

GEOCIÊNCIAS USP

Minerais

Prof. Renato de Moraes
 Instituto de Geociências da USP
 0440100 Geologia Geral
 rmoracs@usp.br

Parte da aula foi baseada no livro e slides de Understanding Earth de Frank Press • Raymond Siever • John Grotzinger • Thomas H. Jordan
 No Capítulo sobre Minerais do Decifrando a Terra de Fábio Ramos e colaboradores
 e ainda em aulas do curso GMG 630 de Rogério Azzone e Renato de Moraes

1



2

Mineral

Sólido homogêneo, de ocorrência natural, formado por processos inorgânicos, de composição química definida, mas não fixa, com arranjo atômico altamente ordenado, isto é de estrutura cristalina definida

IMA Definition: (Periódico Can. Mineral. 1998) - A mineral substance is a naturally occurring solid that has been formed by geological processes, either on earth or in extraterrestrial bodies. A mineral species is a mineral substance with well defined chemical composition and crystallographic properties, and which merits a unique name

3

Cristal

- Sólido poliédrico limitado por faces planares e orientadas, que manifestam um arranjo interno ordenado de átomos ou moléculas, não importando se é natural, artificial, orgânico ou inorgânico

fluorita

turmalina

quartzo

4

Tabela periódica dos elementos

Legend: Elements of major abundance in Earth's crust; Elements of lesser abundance but of major geologic importance

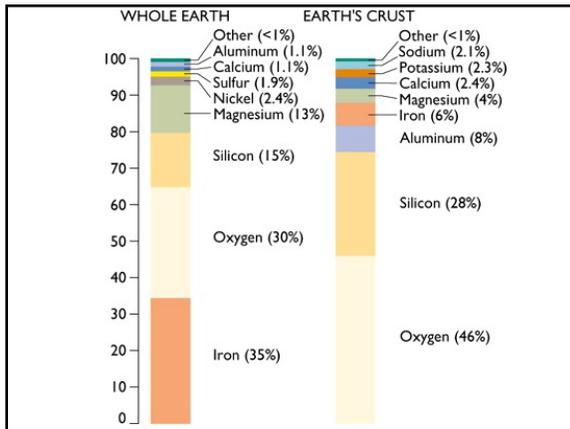
Element name	Atomic number	Symbol	Atomic mass
Hydrogen	1	H	1.0079
Helium	2	He	4.0026
Lithium	3	Li	6.941
Boron	5	B	10.811
Carbon	6	C	12.011
Nitrogen	7	N	14.0064
Oxygen	8	O	15.9994
Fluorine	9	F	18.9984
Neon	10	Ne	20.1797
Sodium	11	Na	22.989769
Magnesium	12	Mg	24.304
Aluminum	13	Al	26.981538
Silicon	14	Si	28.0855
Phosphorus	15	P	30.973762
Sulfur	16	S	32.06
Chlorine	17	Cl	35.4527
Argon	18	Ar	39.948
Potassium	19	K	39.0983
Calcium	20	Ca	40.078
Scandium	21	Sc	44.955912
Titanium	22	Ti	47.88
Vanadium	23	V	50.9415
Chromium	24	Cr	51.9961
Manganese	25	Mn	54.938045
Iron	26	Fe	55.845
Cobalt	27	Co	58.933195
Nickel	28	Ni	58.6934
Copper	29	Cu	63.546
Zinc	30	Zn	65.38
Gallium	31	Ga	69.723
Germanium	32	Ge	72.64
Arsenic	33	As	74.9216
Selenium	34	Se	78.96
Bromine	35	Br	79.904
Krypton	36	Kr	83.80
Rubidium	37	Rb	85.4678
Strontium	38	Sr	87.62
Yttrium	39	Y	88.90584
Zirconium	40	Zr	91.224
Niobium	41	Nb	92.90638
Molybdenum	42	Mo	95.94
Technetium	43	Tc	98
Ruthenium	44	Ru	101.07
Rhodium	45	Rh	102.9055
Palladium	46	Pd	106.42
Silver	47	Ag	107.8682
Cadmium	48	Cd	112.411
Indium	49	In	114.818
Tin	50	Sn	118.710
Antimony	51	Sb	121.757
Tellurium	52	Te	127.603
Iodine	53	I	126.905
Xenon	54	Xe	131.29
Cesium	55	Cs	132.90545
Barium	56	Ba	137.327
Lanthanum	57	La	138.90547
Cerium	58	Ce	140.12
Praseodymium	59	Pr	140.90766
Neodymium	60	Nd	144.242
Europium	62	Eu	151.964
Gadolinium	64	Gd	157.25
Terbium	65	Tb	158.92535
Dysprosium	66	Dy	162.50
Ho	67	Ho	164.93033
Erbium	68	Er	167.259
Thulium	69	Tm	168.934
Ytterbium	70	Yb	173.045
Lutetium	71	Lu	174.967
Hafnium	72	Hf	178.49
Tantalum	73	Ta	180.94788
Tungsten	74	W	183.84
Rhenium	75	Re	186.207
Osmium	76	Os	190.23
Iridium	77	Ir	192.22
Platinum	78	Pt	195.084
Gold	79	Au	196.96657
Mercury	80	Hg	200.59
Thallium	81	Tl	204.38
Lead	82	Pb	207.2
Bismuth	83	Bi	208.9804
Po	84	Po	209
Astatoine	85	At	210
Radium	86	Ra	226
Actinium	87	Ac	227
Francium	88	Fr	223
Radium	89	Ra	226
Actinium	90	Ac	227
Thorium	90	Th	232.0377
Protactinium	91	Pa	231.036888
Uranium	92	U	238.02891
Np	93	Np	237
Pu	94	Pu	244
Am	95	Am	243
Cm	96	Cm	247
Bk	97	Bk	247
Cf	98	Cf	251
Es	99	Es	252
Fm	100	Fm	257
Md	101	Md	258
No	102	No	259
Lr	103	Lr	262
Rutherfordium	104	Rf	261
Dubnium	105	Db	262
Seaborgium	106	Sg	266
Berkelium	107	Bk	267
Californium	108	Cf	271
Einsteinium	109	Es	272
Fermium	110	Fm	277
Mendelevium	111	Md	281
Nobelium	112	Nb	285
Lawrencium	113	Lr	262
Rutherfordium	114	Rf	261
Dubnium	115	Db	262
Seaborgium	116	Sg	266
Berkelium	117	Bk	267
Californium	118	Cf	271
Einsteinium	119	Es	272
Fermium	120	Fm	277
Mendelevium	121	Md	281
Nobelium	122	Nb	285
Lawrencium	123	Lr	262

