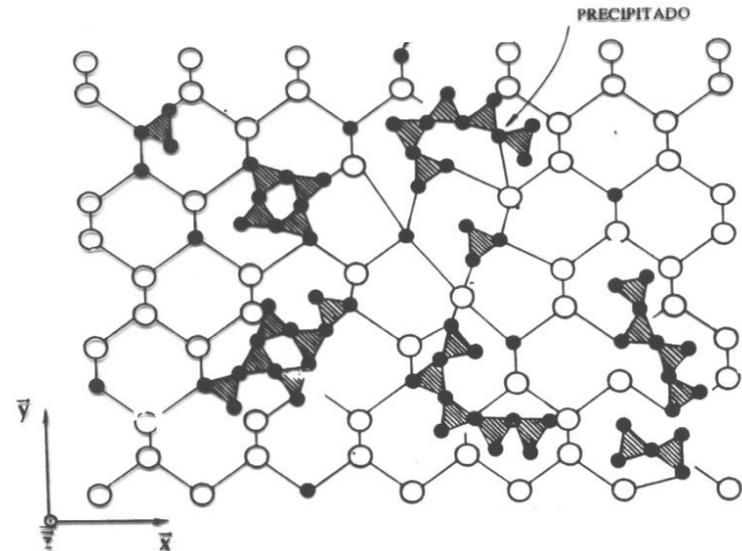
c) Defeitos planares

Falha de empilhamento.



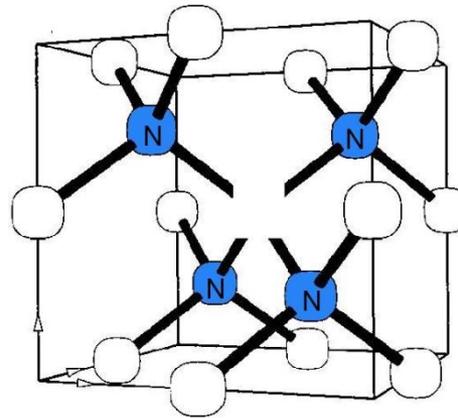
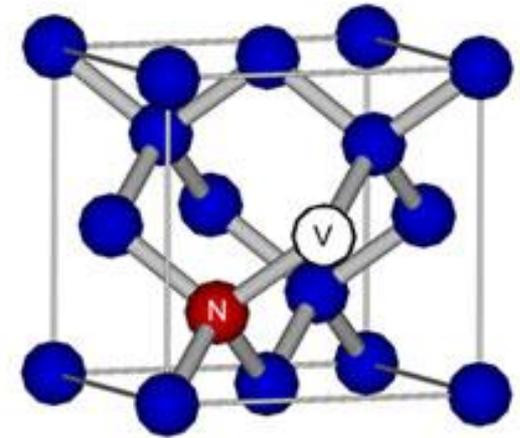
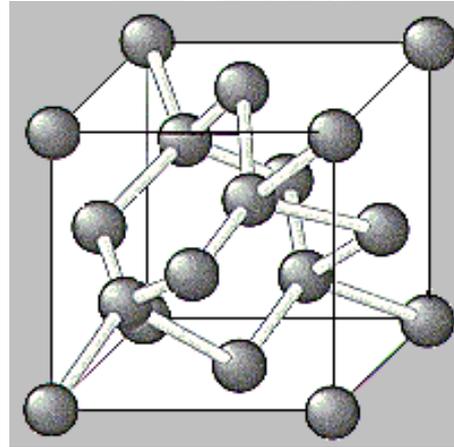
d) Defeitos volumétricos

Precipitados de átomos, ex., O, C, N, dopantes, etc.

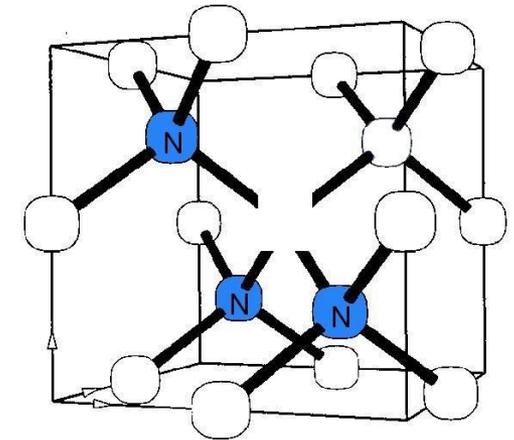


A presença de impurezas em níveis próximos ou acima do limite de solubilidade sólida provoca o aparecimento de precipitados com estruturas completamente diferentes da rede cristalina.

Defeitos na estrutura do diamante, idealmente incolor, como a presença de nitrogênio, agregados de nitrogênio, boro ou vacâncias, causam **centros de cor** nesta gema que pode ser amarela (N), azul (B) ou de várias outras cores.



Primitive picture of the **B center**
B center consists of a carbon vacancy surrounded by four nitrogen atoms substituting for carbon atoms



Primitive picture of the **N3 center**
The **N3 center** consists of three nitrogen atoms surrounding a vacancy

- **Causas de cor em gemas**



Idiocromáticas



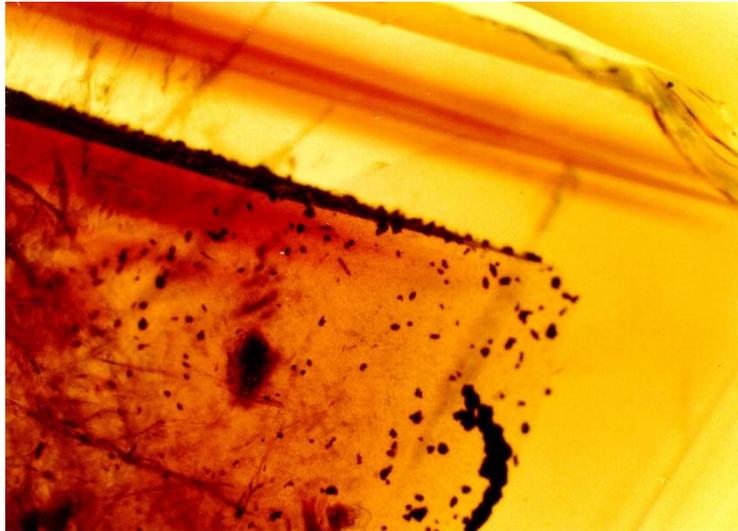
Elementos **cromóforos** que fazem parte da **estrutura** cristalina, como o Cu na malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$)

