

ESTANDE  
05

Grupos de Desenvolvimento  
Profissional GDP 2008  
Grupo 2

ATENÇIDITA

TEMA:

ATENÇIDITA:

UMA NOVA ESCOLA

DAS MINAS DE LIOPOLES.

Atencidita é a  
única, rara  
e exclusivamente  
de Linópolis

ATENÇIDITA

ATENÇIDITA

ATENÇIDITA





## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Empacotamento de tangerinas de mesmo tamanho em um plano



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

### Empacotamento tridimensional de esferas metálicas



# Poliedros de Coordenação

Esferas iguais Razão de Raios: 1.0 (comumente el. nativos)

“Empacotamento compacto”

Arranjo Hexagonal:

6 vizinhos  
próximos no plano

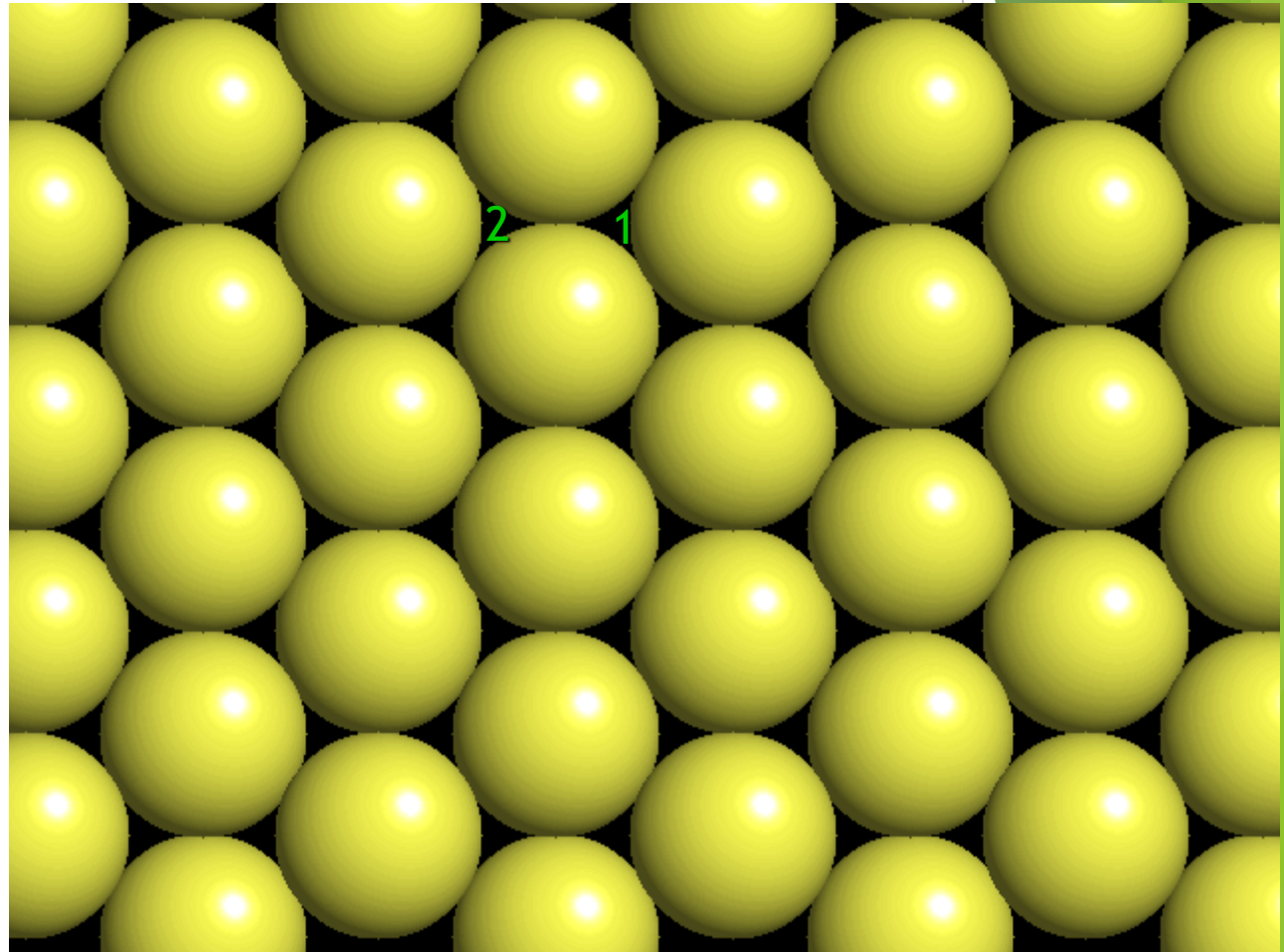
Note vazios nos quais  
os átomos da próxima  
camada se assentarão

Dois tipos de vazio:

Tipo 1 aponta NE

Tipo 2 aponta SW

São **equivalentes** pois  
uma rotação de  $60^\circ$  da  
estrutura os troca





# Empacotamento Compacto

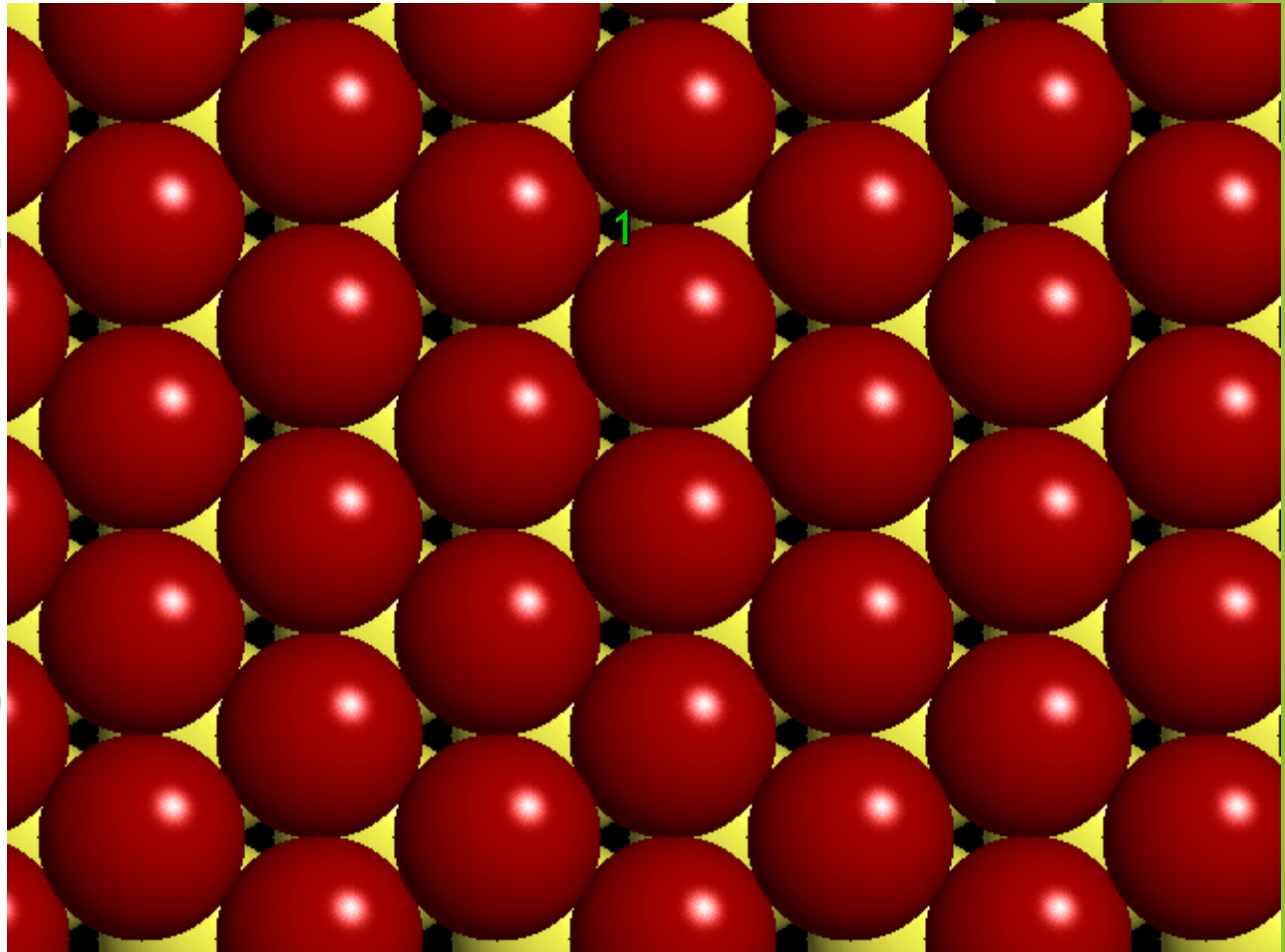
Adicione camada seguinte (vermelho)

Átomos vermelhos só podem se assentar em um tipo de vazio

Ambos os tipos são idênticos (os átomos podem “escolher”)

Quando o primeiro se assenta, **só são ocupados outros vazios do mesmo tipo**

Neste caso, todos os vazios tipo 2



Terceira camada ??