5

Abundância dos Elementos (% peso)

	Crosta	Terra
Oxigênio	46.3 %	29.5%
Silício	28.2%	15.2%
Alumínio	8.2%	1.1%
Ferro	5.6%	34.6%
Cálcio	4.1%	1.1%
Sódio	2.4%	0.6%
Potássio	2.1%	0.1%
Magnésio	2.3%	12.7%
Titânio	0.5%	0.1%
Níquel	traço	2.4%
Todos os outros	traço	2.6%

6



7

Íons

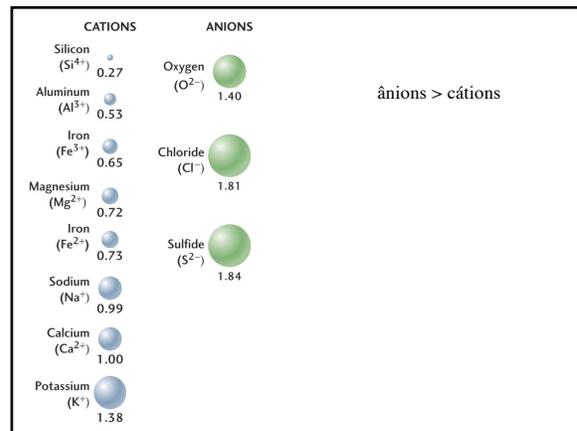
- Quando um átomo perde ou ganha um elétron para outro átomo, ele é chamado de íon
- Os íons positivamente carregados (perda de elétrons) são chamados de cátions
- Íons carregados negativamente (ganho de elétron) são chamados de ânions

8

Íons importantes em minerais

ânions	carga	cátions	carga
O	-2	Si	+4
F	-1	Ti	+4
Cl	-1	Al	+3
OH	-1	Fe	+2 ou +3
		Mg	+2
		Ca	+2
		Na	+1
		K	+1

9



10

Ligações Químicas

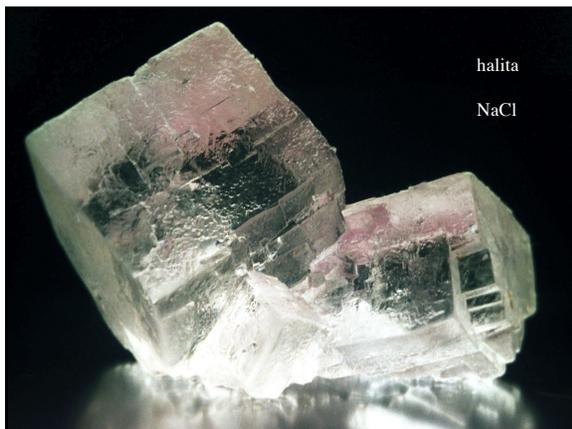
- **Definição**
 - Forças de atração que mantém as partículas unidas em um retículo cristalino ou em uma molécula
 - Interação dos orbitais externos, incompletos, onde se alojam os elétrons de valência dos átomos envolvidos
- **Tipos de Ligação**
 - covalente
 - iônica
 - metálica
 - Van der Waals (residual)
 - ligações de hidrogênio (residual)

11

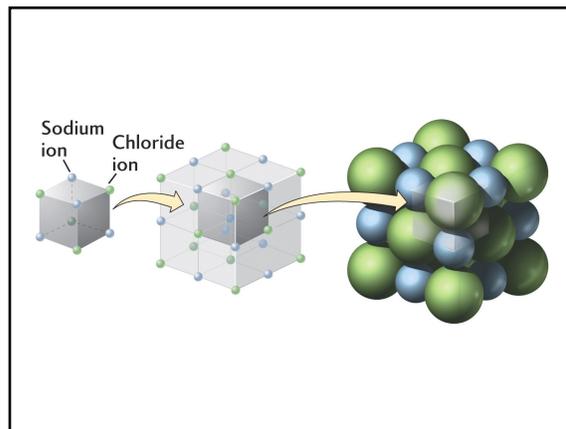
Ligações Iônicas

- Íons de cargas opostas se atraem
- A carga total de um composto, somada, deve ser zero

12



13

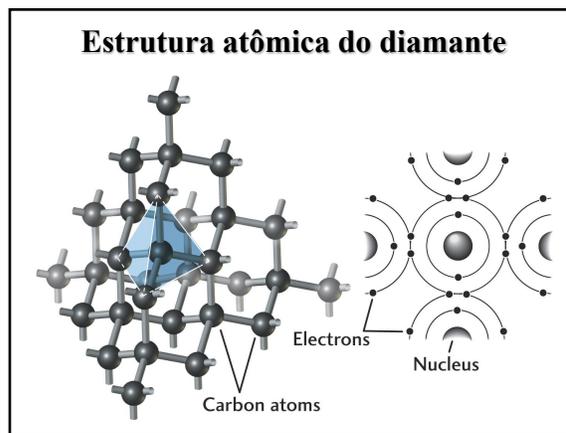


14

Ligação Covalente

- Os elétrons são compartilhados entre átomos
- Essas ligações são muito mais estáveis do que as ligações iônicas

15



16

Ligações metálicas

Metal isolado
Elemento metálico

Núcleo catiónico

2 elétrons de valência
Núcleos catiónicos
Número de elétrons de valência

Metallic Bond (highly schematic)

Examples: Native metals

Electrons wander freely around the metal cations (hence a good electrical conductor)

17

Ligações residuais ou intermoleculares

Ligações de hidrogênio e de Van der Waals

More negatively charged regions of the molecule
More positively charged regions of the molecule
Weak bonds form here

van der Waals Bond

Synchronized electron movement across dipoles, to form (weak) bonds

Dipoles develop

Example: part of the bonds in graphite

18

Formação Mineral

- Cristalização do magma e lava
- Crescimento de cristais no estado sólido (metamorfismo e diagênese)
- Precipitação a partir de soluções (ambiente sedimentar)