Elementos cromóforos que entram na estrutura original como **impurezas**, causando **deformações e defeitos** no arranjo cristalino. O Cr na estrutura do coríndon causa o vermelho e no berilo o verde-esmeralda. Defeitos tipo **vacâncias e transferência de carga** também são mecanismos de cor em gemas



Alocromáticas

- **Zonalidade em cristais**



Safiras de
Coxim, MS



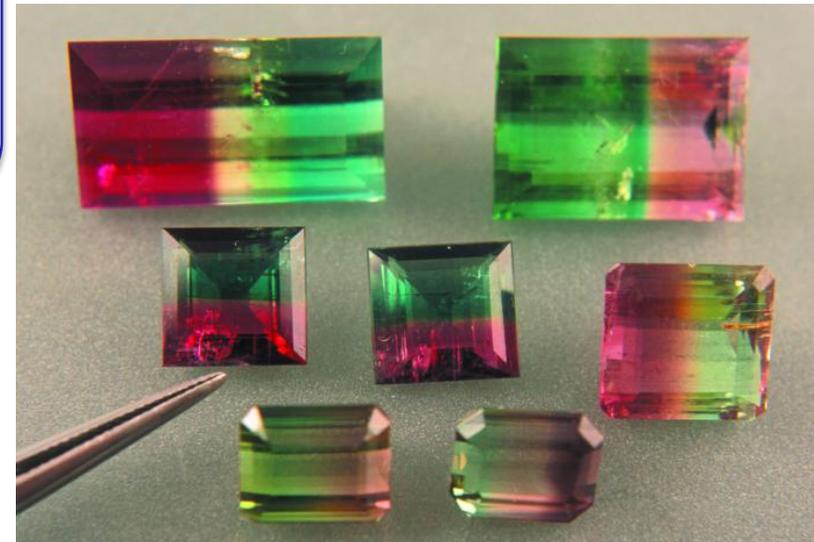
Ametista do Alto
Uruguai, RS em
microscopia



Durante o crescimento podem acontecer modificações no meio de cristalização (composição, P e T, ...) que causam **interrupções ou modificações na estrutura**. A zonalidade de cor reflete a zonalidade química/estrutural do cristal



Turmalinas multicolor - MG

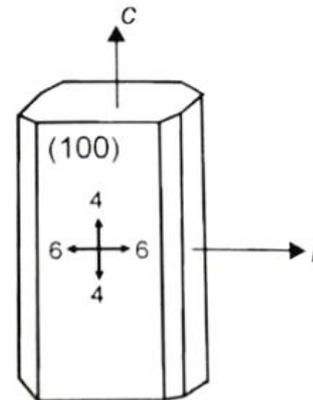


- **Anisotropia dos cristais**

A ordenação das moléculas nas estruturas cristalinas e as distâncias entre elas costumam ser diferentes.

Disto resultam as propriedades físicas dos cristais, o que leva a uma tendência a que as propriedades variem conforme as direções - **ANISOTROPIA**

- Propriedades escalares
– Ex. densidade
- Propriedades vetoriais
– Ex. dureza e **propriedades ópticas**



Variação de dureza em cristal de cianita conforme a direção cristalográfica

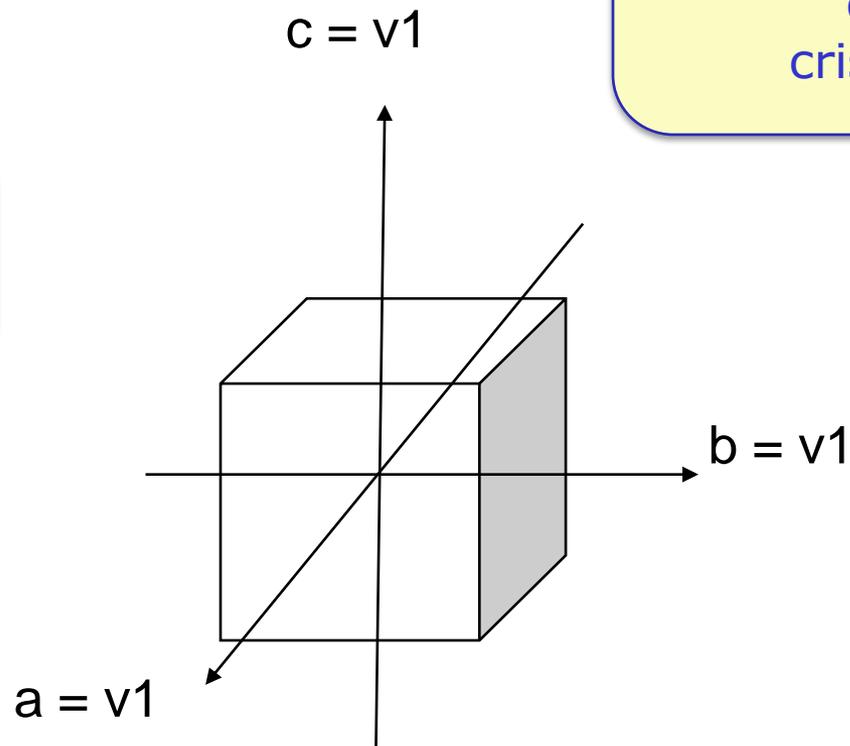
- Sistema isométrico **ISÓTROPO**
- Outros sistemas **ANISÓTROPOS**

- **Anisotropia dos cristais**

Caráter óptico

Isótropo

Sist. Isométrico



A luz atravessa o cristal com mesma velocidade conforme os três eixos cristalográficos

Ex. Diamante, fluorita, espinélio, granadas...