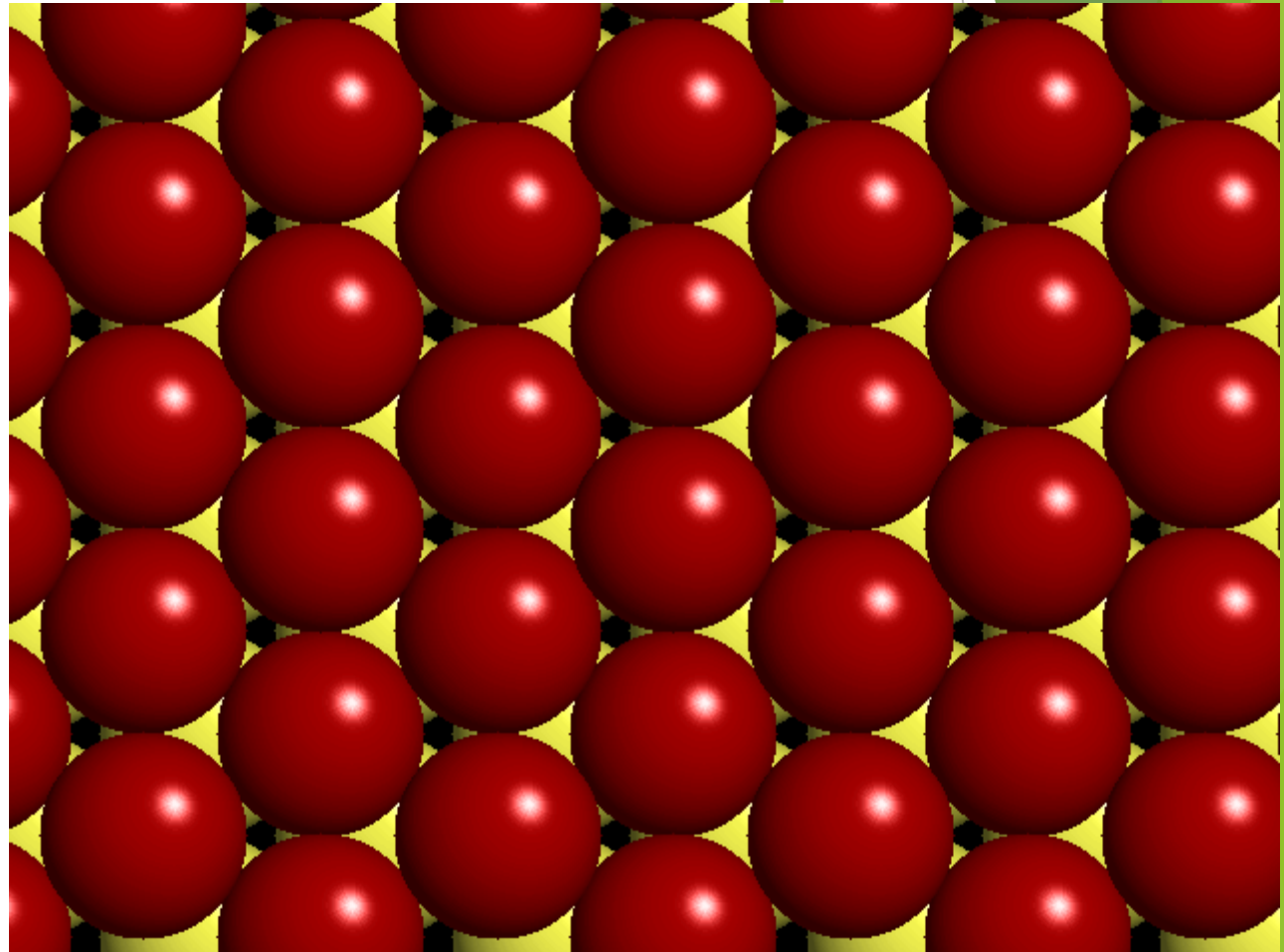
Os vazios da  
terceira camada  
são diferentes!

Camada 1 **Sítios A**

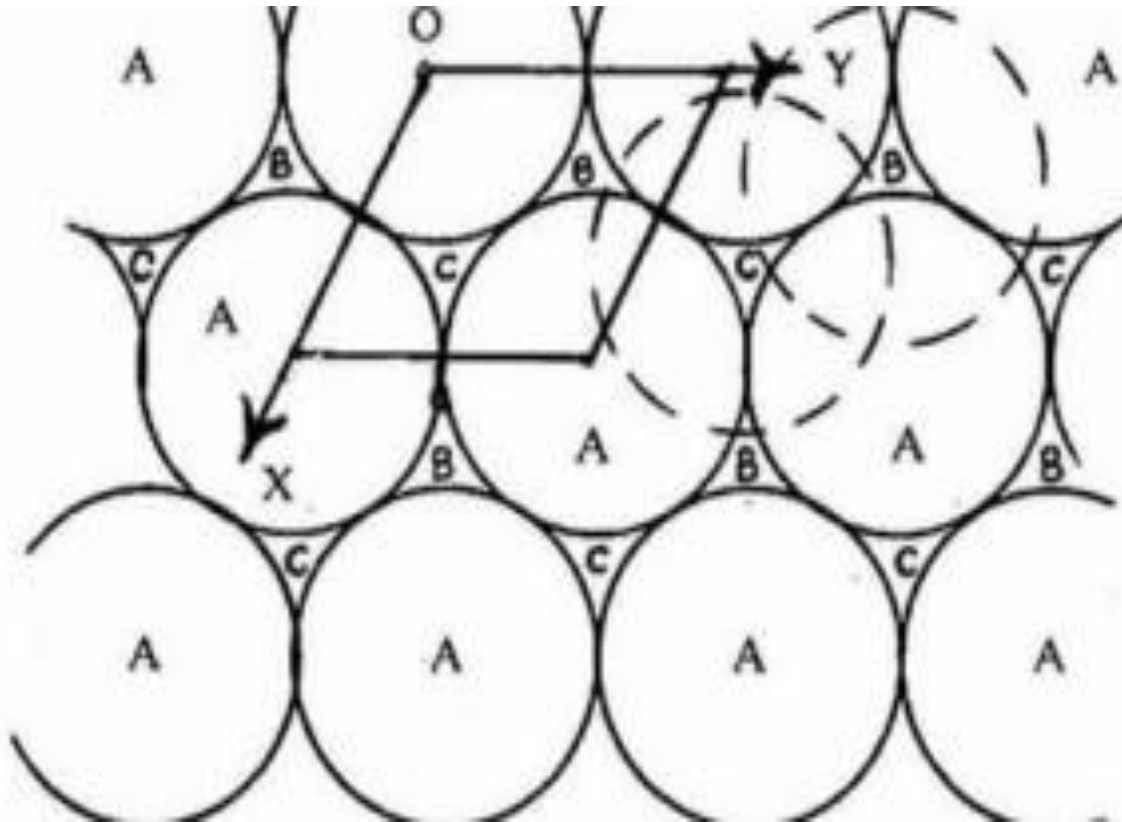
Camada 2 **Sítios B**  
(*não importa  
qual tipo de  
vazio é ocupado*)

Camada 3 pode  
agora ocupar  
sítios A  
(diretamente  
acima dos  
átomos  
amarelos) ou  
**sítios tipo C**  
(acima dos  
vazios de ambas  
as camadas A e  
B)

# Empacotamento Compacto



De outro modo...



# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

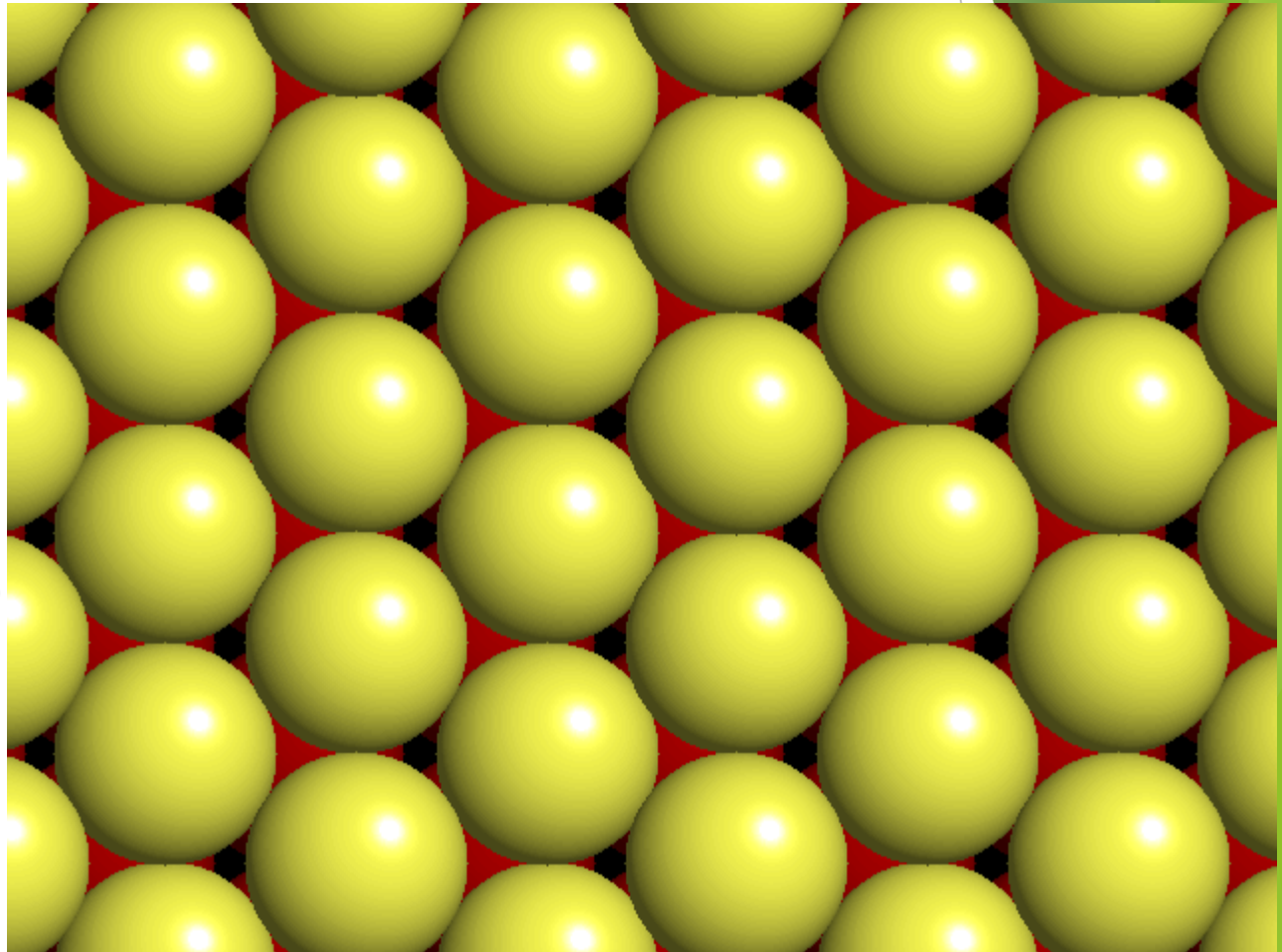
Se ocupa sítio tipo A o ordenamento de camadas se torna A-B-A-B e cria uma **estrutura hexagonal compacta (HCP)**