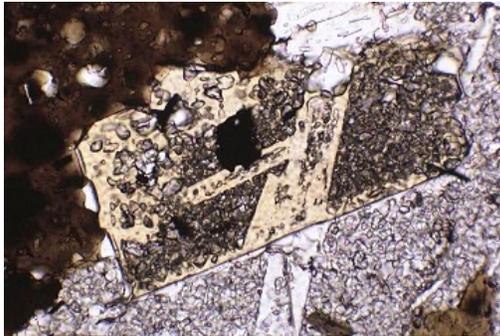
19

Cristalização do magma



20

Crescimento de cristais no estado sólido



21

Precipitada de uma solução



halita

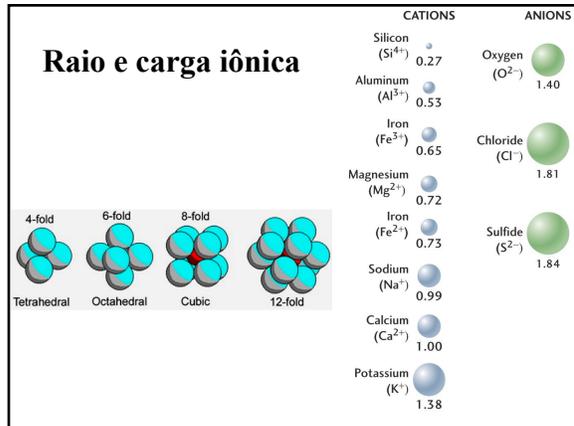
22

Estrutura do Cristal

- Os ânions são geralmente maiores que os cátions
- Estrutura do mineral é determinada em grande parte pela forma como os ânions estão dispostos e como os cátions se encaixam entre eles

23

Raio e carga iônica



24

Poliedros e seus números de coordenação

• Poliedros formados pelas ligações entre cátions e oxigênio:

- Si⁴⁺, Al³⁺, Fe³⁺ - tetraedros
- Mg²⁺, Fe²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, Ti⁴⁺ - octaedros
- Ca²⁺, Na¹⁺, K¹⁺ – cubos distorcidos

Radius Ratio	Coordination Number	Geometrical Arrangements of Nearest Anions around a Central Cation
0.15 - 0.22	3	Corners of an equilateral triangle 
0.22 - 0.41	4	Corners of a tetrahedron 
0.41 - 0.73	6	Corners of an octahedron 
0.73 - 1.00	8	Corners of a cube 
1.00	12	Corners of a cubo-octahedron 

Line & Stephenson (2007)

25

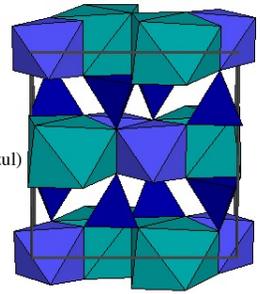
piroxênio - diopsídio

tetraedros com Si

octaedros com Ca (M2 – verde)

octaedros com Mg ou Fe (M1 - azul)

Ca(FeMg)Si₂O₆



26

Cristalografia

Cristalografia = descrição de cristais

Cristal – do grego “krystallos” (κρύσταλλος) = gelo ou quartzo

Cristal - sólido homogêneo, que possui arranjo interno (atômico) tridimensional, ordenado por longas extensões. Como consequência, pode apresentar faces cristalinas e planos de clivagem, e é **anisótropo para determinadas propriedades físicas** (resistência ao risco, condutibilidade térmica, transmissão da luz, etc).

Cristalografia é o estudo de sólidos cristalinos e os princípios que governam sua estrutura interna, seu crescimento e forma externa

27

Substâncias cristalinas

- Estrutura cristalina é o arranjo tridimensional periódico de átomos e que gera sólidos com simetria
- A organização em escala atômica é o reticulado cristalino
- Consequência externa é a formação de faces cristalinas planas, com ângulos constantes entre elas em dado cristal



28

Sistemas Cristalinos

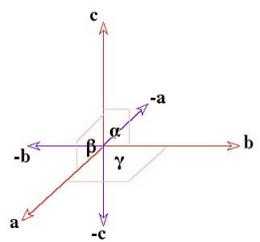
- Os sistemas cristalinos são baseados em referência espacial (sistema de eixos com ângulos interaxiais e constantes lineares variáveis) para posicionar os elementos de simetria e elementos morfológicos dos cristais (faces, eixos, planos)
- Existem 7 Sistemas Cristalinos
 - cúbico
 - tetragonal
 - trigonal
 - hexagonal
 - ortorrômbico
 - monoclinico
 - triclinico

29

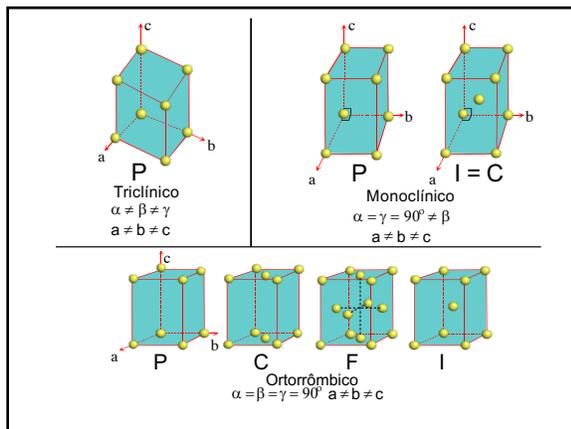
A cruz genérica dos eixos cristalográficos