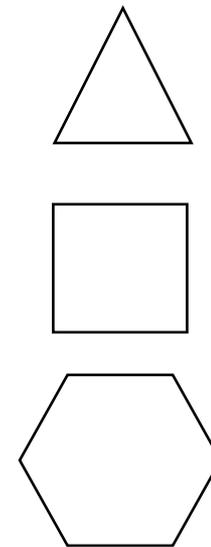
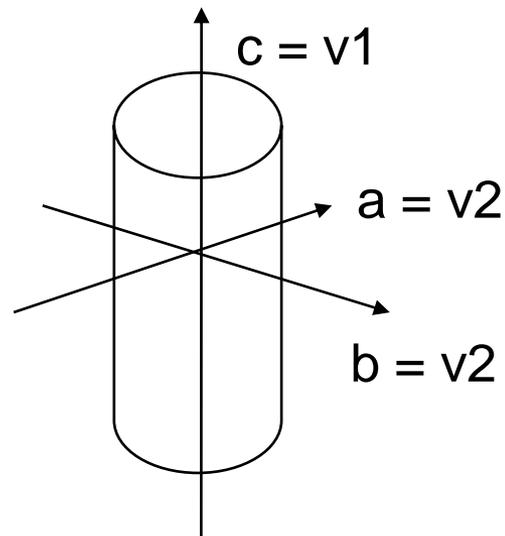
- Anisotropia dos cristais**

A luz atravessa o cristal com velocidade diferente ao longo de um dos eixos

Caráter óptico

Anisótropo
UNIAXIAL

Sist.
Tetragonal,
trigonal e
hexagonal



Seções basais

Ex. Quartzo, turmalina, berilo, coríndon, zircão...

- Anisotropia dos cristais**

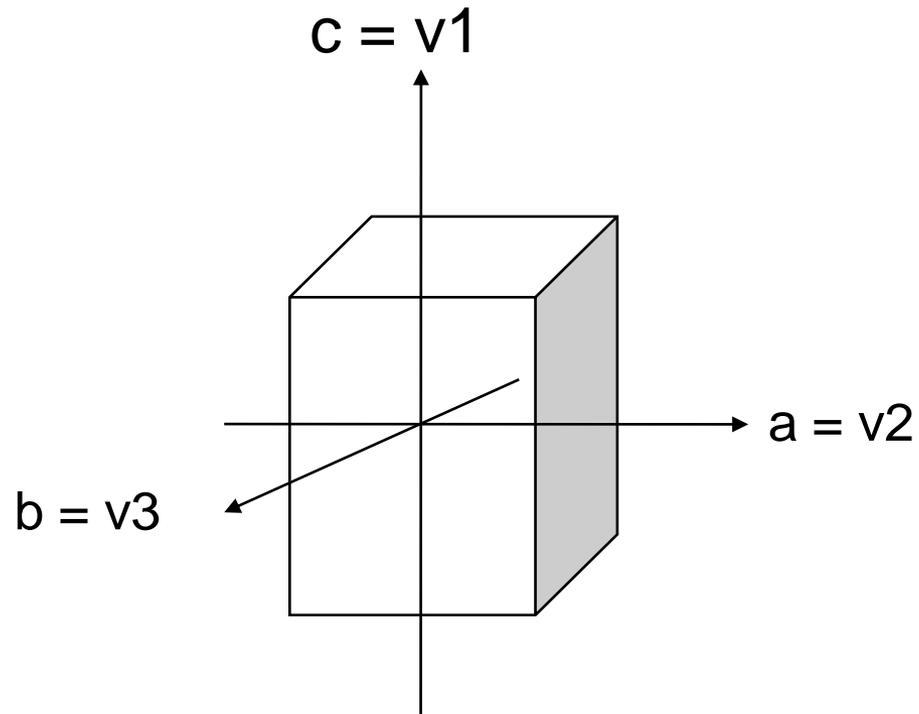
A luz atravessa o cristal com velocidade diferente ao longo dos três eixos

Caráter óptico

Anisótropo
BIAXIAL

Sist.

Ortorrômbico,
Monoclínico e
triclínico

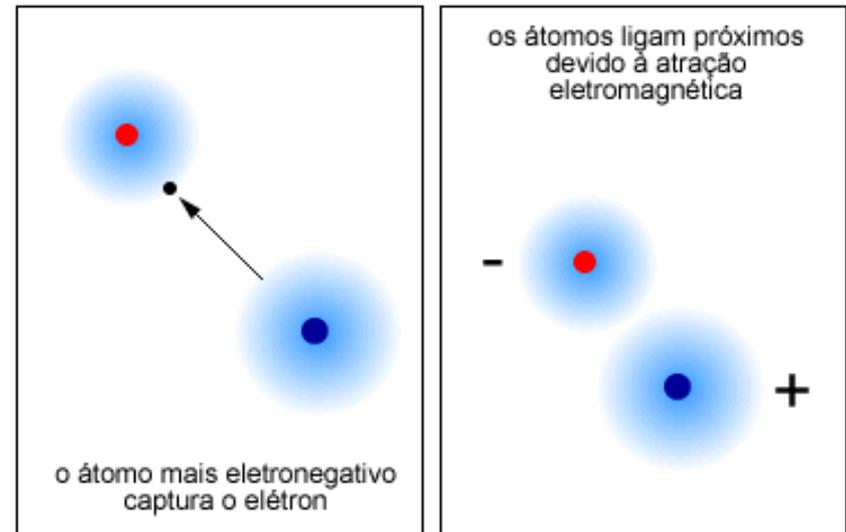


Ex. Topázio, espodumênio, cianita...