**Número de coordenação**  
(vizinhos próximos ou que se tocam),  
**N.C. = 12**

6 coplanares

3 acima do plano

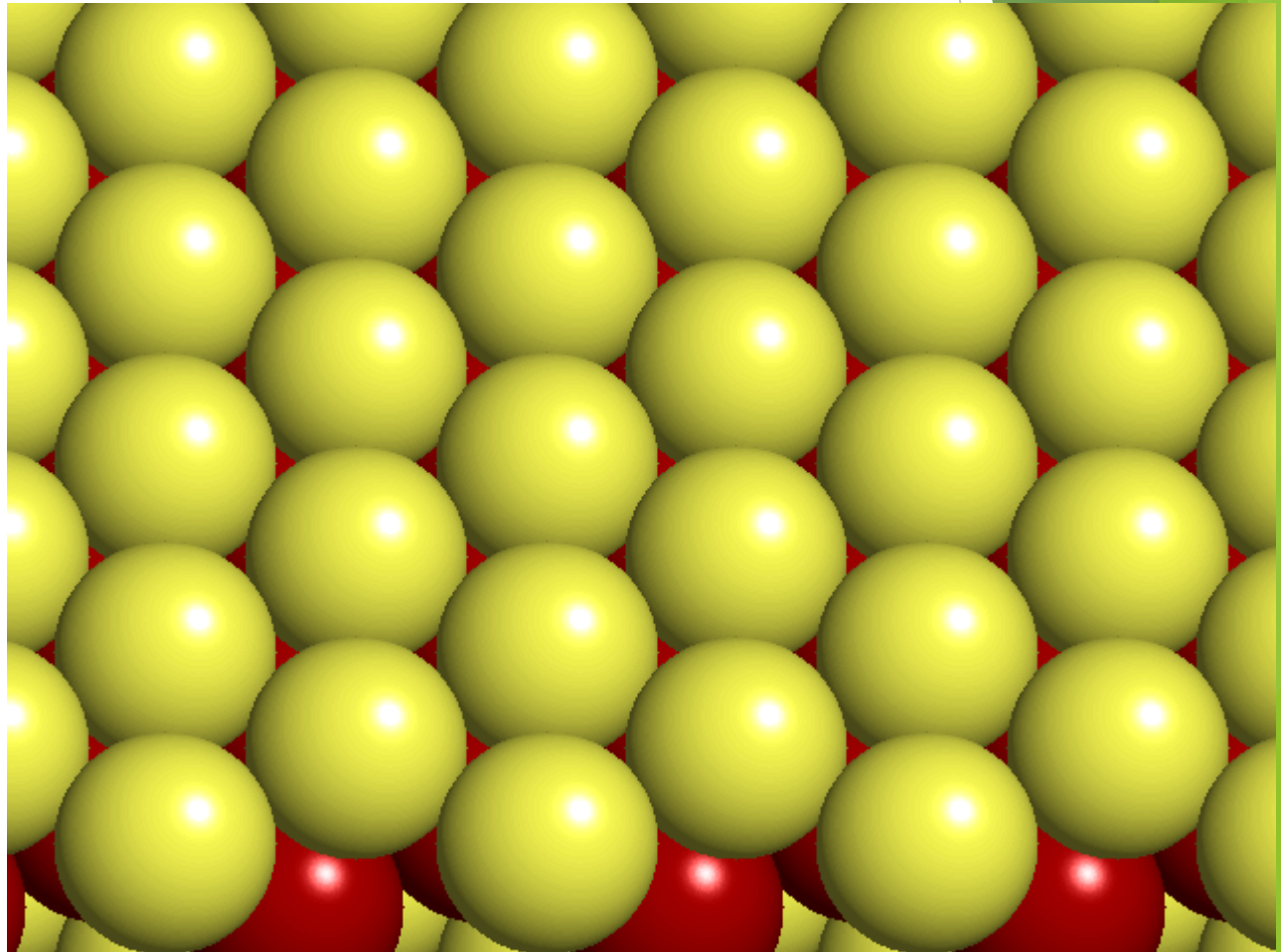
3 abaixo do plano



# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

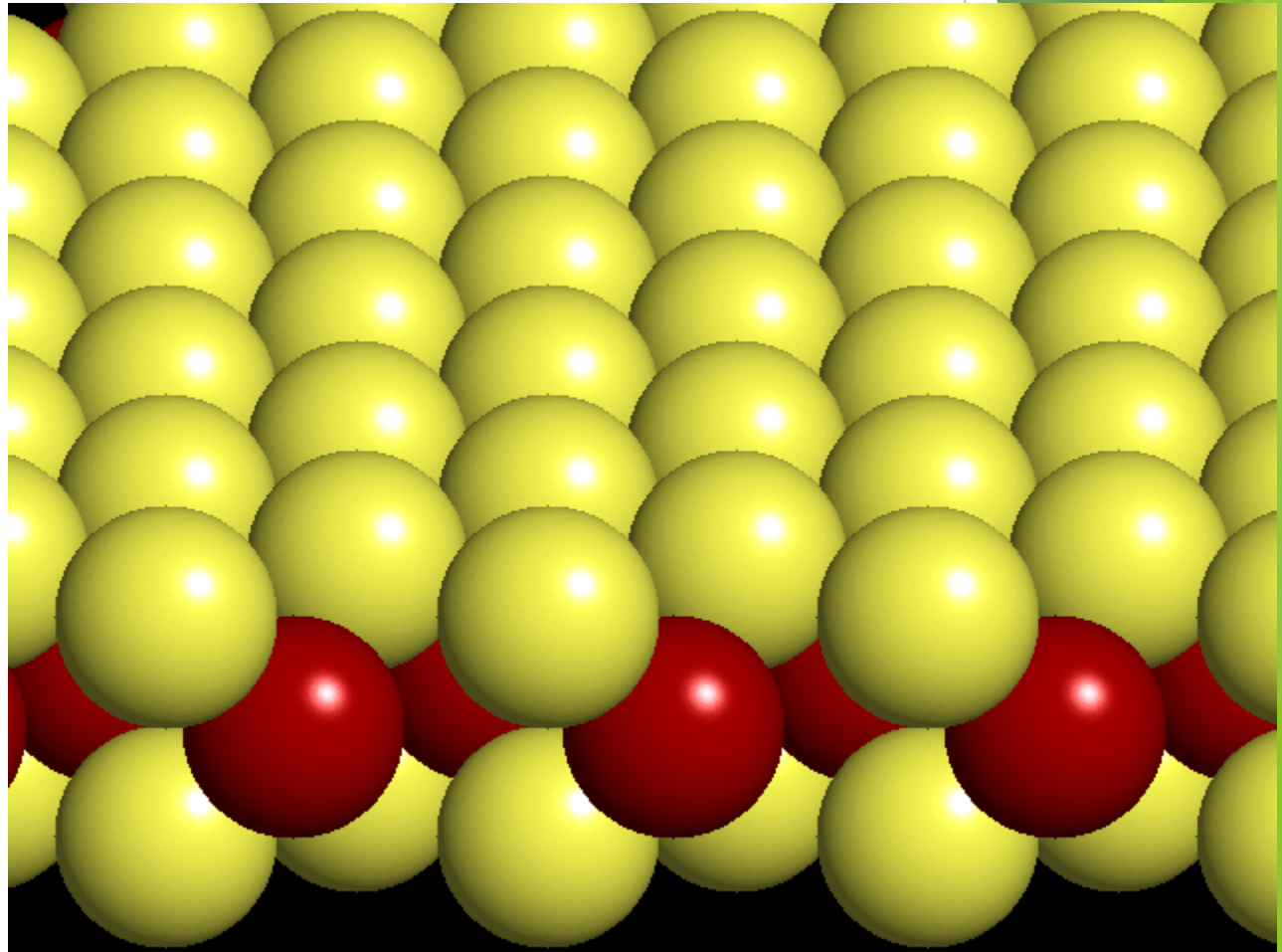
Se ocupa sítio tipo A  
o ordenamento de  
camadas se torna  
A-B-A-B e cria  
uma **estrutura  
hexagonal  
compacta (HCP)**



# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

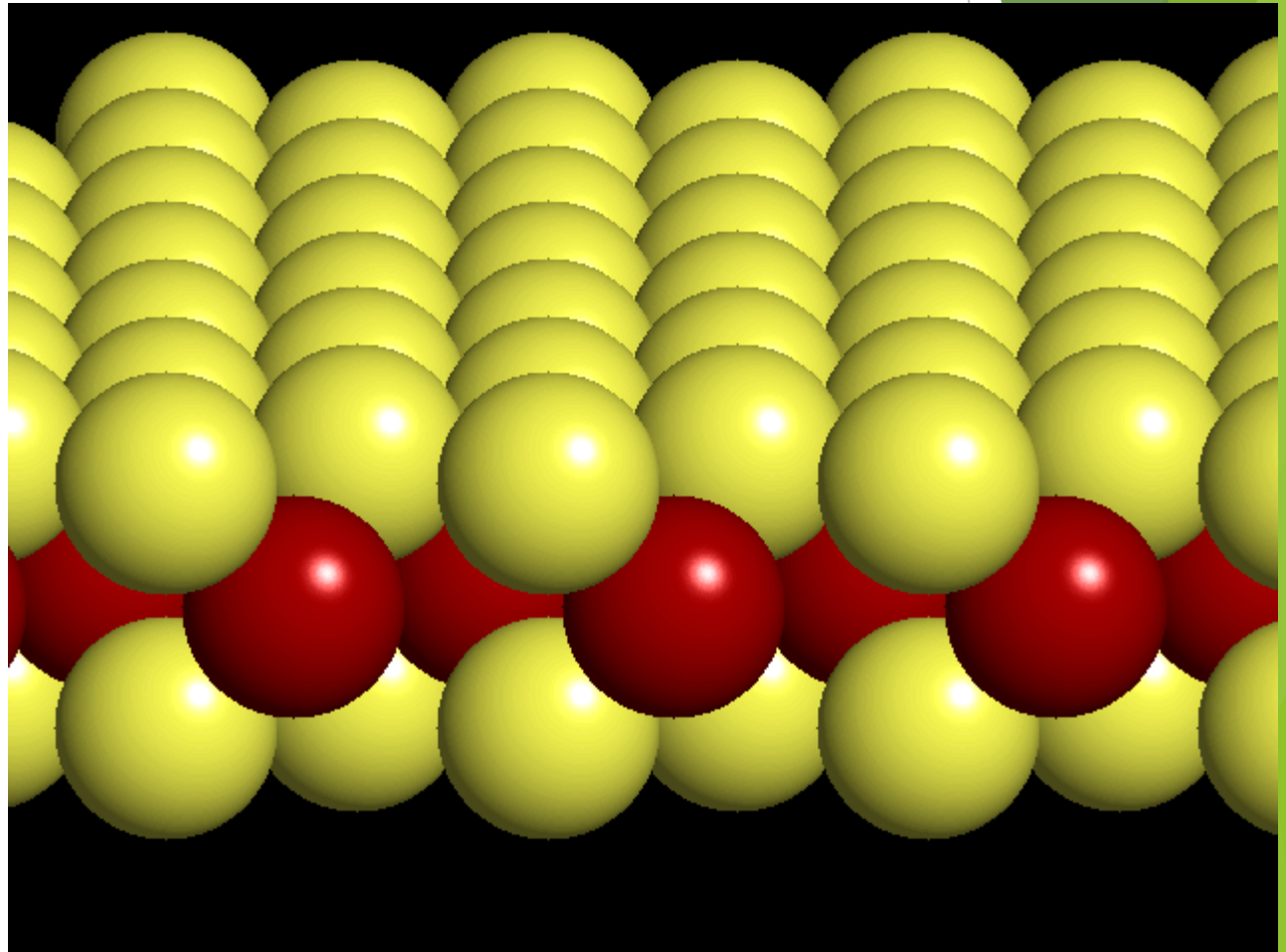
Se ocupa sítio tipo A  
o ordenamento de  
camadas se torna  
A-B-A-B e cria  
uma **estrutura  
hexagonal  
compacta (HCP)**



# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

Se ocupa sítio tipo A o ordenamento de camadas se torna A-B-A-B e cria uma **estrutura hexagonal compacta (HCP)**

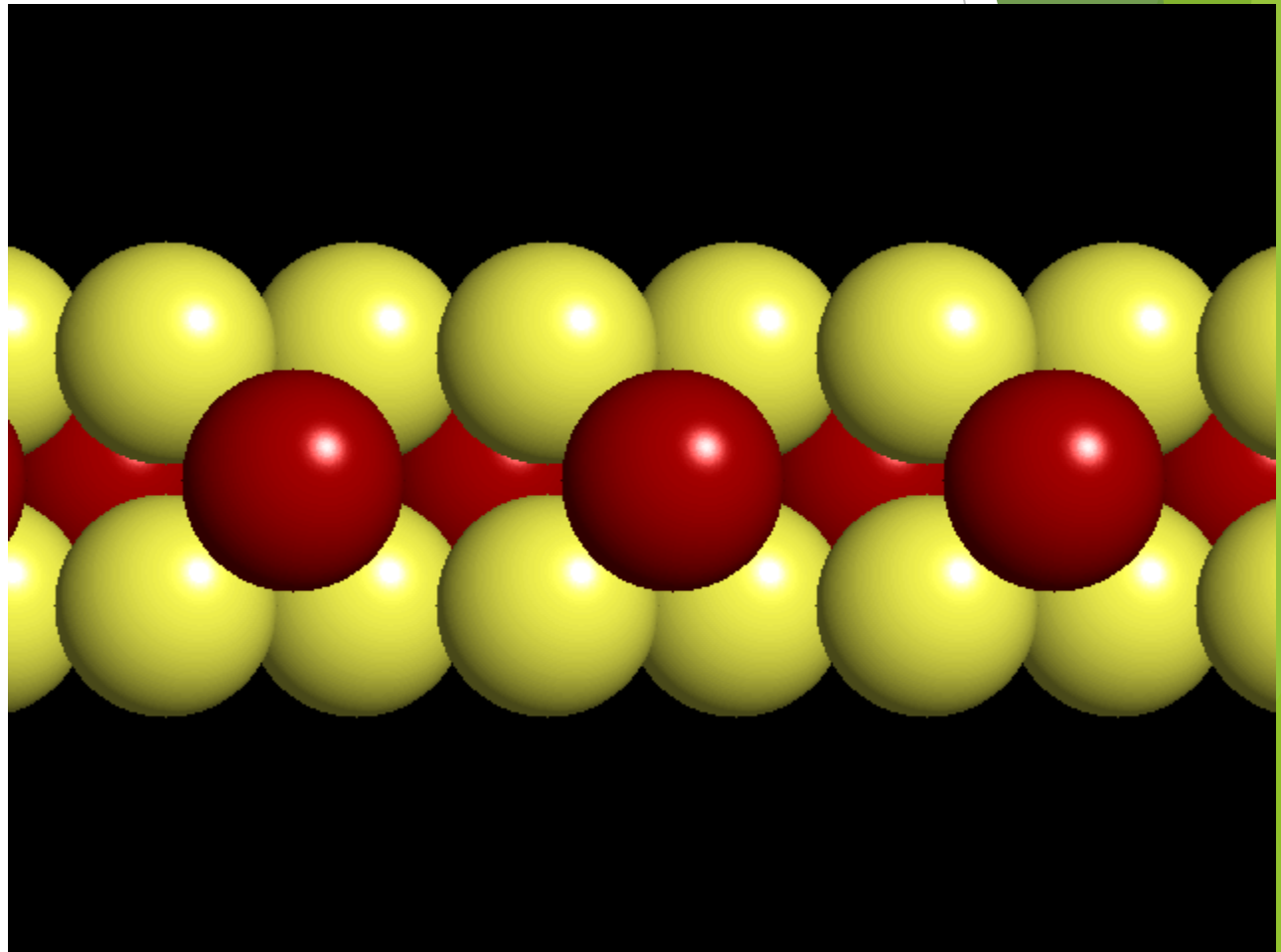


# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

Se ocupa sítio tipo A o ordenamento de camadas se torna A-B-A-B e cria uma **estrutura hexagonal compacta (HCP)**

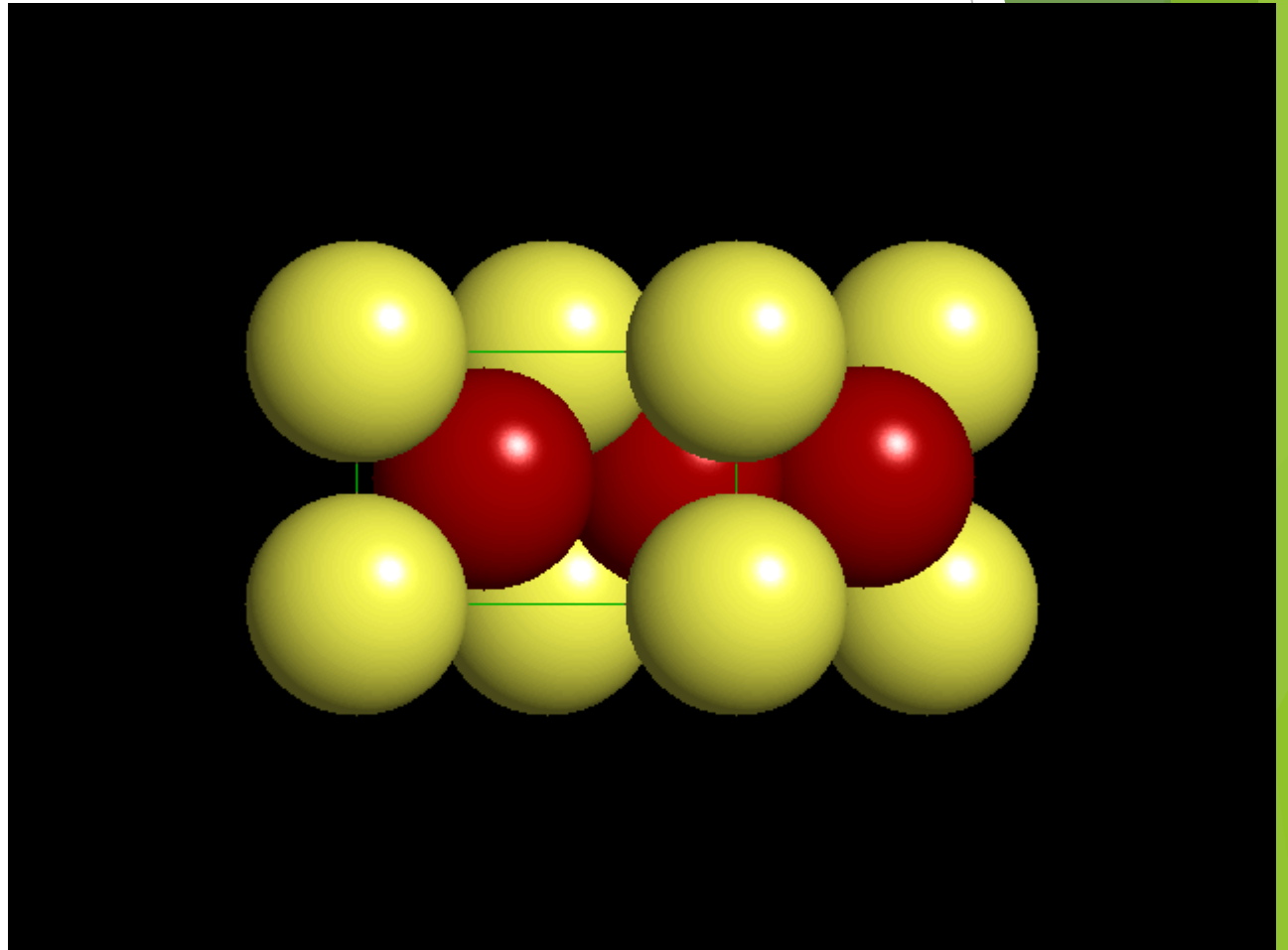
Note que os átomos da camada superior estão diretamente acima dos da camada inferior



# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

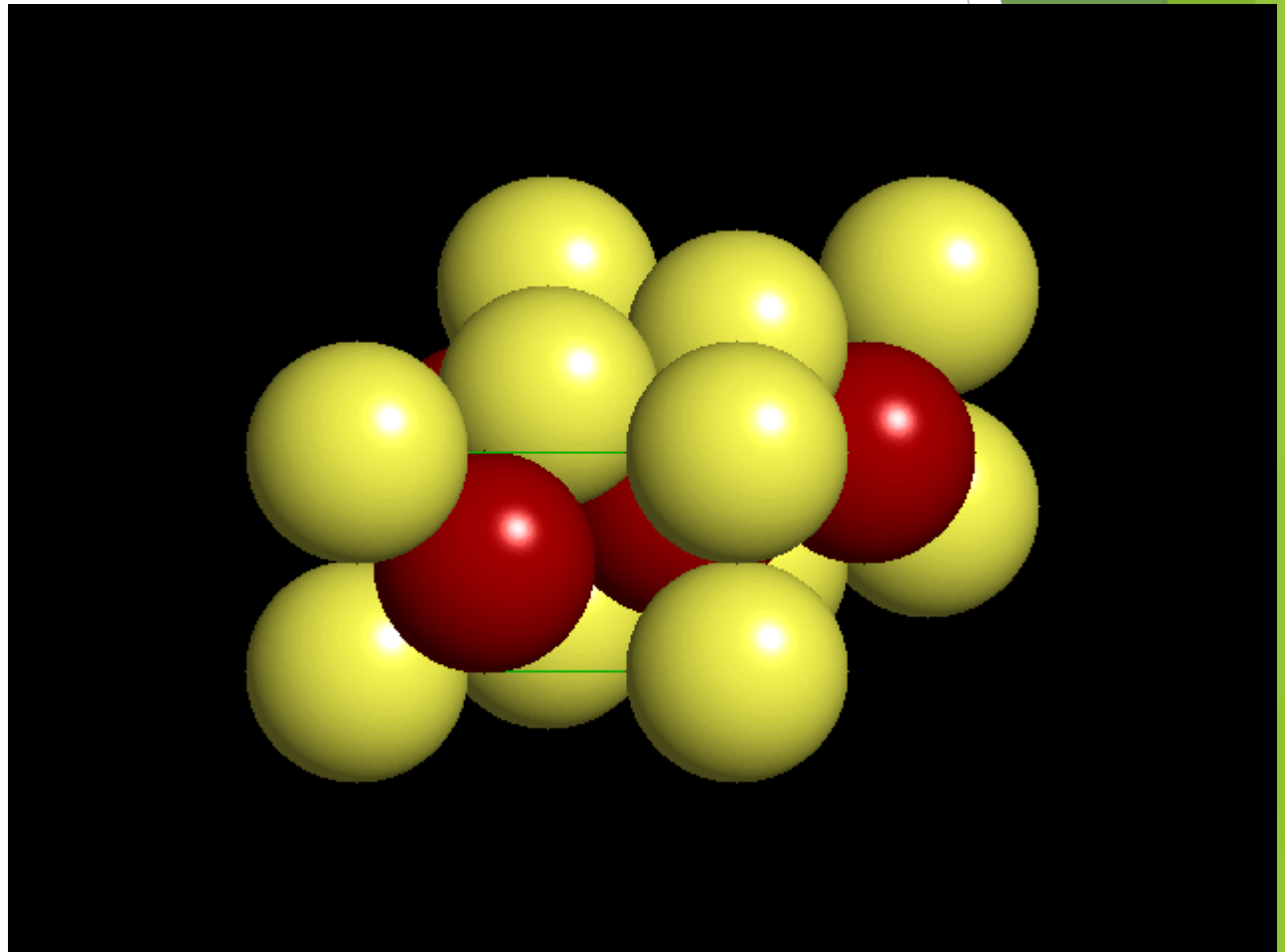
Cela unitária



# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

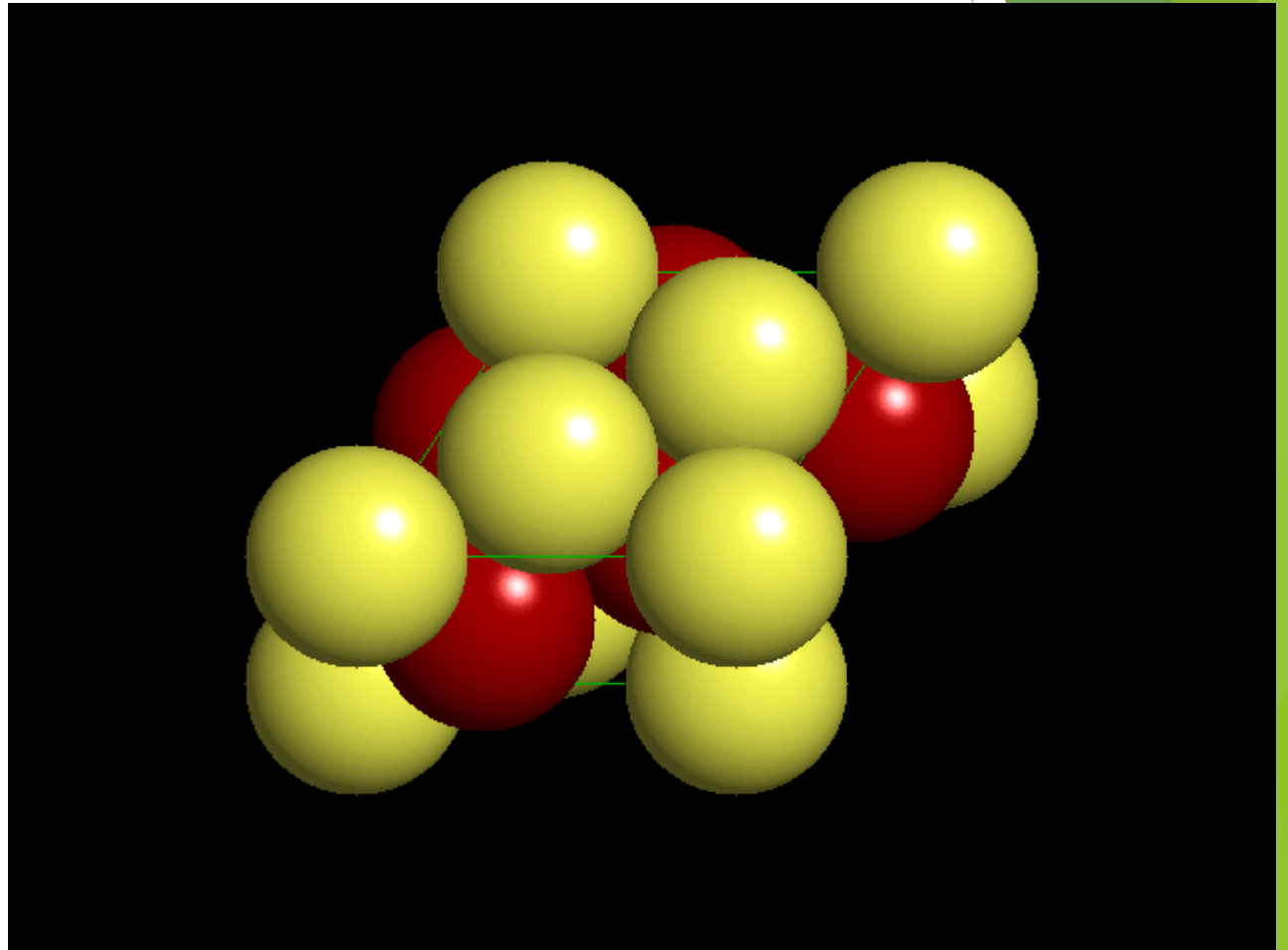
Cela unitária



# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

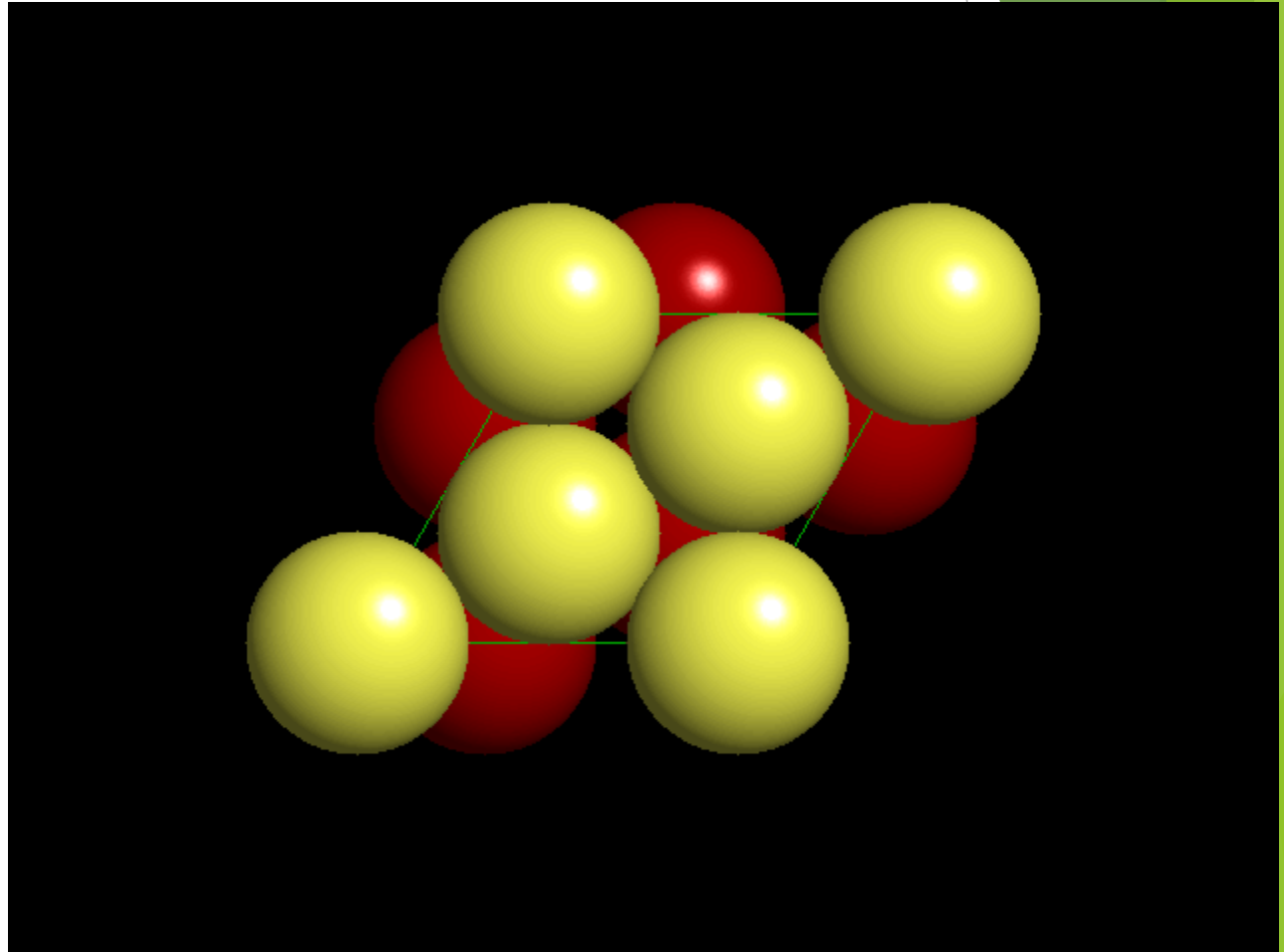
Cela unitária



# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

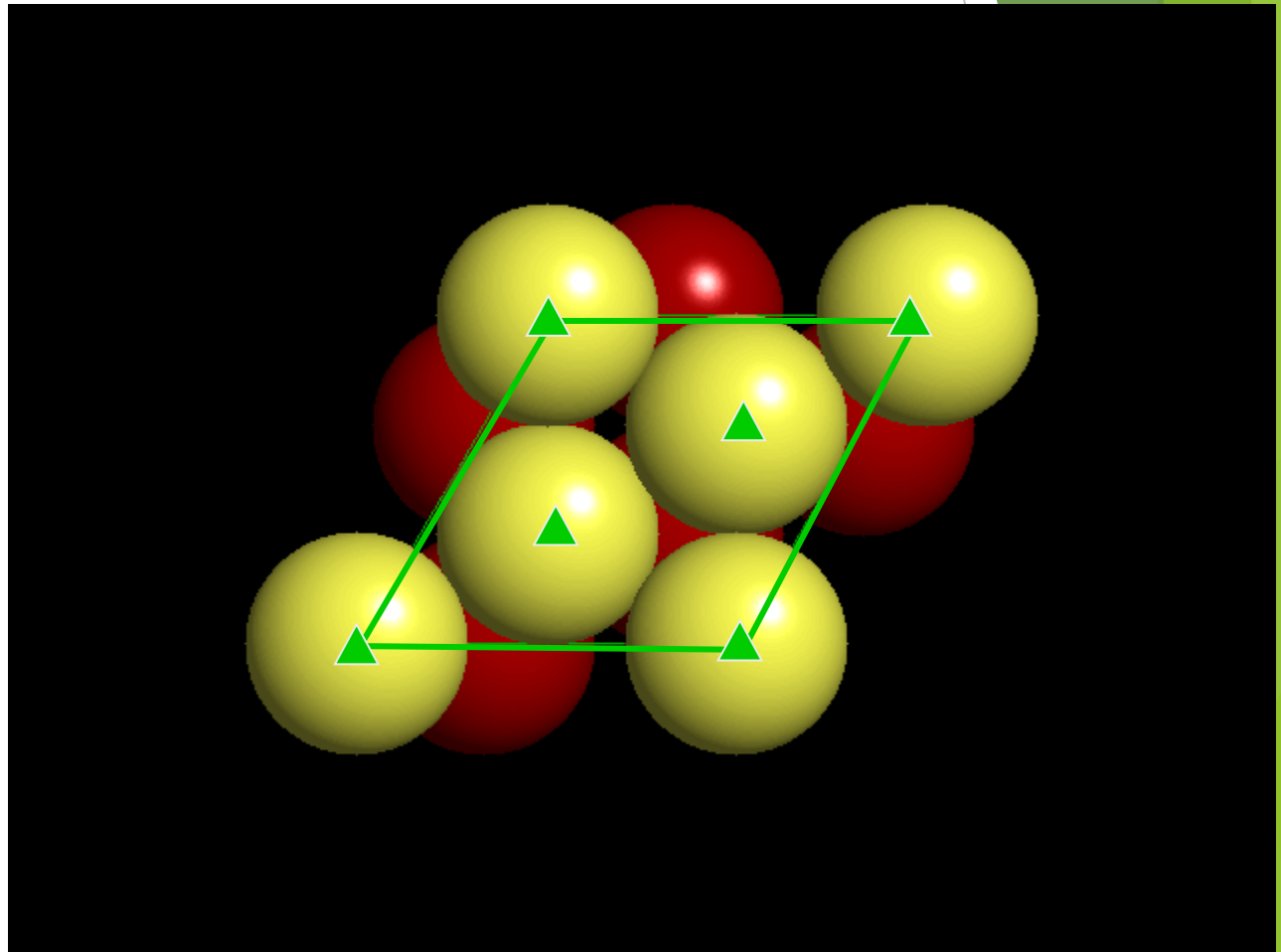
Vista do topo mostra  
cela unitária  
hexagonal