Constantes lineares:
a, b, c

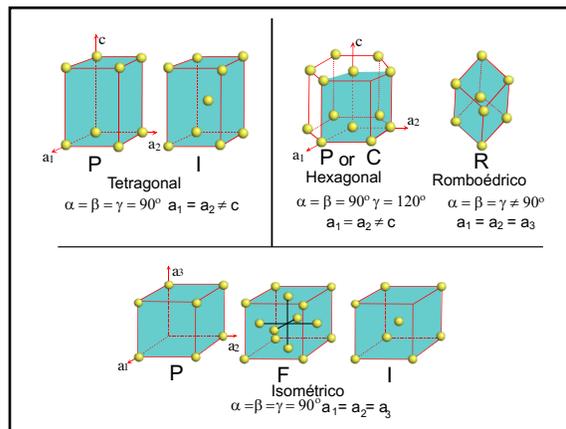
Constantes angulares:
 $\alpha = b \wedge c$
 $\beta = a \wedge c$
 $\gamma = a \wedge b$



30



31



32

Características da cruz dos eixos para os 7 sistemas

Triclínico:	$a \neq b \neq c,$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
Monoclínico:	$a \neq b \neq c,$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta (>90^\circ)$
Ortorrômbico:	$a \neq b \neq c,$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tetragonal:	$a = b \neq c,$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ($a_1 = a_2 \neq c$)
Cúbico:	$a = b = c,$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ($a_1 = a_2 = a_3$)
Hexagonal / Trigonal:	$a = b \neq c,$	$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma = 120^\circ$ ($a_1 = a_2 = a_3 \neq c$)

33

Minerais - Nomenclatura

- Desde 1959:
- **IMA** - (International Mineralogical Association)
- **CNMMN** (Comission of New Minerals and Mineral Names)

- **SUFIXO - ita**
- *dolomita*
- *magnesita*
- *lepidolita*

34

Minerais - Nomenclatura

• **Propriedades Físicas**

- magnetita - $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$ - propriedades magnéticas
- albita - $NaAlSi_3O_8$ - alusão à cor (branca)
- azurita - $Cu_3[OH](CO_3)_2$ - alusão à cor (azul)
- hematita - Fe_2O_3 - alusão à cor do pó (traço vermelho)

magnetita



albita



azurita



hematita



35

Minerais - Nomenclatura

Composição química

- fluorita (CaF_2)
- cromita ($FeO.Cr_2O_3$)
- calcita ($CaCO_3$)
- barita ($BaSO_4$)
- zirconolita ($CaZrTi_2O_7$)
- molibdenita (MoS_2)
- titanita ($CaTiSiO_5$)
- zircão ($ZrSiO_4$)

fluorita



calcita



titanita



36

Minerais - Nomenclatura

Nome dado em homenagem à pessoas

- andradita
- $\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$
- em homenagem à
- José Bonifácio de Andrada e Silva



- coutinhoita
- $(\text{Th}_x\text{Ba}_{1-2x}(\text{H}_2\text{O})_y(\text{UO}_2)_2\text{Si}_5\text{O}_{13}\cdot\text{H}_2\text{O})$
- em homenagem à
- Prof. José Moacir Vianna Coutinho



- goethita
- $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$
- em homenagem à
- Johann Wolfgang von Goethe



37

Minerais - Nomenclatura

Localidades

- aragonita
- (CaCO_3)
- Molina de Aragón, Espanha



- topázio
- $(\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2)$
- Ilha de Topasos, Mar Vermelho



- vesuvianita
- $\text{Ca}_{10}(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_9\text{O}_{34}(\text{OH})_4$
- Monte Vesúvio, Itália



38

Classificação dos minerais

- Minerais com mesmo radical aniônico apresentam propriedades físicas e morfológicas muito mais semelhantes entre si que minerais com o mesmo cátion
- Minerais com mesmo radical aniônico tendem a ocorrer associados na natureza, sendo originados por processos físico-químicos semelhantes
- Esta prática de classificação está de acordo com a nomenclatura de compostos utilizada na **Química Inorgânica**

39

Classificação dos minerais

- **Classes** – baseado no ânion dominante
 - **Famílias** – são divisões de tipos químicos
 - **Grupos** – reúnem minerais com características químicas e cristalóquímicas
 - Os grupos são formados por **espécies**

40

Classificação dos minerais

- **Classes** – são 12 as classes minerais
 - elementos nativos
 - sulfetos
 - sulfosais
 - óxidos
 - haletos
 - carbonatos
 - nitratos
 - boratos
 - fosfatos
 - sulfatos
 - tungstenatos
 - silicatos

41

Classificação dos minerais

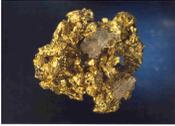
- **Classes** – silicato
 - Família (ou sub-classe) – nesossilicato
 - Grupo da granada
 - almandina $(\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12})$
 - piropo $(\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12})$
 - espessartita $(\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12})$
 - grossulária $(\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12})$

42

Elementos nativos

- Metais Nativos
 - Au, Ag, Cu, Fe, Hg, Pt
- Semi-Metais Nativos
 - As, Bi, Sb
- Não-Metais Nativos
 - C, S

Au
ouro



S
enxofre



43

Sulfetos e arsenietos

acantita	Ag ₂ S	cinábrio	HgS
calcocita	Cu ₂ S	realgar	AsS
bornita	Cu ₅ FeS ₄	ourpimento	As ₂ S ₃
galena	PbS	stibinita	Sb ₂ S ₃
esfalerita	ZnS	pirita	FeS ₂
calcopirita	CuFeS ₂	marcassita	FeS ₂
pirrotita	Fe _{1-x} S	molibdenita	MoS ₂
millerita	NiS	cobaltita	(Co,Fe)AsS
pentlandita	(Fe,Ni) ₉ S ₈	arsenopirita	FeAsS
covellita	CuS	skutterudita	(Co,Ni)As ₃

44



pirita



galena



calcopirita

45



46

Sulfossais

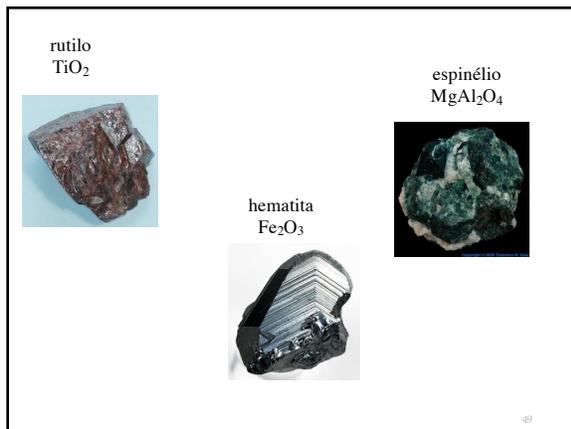
enargita	Cu ₃ AsS ₄
pirargirita	Ag ₃ SbS ₃
proustita	Ag ₃ AsS ₃
tetraedrita	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
tennantita	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃