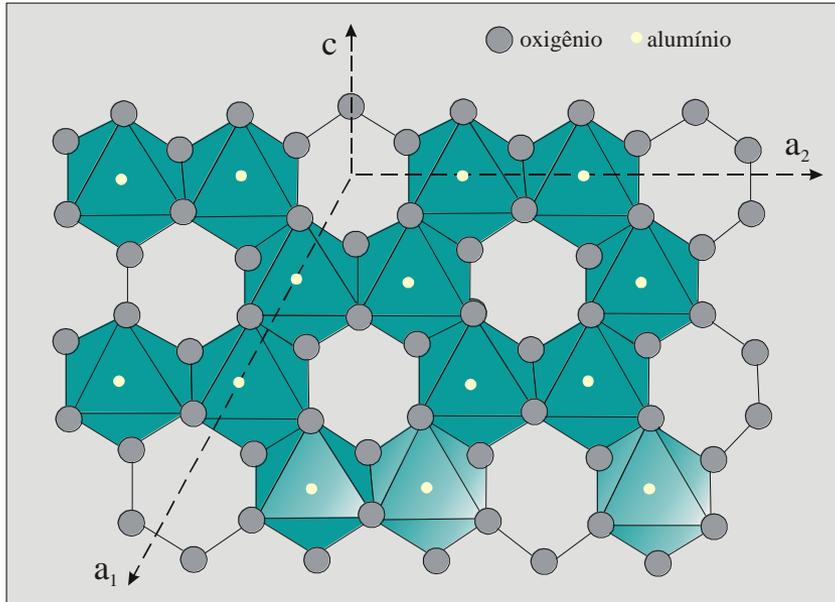
• Tipos de ligações cristaloquímicas

• **Ligação iônica**

- Ligação covalente
- Ligação metálica
- Ligação de Van der Waals
- Ligações mistas



LIGAÇÃO IÔNICA

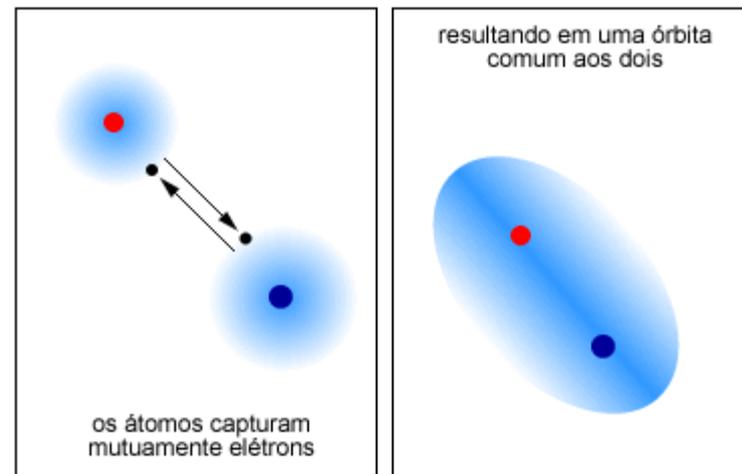


Al_2O_3 (coríndon)

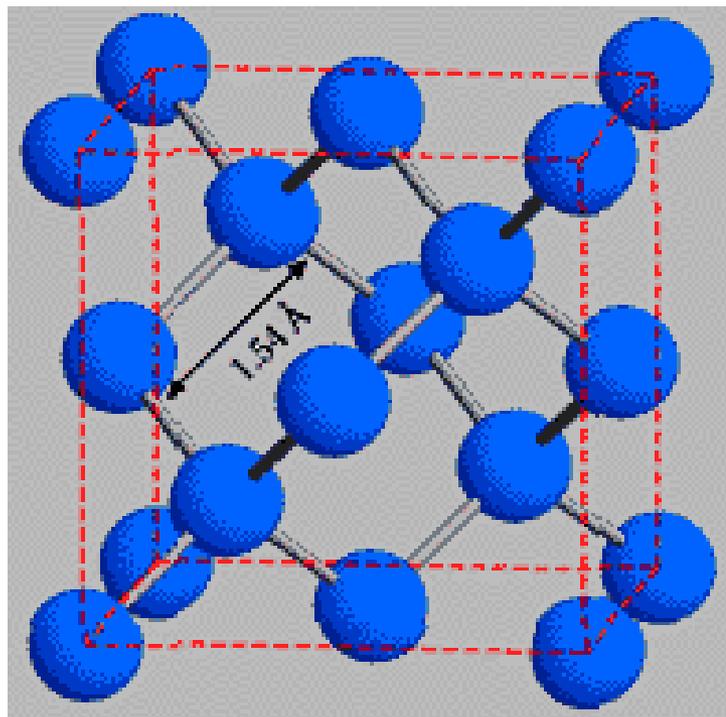
metal com não-metal = Ligação Iônica

• Tipos de ligações cristaloquímicas

- Ligação iônica
- **Ligação covalente**
- Ligação metálica
- Ligação de Van der Waals
- Ligações mistas



LIGAÇÃO COVALENTE

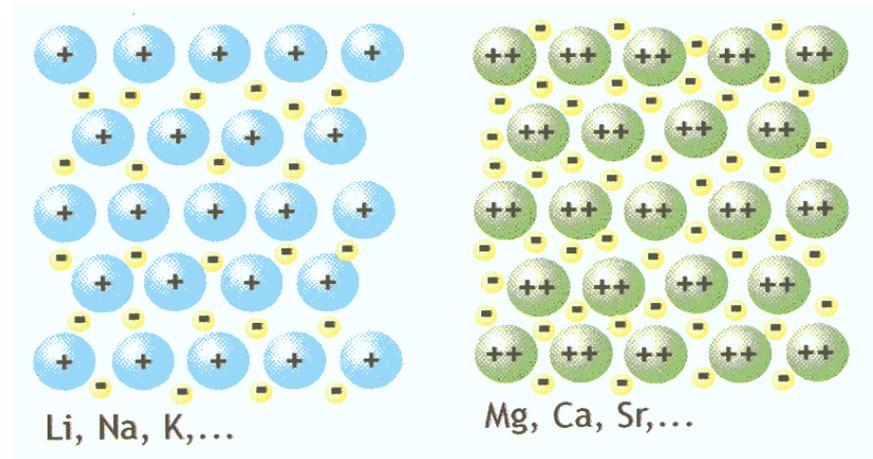


C (diamante)