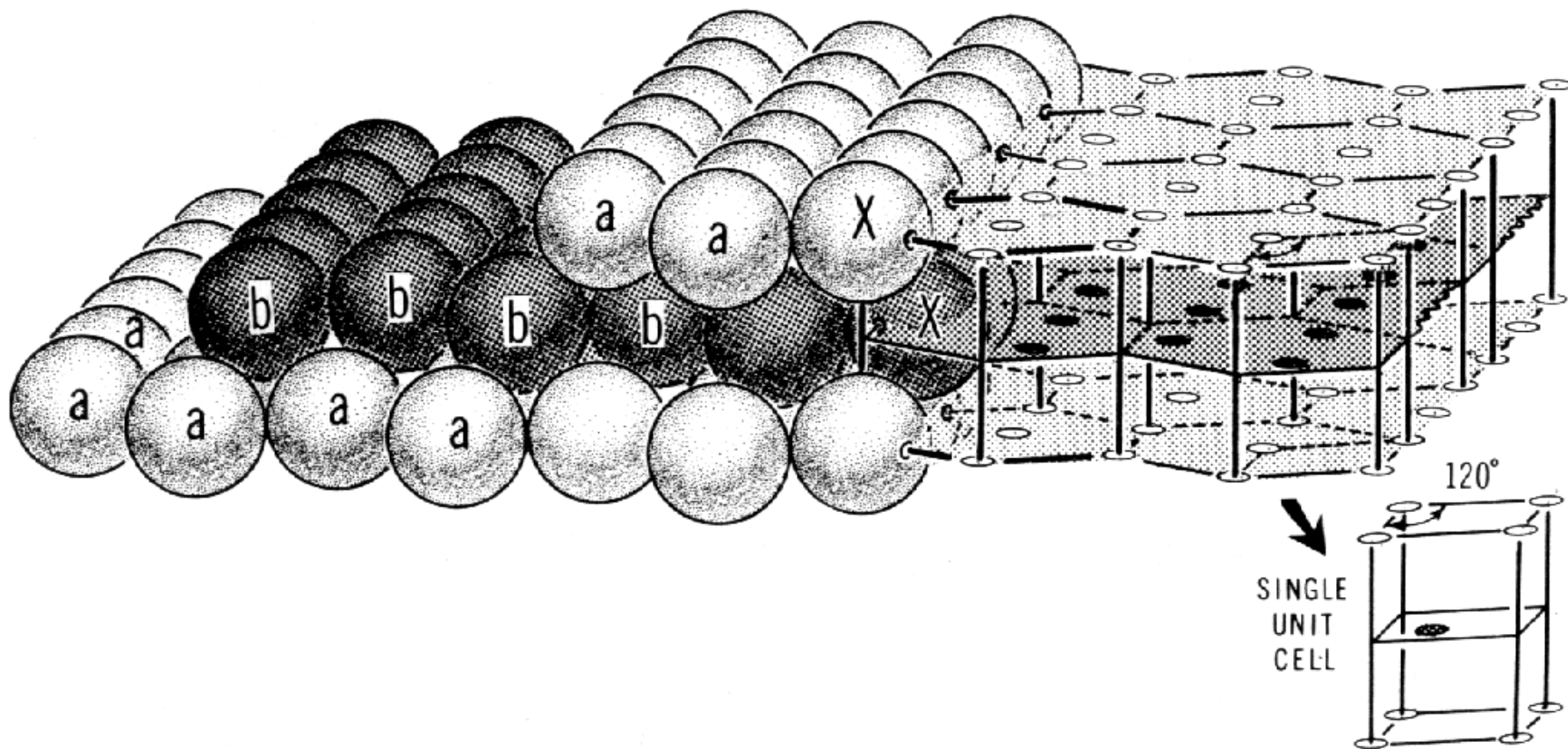


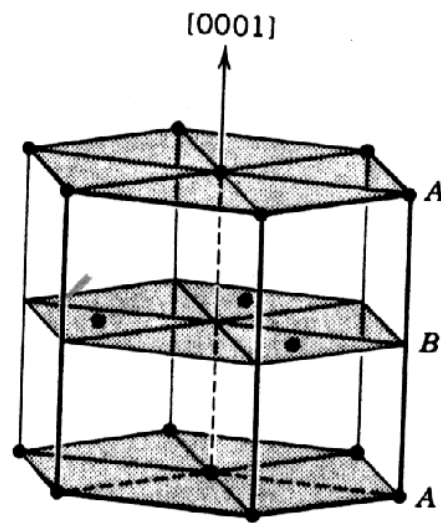
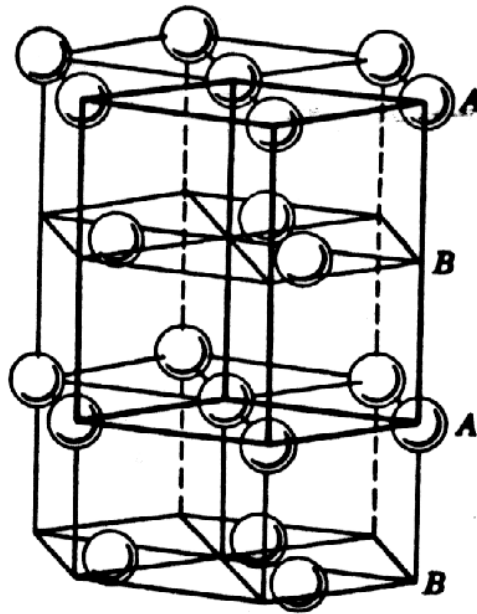
# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

Vista do topo mostra  
cela unitária  
hexagonal



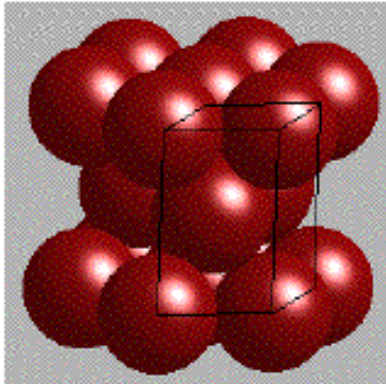




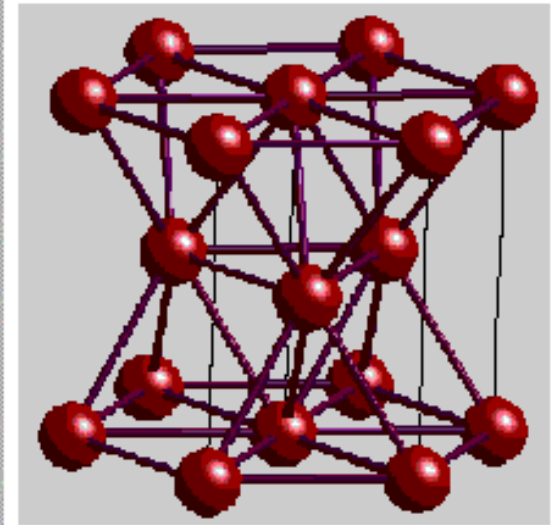
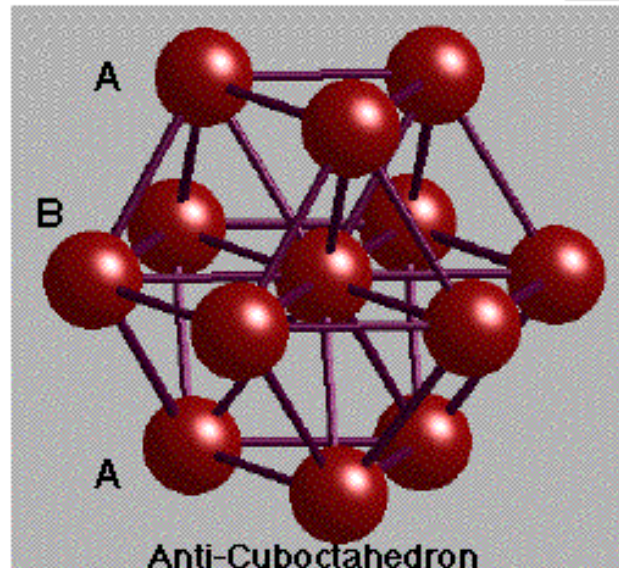
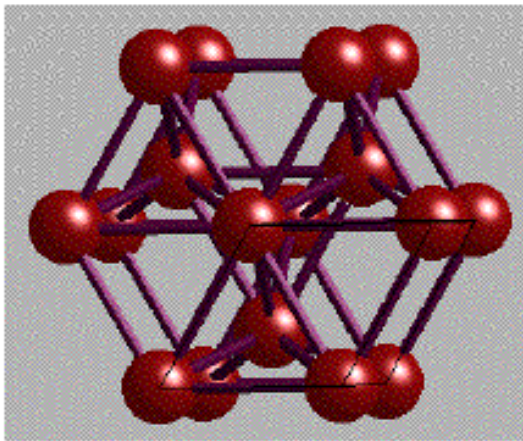
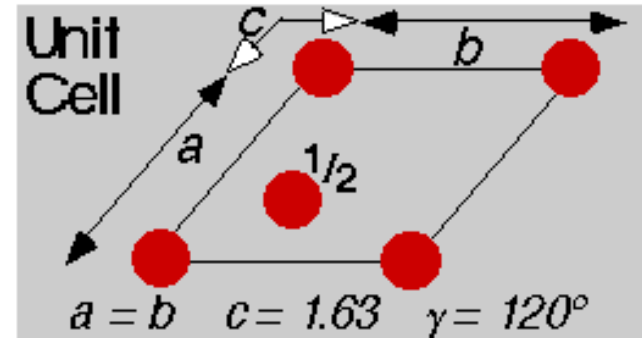
Hexagonal close-packed (HCP)

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

### HCP - Empacotamento Hexagonal Compacto



## HEXAGONAL CLOSE-PACKING



# HCP - hexagonal closest packing (empacotamento hexagonal compacto)

= arranjo hexagonal primitivo -  
Empilhamento ABABAB...