47

Óxidos (e hidróxidos)

TIPO X ₂ O e XO		TIPO X ₂ O ₃	
cuprita	Cu ₂ O	corindon	Al ₂ O ₃
zincita	ZnO	hematita	Fe ₂ O ₃
		ilmenita	FeTiO ₃
TIPO XO ₂ (excluindo SiO ₂)		TIPO XY ₂ O ₄	
rutilo	TiO ₂	espinélio	MgAl ₂ O ₄
pirolusita	MnO ₂	magnetita	Fe ₃ O ₄
cassiterita	SnO ₂	cromita	FeCr ₂ O ₄
uraninita	UO ₂	crisoberilo	BeAl ₂ O ₄
		columbita	(Fe,Mn)(Nb,Ta) ₂ O ₄

48



49



50

Carbonatos

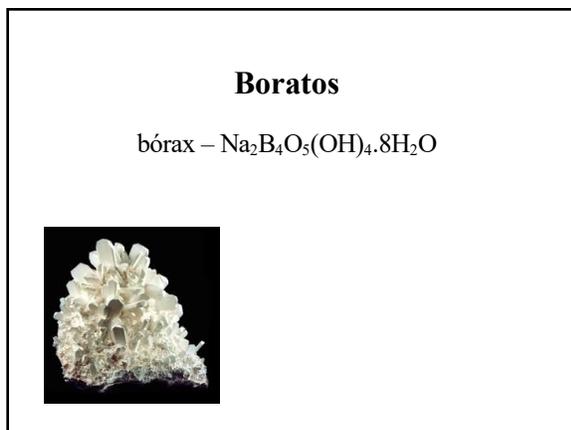
calcita	CaCO_3	aragonita	CaCO_3
magnesita	MgCO_3	witherita	BaCO_3
siderita	FeCO_3	stroncianita	SrCO_3
rodocrosita	MnCO_3	cerussita	PbCO_3
smithsonita	ZnCO_3	dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
malaquita	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	ankerita	$\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$
azurita	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$		

51

Nitratos

- Nitrato de Sódio: NaNO_3
- Fonte de nitratos, que são usados na composição dos explosivos e dos fertilizantes
- Salitre: KNO_3
- Usado como uma fonte de compostos nitrogenados para fertilizantes

52



53

Sulfatos e cromatos

barita	BaSO_4	
celestita	SrSO_4	
anglesita	PbSO_4	
anidrita	CaSO_4	
crocoíta	PbCrSO_4	
gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
calcantita	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	

54



55

Fosfatos



apatita - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})$



monazita - $(\text{Ce,La,Nd,Th})\text{PO}_4$

56

Silicatos

Os silicatos formam a maior classe de minerais formadores de rocha, com diversas sub-classes (sete), as quais são separadas dependendo do tipo e grau de polimerização dos tetraedros de sílica $[\text{SiO}_4]^{4-}$

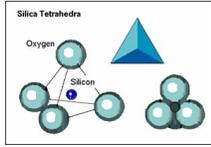
Os silicatos terão uma aula dedicadas a eles

Exemplos de silicatos: quartzo, feldspato, granada, olivina

57

Tetraedros de silício-oxigênio

- Quatro oxigênios em torno de um íon de silício
- Estes tetraedros se combinam para formar a estrutura dos silicatos
- Diferentes combinações produzem diferentes estruturas



58

Tetraedros isolados

Grupo da olivina

(d) Isolated tetrahedra





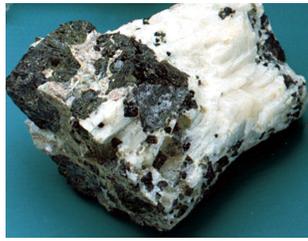
59

Cadeias simples de tetraedros

Grupo dos piroxênios

(e) Single chains





60

Cadeias duplas de tetraedros

Grupo dos anfíbios

(f) Double chains



61

Tetraedros em folhas

Grupo das micas

(g) Sheet



62

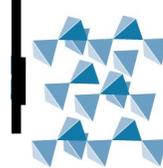


63

Tetraedros em 3D

Grupo dos feldspatos

(h) Framework



64

Identificação dos Minerais

- Identificamos os minerais de uma maneira “**mais simplificada e fácil**” por suas propriedades físicas
- Dureza, clivagem, cor, cor do traço, brilho, hábito, densidade, fratura
- Alguns ensaios químicos simples podem ser usados

65

Dureza

- Dureza é a resistência que a superfície lisa do mineral oferece ao risco (resistência à abrasão)
- Propriedade vetorial que depende da estrutura cristalina do mineral
- **Escala de Mohs**
 - 10 minerais utilizados como padrões;
 - Escala Relativa: o mineral com maior dureza risca os de menor dureza (não se refere à magnitude absoluta em cada um deles)

66

Dureza

A Escala de Mohs

1 - Talco (1) 2 - Gipsita (2) 3 - Calcita (3)

4 - Fluorita (4) 5 - Apatita (5) 6 - Feldspato (6)

7 - Quartzo (7) 8 - Topázio (8) 9 - Corindon (9) 10 - Diamante (10)