Não-metal com não-metal = Ligação covalente

• Tipos de ligações cristaloquímicas

- Ligação iônica
- Ligação covalente
- **Ligação metálica**
- Ligação de Van der Waals
- Ligações mistas



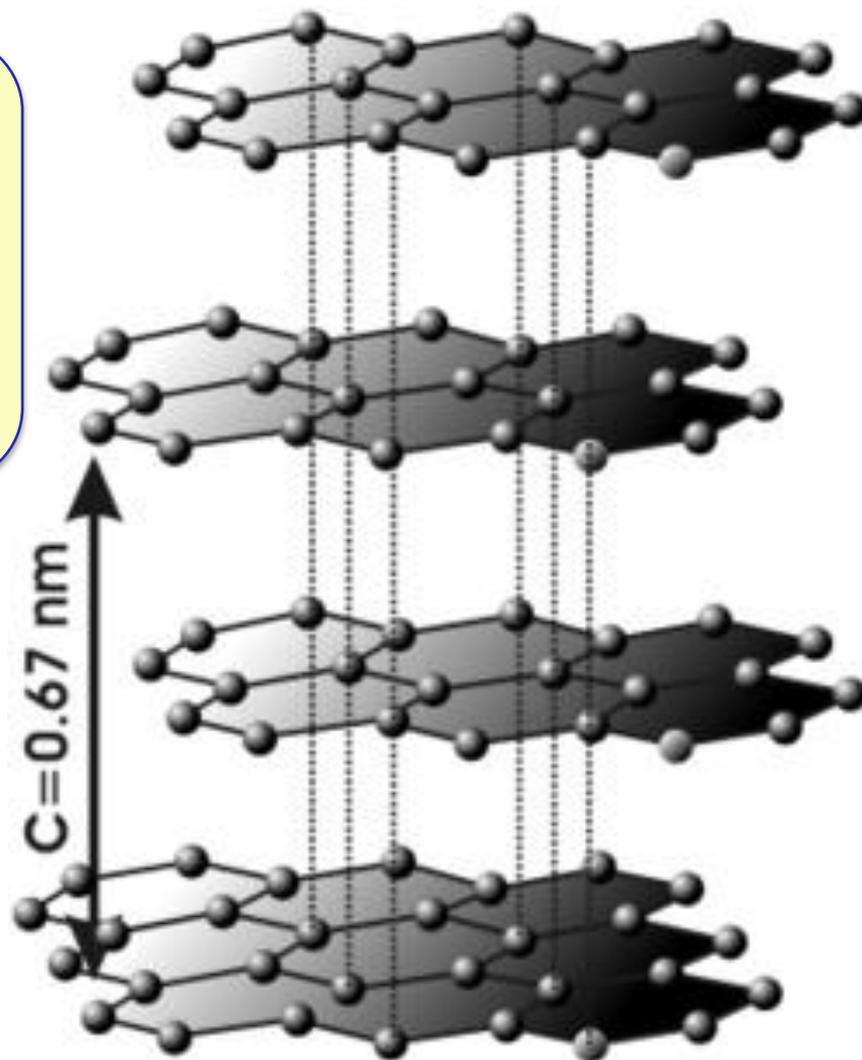
Nos metais, os elétrons de valência movem-se livremente pela **rede de íons metálicos positivos**, não estando localizados em nenhum átomo em particular.

Um metal é constituído por uma rede de íons positivos imersos numa "nuvem" de elétrons não localizados. Estes elétrons é que são os responsáveis pela **ligação metálica**.

Este tipo de ligação permite a **maleabilidade** e **ductibilidade** de metais como o **ouro e a prata**

• Tipos de ligações cristaloquímicas

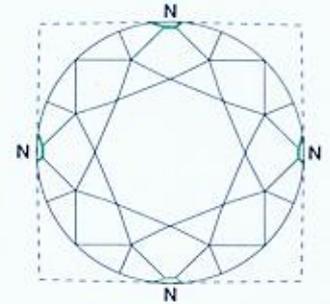
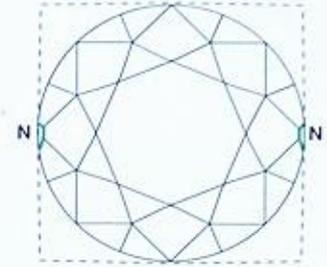
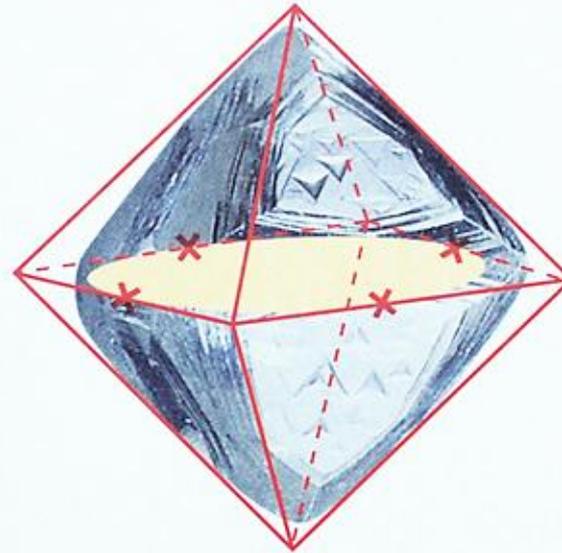
- Ligação iônica
- Ligação covalente
- Ligação metálica
- **Ligação de Van der Waals**
- **Ligações mistas**



Ligação mista na grafita - Van der Waals entre as camadas de grafita e covalente nos planos

• Estrutura cristalina e as propriedades das gemas

- **Hábito**
- Densidade
- Dureza
- Clivagem
- Tenacidade
- Propriedades ópticas



Naturals occur on the cube faces of the octahedron

O hábito resultante, em última instância, da estrutura cristalina pode ser um fator de **valorização** em gemas, pois interfere diretamente no aproveitamento

octaédrico



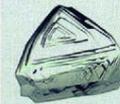
rombododecaédrico



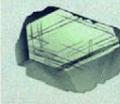
octaédrico cortado



macla



chapa



Mais valiosos

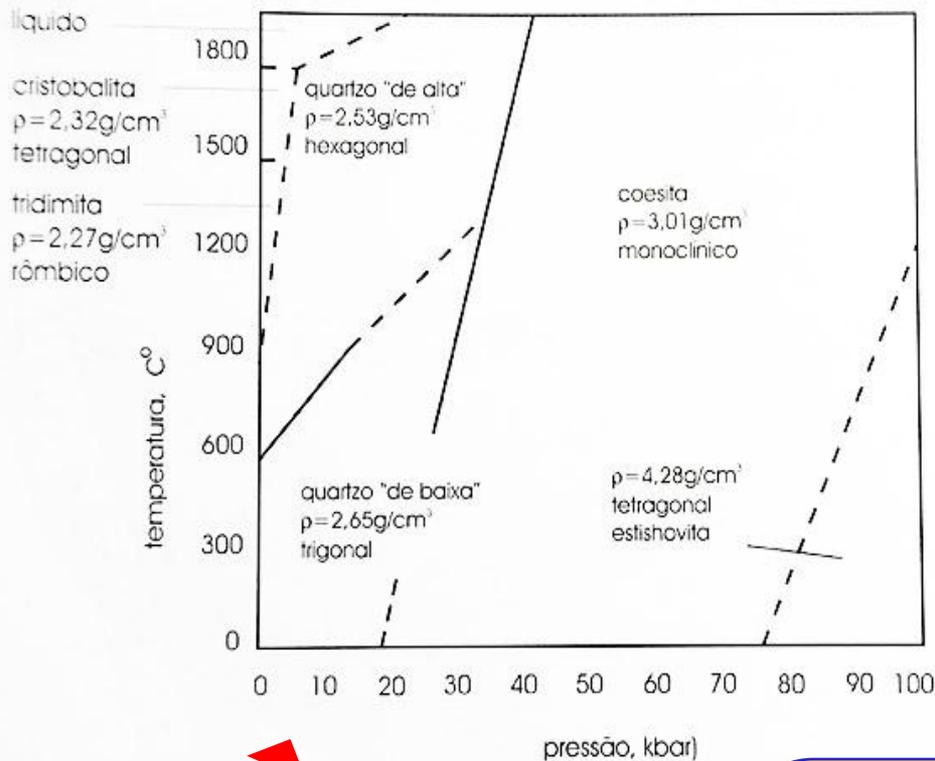


Menos valiosos



Crystal faces on a rough diamond with distinct trigons indicating its natural origin

• Estrutura cristalina e as propriedades das gemas



Densidade

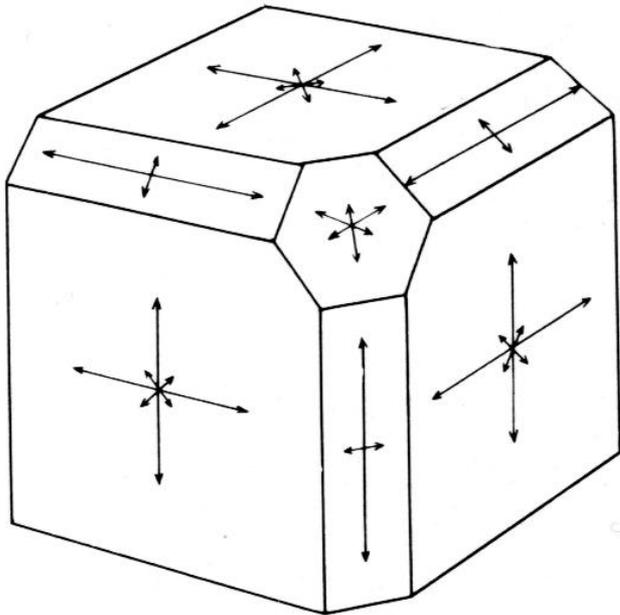
A densidade é um importante fator no **diagnóstico** de gemas e é uma propriedade intrínseca de cada mineral. O **tamanho dos átomos** participantes (composição), o **tipo de ligação** e o **empacotamento** no arranjo cristalino (estrutura) são os responsáveis pela variação da densidade em cada mineral.

A densidade dos minerais do grupo SiO₂, em geral, diminui com o aumento da temperatura e aumenta com a pressão.

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:.....2.65
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

• Estrutura cristalina e as propriedades das gemas

Dureza



Anisotropia da dureza em cristal de diamante

É uma propriedade **vetorial variável** com a estrutura dos cristais ou com a rigidez das ligações entre as partículas de construção.

Fundamental para o **polimento** e resistência mecânica em gemologia. Importante também para o **diagnóstico**.