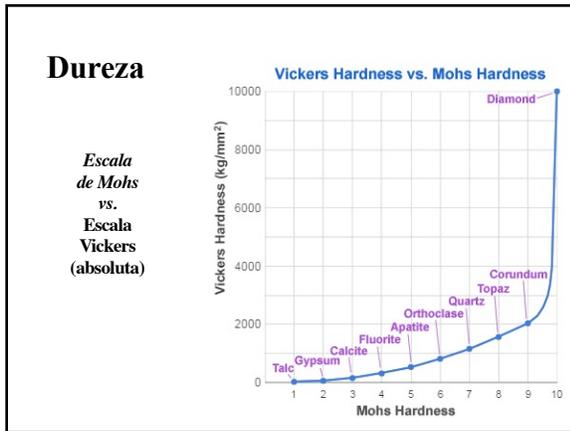
67

Dureza

A Escala de Mohs

1 - Talco	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Palito de fósforo (± 1)
2 - Gipsita	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Unha (± 2)
3 - Calcita	$CaCO_3$	Alfinete ($\pm 3,5$)
4 - Fluorita	CaF_2	
5 - Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$	Aço - lâmina de barbear (± 5)
6 - Feldspato K	$K(AlSi_3O_8)$	Vidro ($\pm 5,5$)
7 - Quartzo	SiO_2	Porcelana ($\pm 6,0$)
8 - Topázio	$Al_2SiO_4(F,OH)_2$	
9 - Corindon	Al_2O_3	
10 - Diamante	C	

68



69

Clivagem

- Clivagem é a tendência de um mineral quebrar-se em direções preferenciais, paralelamente a planos atômicos específicos, sendo consistente com a simetria do mineral
- Relacionada à estrutura cristalina
- Superfície de clivagem = superfície de quebra
- Face cristalina = superfície de crescimento
- Face cristalina \neq clivagem

70

Clivagem

- Caracteriza-se o número, a orientação e a qualidade das clivagens em um mineral:

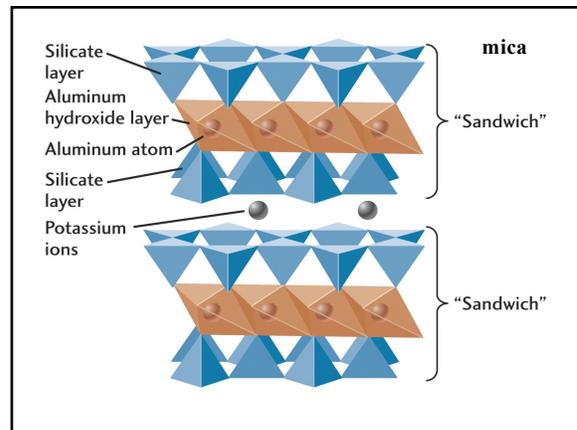
Formas

- Romboédrica : como na calcita
- Octaédrica: como no diamante
- Cúbica: como na galena

Qualidade (Escala comparativa e empírica)

- Excelente
- Boa
- Pobre
- Ruim

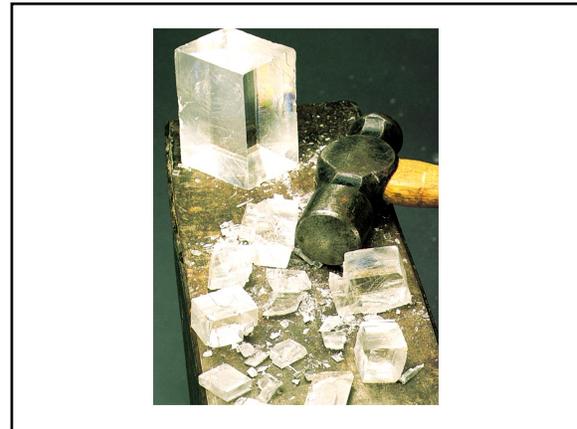
71



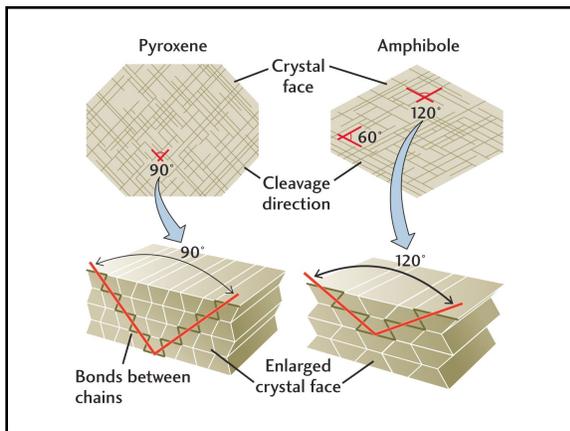
72



73



74



75

Partição

- Superfície de quebra associada à planos estruturais específicos de fraqueza, podendo estar relacionada à planos de geminação entre cristais ou como resposta à pressão
- Não necessariamente encontrada em todas as espécies de um mesmo mineral
- Exemplo: cristais geminados podem apresentar partição ao longo de seus planos composicionais, mas entre esses planos eles fraturam de forma irregular

76

Fratura

- Alguns minerais não apresentam clivagem, mas podem apresentar uma forma característica de se quebrar, mas sem formar planos definidos e paralelos
- O quartzo, por exemplo, tem fratura conchoidal

77



78

Tenacidade

- Tenacidade é a medida da coesão de um mineral, ou seja, a sua resistência a ser quebrado, esmagado, dobrado ou rasgado
- Classificação **Qualitativa**:
 - **Quebradiço**: o mineral se rompe ou é pulverizado com facilidade
 - **Maleável**: o mineral pode ser transformado em lâminas, por aplicação de impacto
 - **Séctil**: o mineral pode ser cortado por uma lâmina de aço
 - **Dúctil**: o mineral pode ser estirado para formar fios
 - **Flexível**: o mineral pode ser curvado, mas não retorna à sua forma original após o esforço
 - **Elástico**: o mineral pode ser curvado, mas volta à sua forma original após o esforço

79

Interação com a luz

- Propriedades dos minerais que indicam como eles interagem com a luz
 - cor
 - brilho
 - cor de traço
 - transparência

80

Cor

- Resposta do olho ao intervalo da luz visível do espectro eletromagnético
- O que interpretamos como cor do mineral é o resultado da absorção seletiva de determinados comprimentos de onda (λ) da luz que atravessa o mineral
- Os λ s não absorvidos tornam-se dominantes no espectro que emerge do mineral e a combinação desses λ s é o que se percebe como cor
- Se a luz não é absorvida, o mineral é incolor

81

Cor

- Mecanismos que produzem cores:
 - **Presença de íons metálicos**
 - (Transições de campo cristalino)
 - **Transferência de carga**
 - (Transições de orbitais moleculares)
 - **Centros de cor**