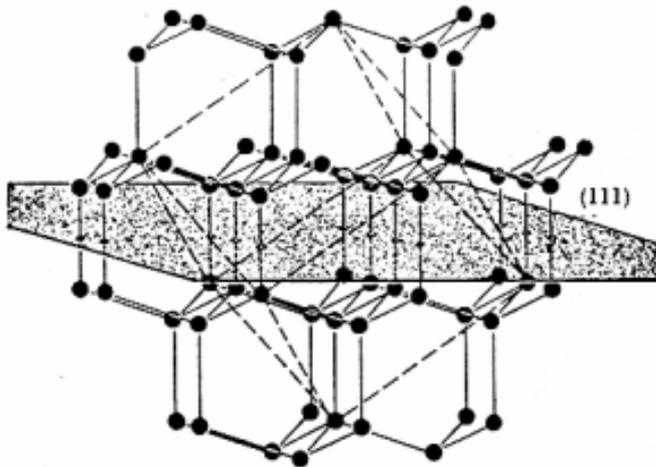
A dureza aumenta em geral com:

- a diminuição das distâncias entre os íons
- a diminuição do raio dos íons
- o aumento do empacotamento dos íons
- o número de oxidação dos íons
- a ionicidade da ligação
- O menor número de defeitos

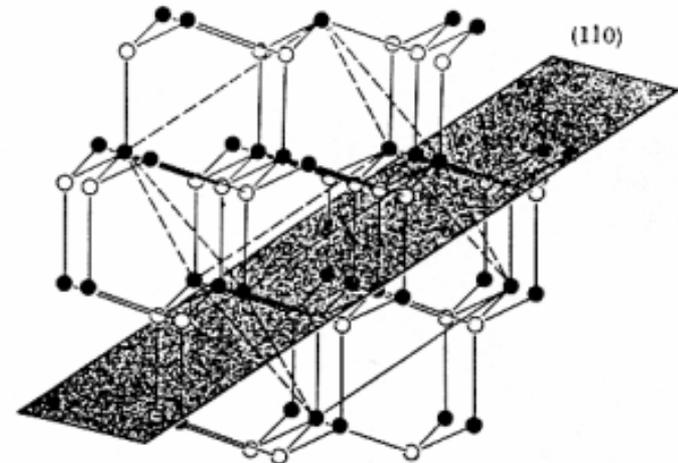
- **Estrutura cristalina e as propriedades das gemas**

Clivagem

perfeita, boa, ruim ou ausente



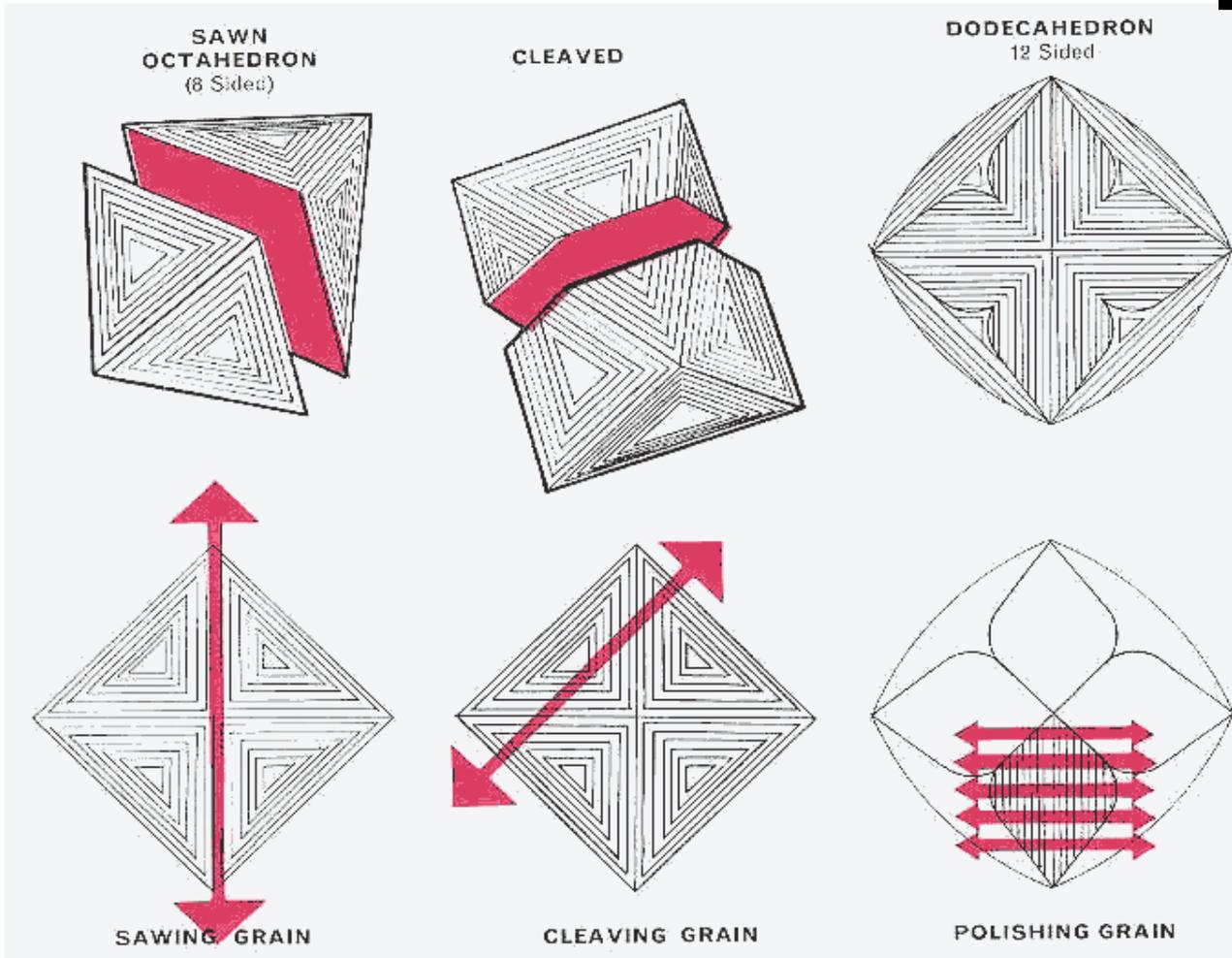
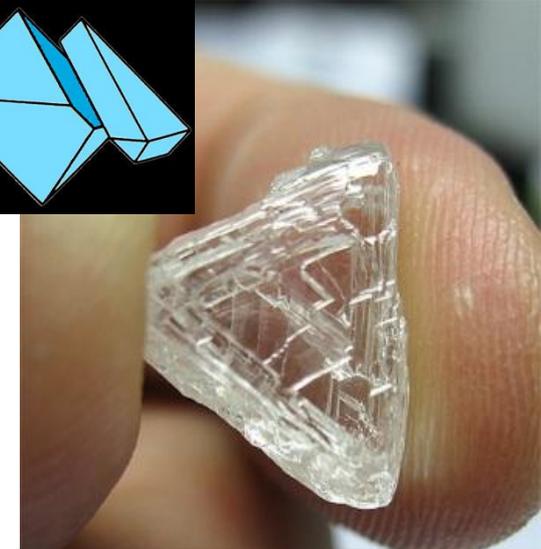
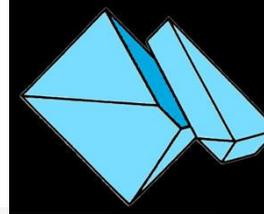
diamante C