82

Cor

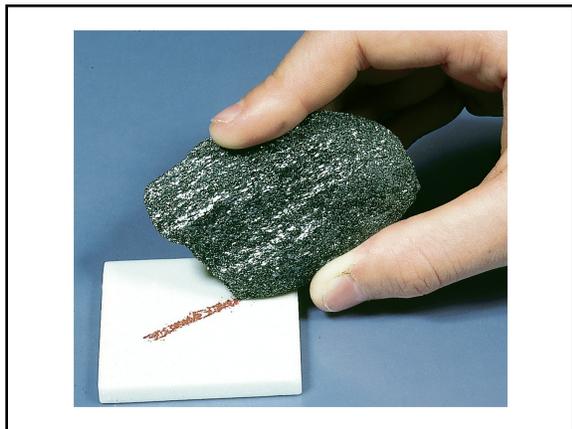
- **Minerais idiocromáticos**
 - têm cores próprias, constantes, inerente à composição química,
 - enxofre, ouro
- **Minerais alocromáticos** (acróicos) quando puros são incolores (acróicos) e assumem diversas cores em função da presença de impurezas, variações na composição química ou imperfeições no retículo cristalino
 - quartzo e fluorita

83

Cor do traço

- **Cor do pó fino de um mineral**
 - Embora cor do mineral possa ser variável, cor de traço é relativamente constante;
 - especialmente importante em **minerais de brilho metálico (óxidos e sulfetos)**;
 - observação feita atritando-se o mineral numa placa de porcelana não polida (dureza 6 a 7);
 - não funciona com minerais com dureza acima de 6 ou 7

84



85

Brilho

- Brilho é a capacidade de **reflexão** da luz incidente pela superfície do mineral.
 - **brilho metálico**
 - (com a aparência brilhante de metal)
 - Reflexão >75% da luz incidente
 - Característico de minerais dominados por ligações metálicas ou parcialmente metálicas
 - Geralmente apresentam cor de traço escuro
 - **brilho não metálico**
 - (sem a aparência de metal)
 - Característico de minerais dominados por ligações iônicas ou covalentes
 - Geralmente apresentam cor de traço claro

86

Table 3-3 Mineral Luster

Luster	Characteristics
Metallic	Strong reflections produced by opaque substances
Vitreous	Bright, as in glass
Resinous	Characteristic of resins, such as amber
Greasy	The appearance of being coated with an oily substance
Pearly	The whitish iridescence of such materials as pearl
Silky	The sheen of fibrous materials such as silk
Adamantine	The brilliant luster of diamond and similar minerals

87

Transparência

- Capacidade do mineral de ser atravessado pela luz
- Classificação:
 - **Transparente:** é possível ver contornos de objetos através do mineral
 - **Translúcido:** há passagem de luz, mas não é possível distinguir contornos de objetos
 - **Opaco:** não permite a passagem da luz, mesmo em seções delgadas

88

Magnetismo

- Magnetismo de um mineral é uma propriedade atômica que depende da soma dos momentos magnéticos dos elétrons constituintes (relacionado ao número quântico spin)
- Classificados em
 - Diamagnéticos
 - Paramagnéticos
 - Ferromagnéticos
 - Ferrimagnéticos
- Minerais comuns distinguíveis por imã de mão:
 - Magnetita – Fe_3O_4
 - Pirrotita – $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$

89

Densidade

- Indica quantas vezes certo volume do mineral é mais pesado que o mesmo volume de água a 4 °C
- Dependente de
 - tipo de átomos que compõem o mineral
 - maneira que átomos estão empacotados
- minerais formadores de rocha: 2,5 a 3,3
- minerais com elementos de alto peso atômico (Ba, Pb, Sr) : > 4

90

Hábito

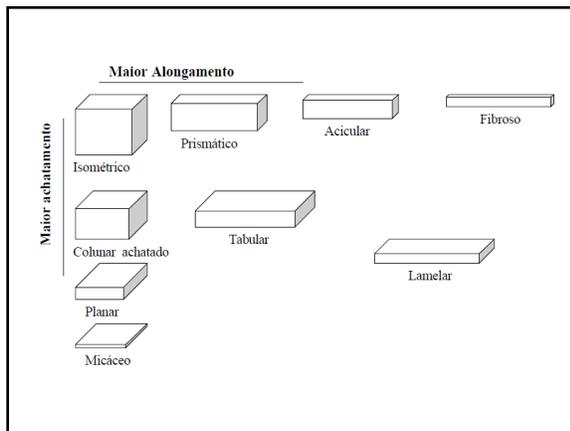
- Forma geométrica externa (aparência geral) dos indivíduos de uma mesma espécie mineral
- Reflexo da estrutura cristalina
- O hábito ocorre somente quando grãos minerais crescem livremente num espaço aberto

91

Hábito

- **Equidimensional** – as formas assumidas pelos cristais tendem a apresentar dimensões iguais nas 3 direções espaciais.
- **Prismático** – uma das dimensões predomina sobre as outras duas, resultando formas alongadas.
- **Acicular** – predomínio exagerado de uma das dimensões confere a forma de agulha aos cristais (prisma muito alongado).
- **Tabular** – duas das dimensões predominam sobre uma terceira, configurando-se formas achatadas.
- **Placóide** – o mineral se apresenta em folhas ou placas.

92



93

Hábito

- **Equidimensional** – as formas assumidas pelos cristais tendem a apresentar dimensões iguais nas 3 direções espaciais.



94

Hábito

- **Acicular** – predomínio exagerado de uma das dimensões confere a forma de agulha aos cristais (prisma muito alongado).



95

Hábito

- **Tabular** – duas das dimensões predominam sobre uma terceira, configurando-se formas achatadas.



96

Hábito

- **Placóide** – o mineral se apresenta em folhas ou placas.