esfalerita ZnS

Causas: ligação química mais fraca ou espaçamento reticular maior. É consequência direta da estrutura cristalina da gema e é uma característica **decisiva na lapidação** e resistência mecânica de uma jóia.

Clivagem

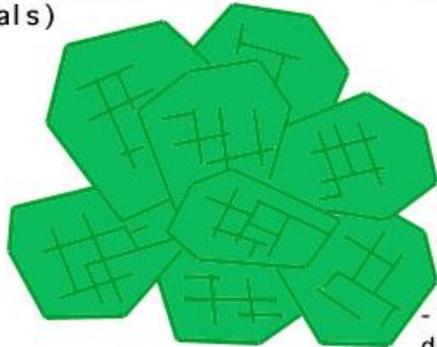


A clivagem octaédrica do diamante é bem conhecida por ser uma das etapas na lapidação desta gema.

- **Estrutura cristalina e as propriedades das gemas**

Tenacidade

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^{+++}



Cristais interpenetrados

formando um arranjo extremamente compacto e difícil de separar são o motivo da alta tenacidade do jade

Muiariquitã de jade



• Estrutura cristalina e as propriedades das gemas

Propriedades ópticas

- Cor
- Transparência
- Brilho
- Pleocroísmo
- Dispersão
- Efeitos ópticos

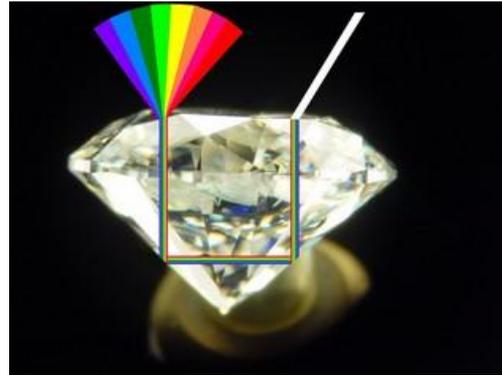
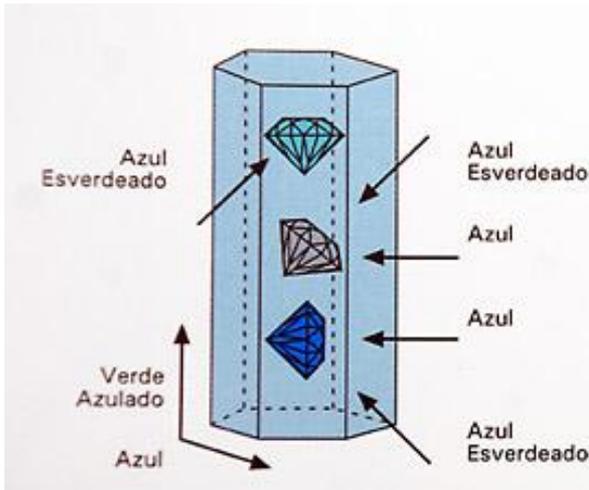
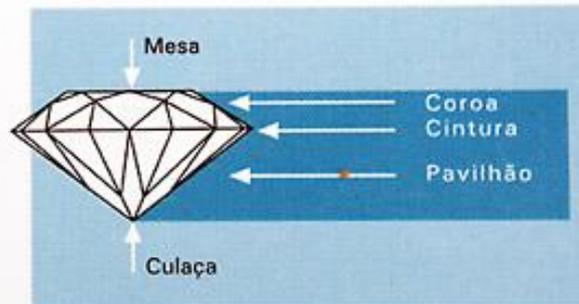
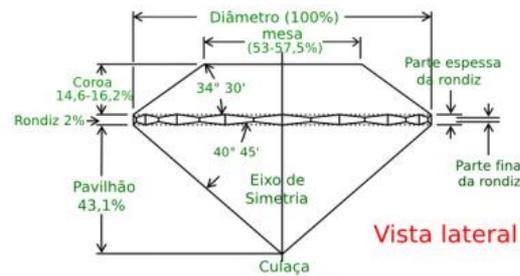


Figura 1: Proporções do diamante



• **Importância da Cristalografia na Gemologia**

• **Características estéticas**

Cor, brilho e transparência são as mais importantes características para um material ter aproveitamento gemológico e são consequência direta da cristalização e sua interação com a luz.

• **Lapidação e aproveitamento**

O talhe de um mineral exige a compreensão dos eixos ópticos, direções de clivagem e aproveitamento da cor.

• **Causas de cor**

As cores das gemas e suas tonalidades possuem causas diversas e sua compreensão permite certos tratamentos para modificações, assim como a criação de efeitos ópticos especiais.

• **Identificação**

Todas as análises de rotina em gemologia baseiam-se nas propriedades cristalográficas dos materiais.

Para saber mais...

- **Dana, J. D.** (1981). Manual de Mineralogia. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 2 vols.
- **Chvátal, M.** (1999). Cristalografia – Mineralogia para principiantes. Ed. SBG. 231p.
- **Hurlbut Jr. C.S. & Switzer G.S.** 1980. Gemologia. Barcelona, Omega. 243p.
- **Klein C. & Hurlbut Jr. C.S.** 1993. Manual of Mineralogy. 21. ed. New York, John Wiley & Sons. 681p.