97

Hábito

- Alguns hábitos distinguem-se dos hábitos cristalinos por serem formados por muitos indivíduos da mesma espécie e, nos quais frequentemente **não se consegue a observação de cada indivíduo isoladamente**
- **compacto (maciço)** - massas homogêneas
- **granular** – composto por grãos (sem conotação específica de forma ou tamanho)
- **terroso** -massas pouco coerentes (friáveis) constituídas por grânulos;
- **botrioidal** - concreções globulares que se reúnem a maneira de cacho de uva.
- **reniforme** - forma de rins
- **dendrítico** – arborescente, em ramos como de uma planta
- **fibroso** – massas de indivíduos aciculares
- **geodos** – cavidade cuja superfície é coberta de cristais
- **drusas** – superfície coberta de pequenos cristais

98

Agregados Cristalinos

99

Teste com ácido clorídrico da calcita

Fig. 3.16

100

Isoestruturalismo

- **Minerais isoestruturais** são minerais com:
 - Mesmo tipo de estrutura cristalina
 - composição química diferente ou variável dentro de certos limites
 - Sinônimo de isomorfismo (termo em desuso)

101

Isoestruturalismo

Halita (NaCl)

Galena (PbS)

Sylvita (KCl)

Periclásio (MgO)

102

Isoestruturalismo

	Fluorita CaF ₂ Ca - roxo F ⁻ - vermelho	Uraninita UO ₂ U - roxo O - vermelho
--	---	---

CaF₂

NaCl

103

Solução Sólida

- Estruturas cristalinas em que um ou mais sítios iônicos são ocupados por diferentes elementos químicos em proporções variáveis
 - Depende de
 - tamanho** relativo de átomos, íons ou grupos iônicos;
 - carga** do íon envolvido na substituição (valência eletrostática);
 - temperatura** em que a substituição ocorre.
 - Pode simples ou acoplada

104

- Solução sólida substitucional simples
 - Elementos com valências idênticas

olivina
(Mg,Fe)₂SiO₄

Raios iônicos
Mg - 0.72 Å
Fe²⁺ - 0.78 Å

SS completa entre
forsterita Mg₂SiO₄
faialita Fe₂SiO₄

105

SS completa entre
albita NaAlSi₃O₈
anortita CaAl₂Si₂O₈

- Solução sólida substitucional acoplada
 - Elementos com valências diferentes
 - Balanco de cargas equilibrado por substituições acopladas em outros sítios da estrutura para a manutenção da neutralidade elétrica.

Série - feldspato plagioclásio
Na⁺ + Si⁴⁺ = Ca²⁺ + Al³⁺ (acoplada)

raios iônicos
Ca - 1.12 Å
Na - 1.18 Å

106

Polimorfos

- Minerais com a mesma composição química, mas estrutura diferente
- diamante e grafite
- andalusita, cianita e silimanita
- quartzo α, β, cristobalita, tridimita, coesita, stichovita,

107

CARBON POLYMORPH MINERALS

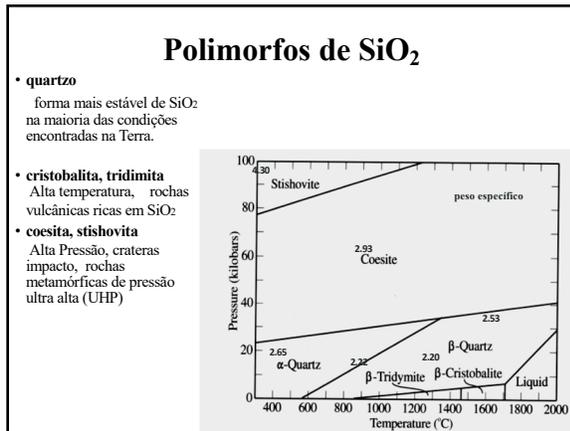
(a) Graphite (b) Diamond

Graphite

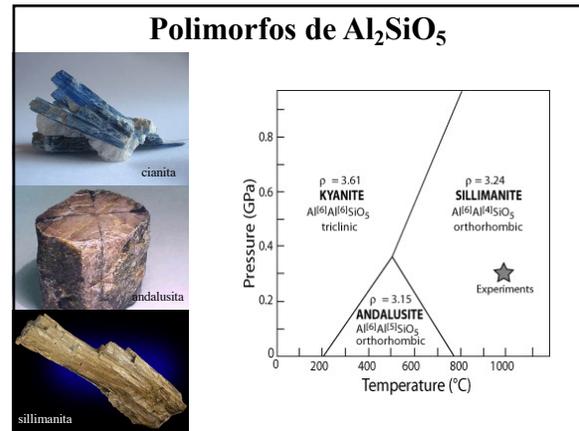
Diamond

Fig. 3.11

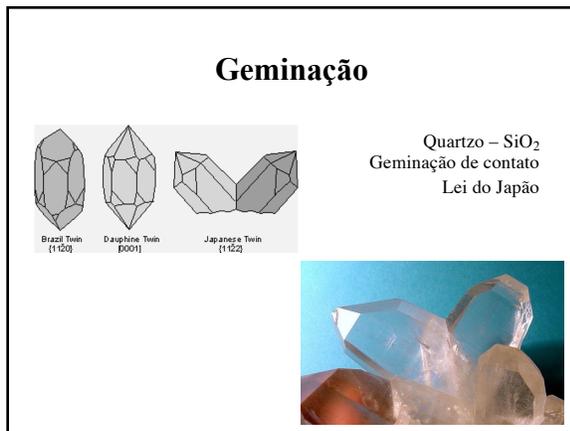
108



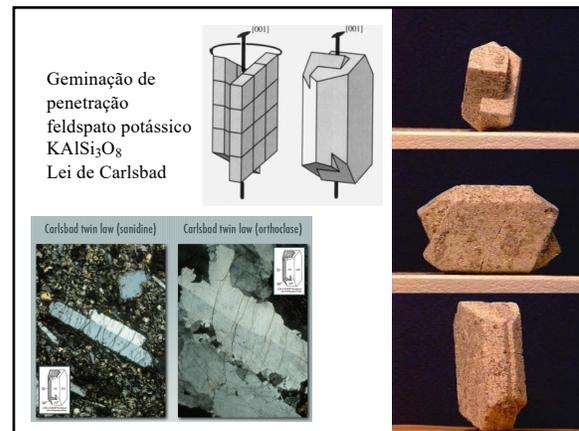
109



110



111



112



113