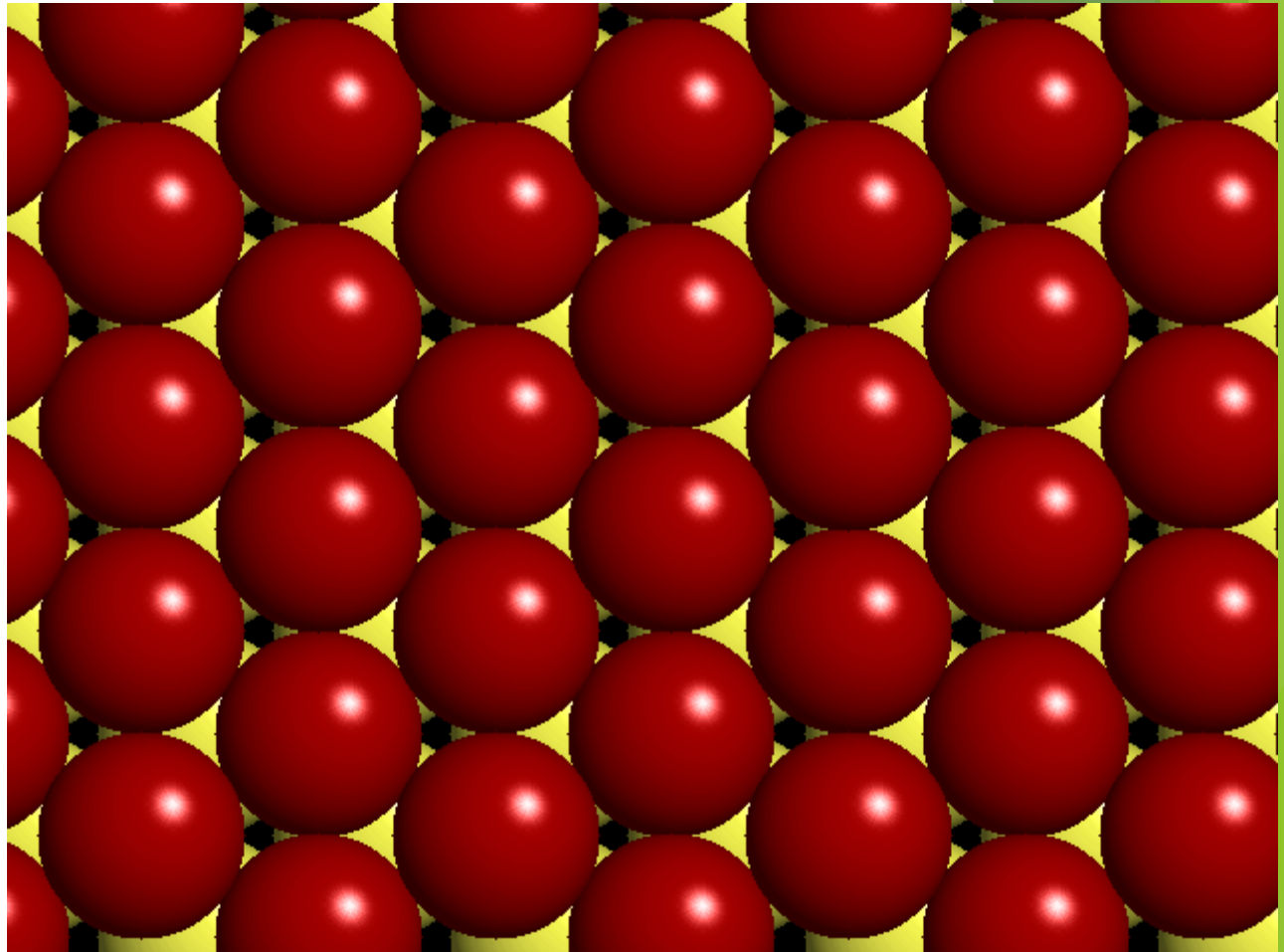
Cela unitária  $P6_3/m2/m2/c$

$Z = 2$

Coordenação 12

# Empacotamento Compacto

Alternativamente podemos colocar a terceira camada nos **sítios tipo C** (acima dos vazios em ambas as camadas A e B)

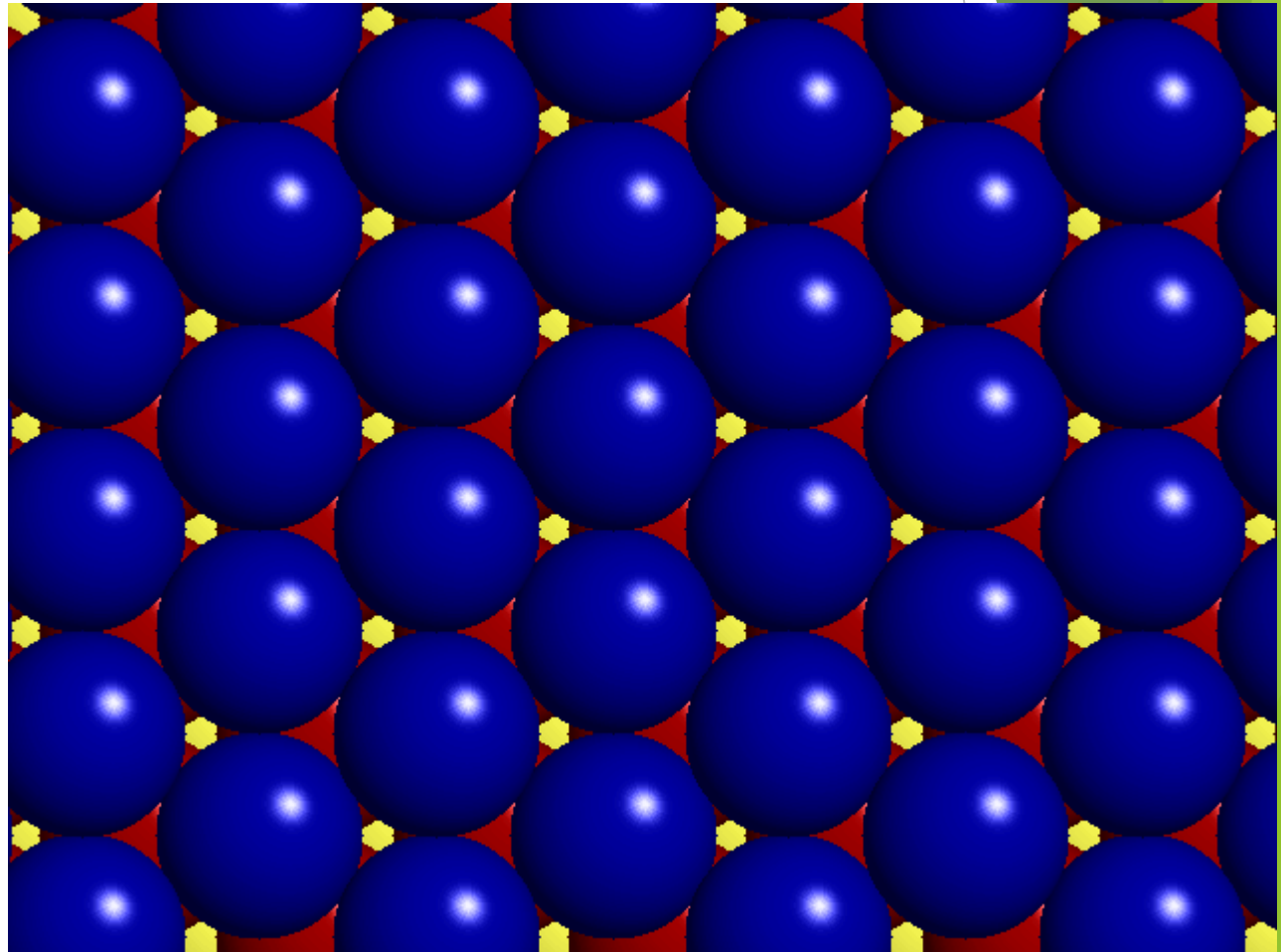


# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

Se ocupa **sítios tipo C** o ordenamento de camadas é A-B-C-A-B-C e cria uma **estrutura cúbica compacta (CCP)**

Átomos da camada azul estão agora em uma posição única acima dos vazios entre átomos nas camadas A e B

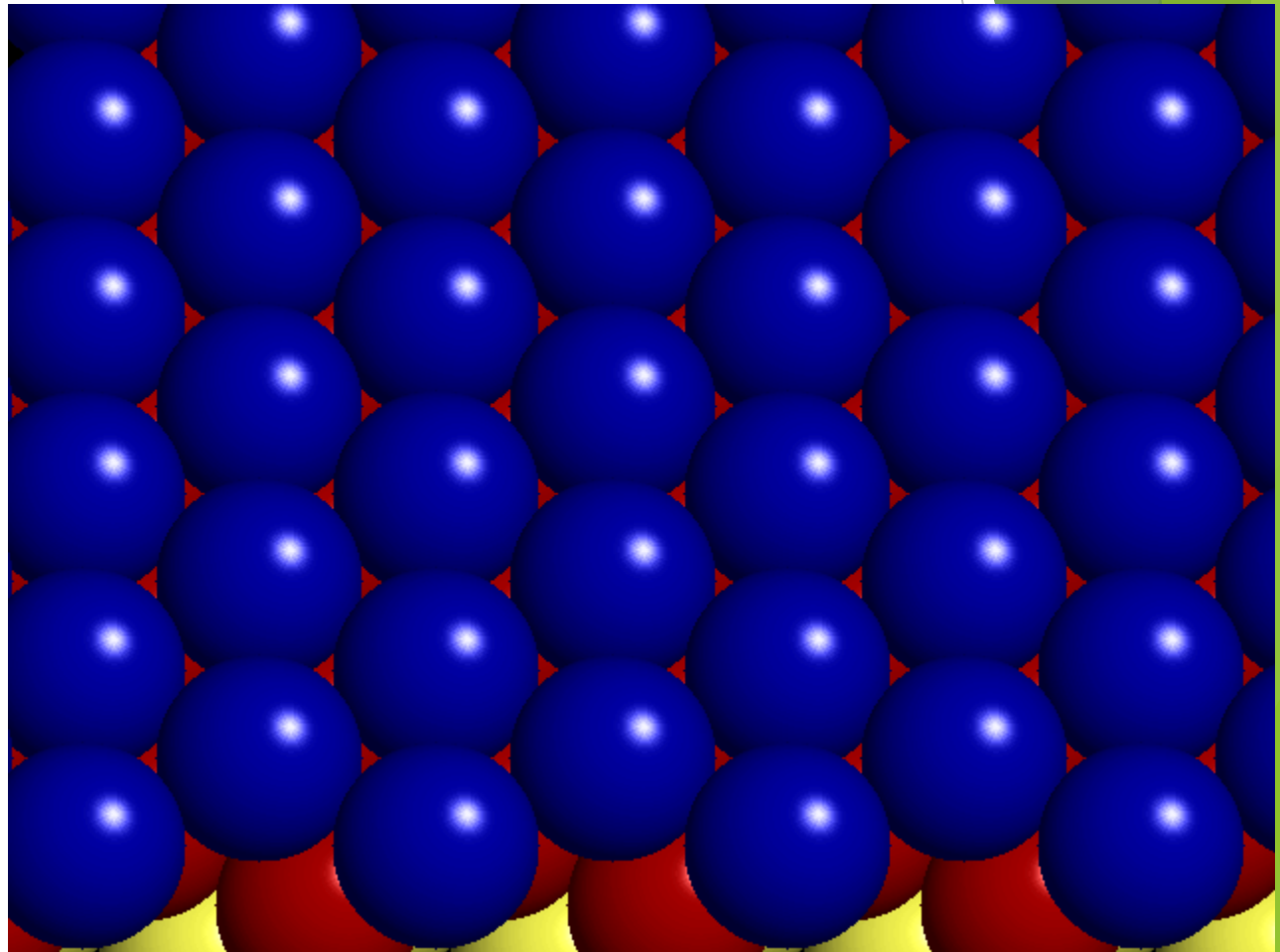


# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

Se ocupa **sítios tipo C** o ordenamento de camadas é A-B-C-A-B-C e cria uma **estrutura cúbica compacta (CCP)**

Átomos da camada azul estão agora em uma posição única acima dos vazios entre átomos nas camadas A e B

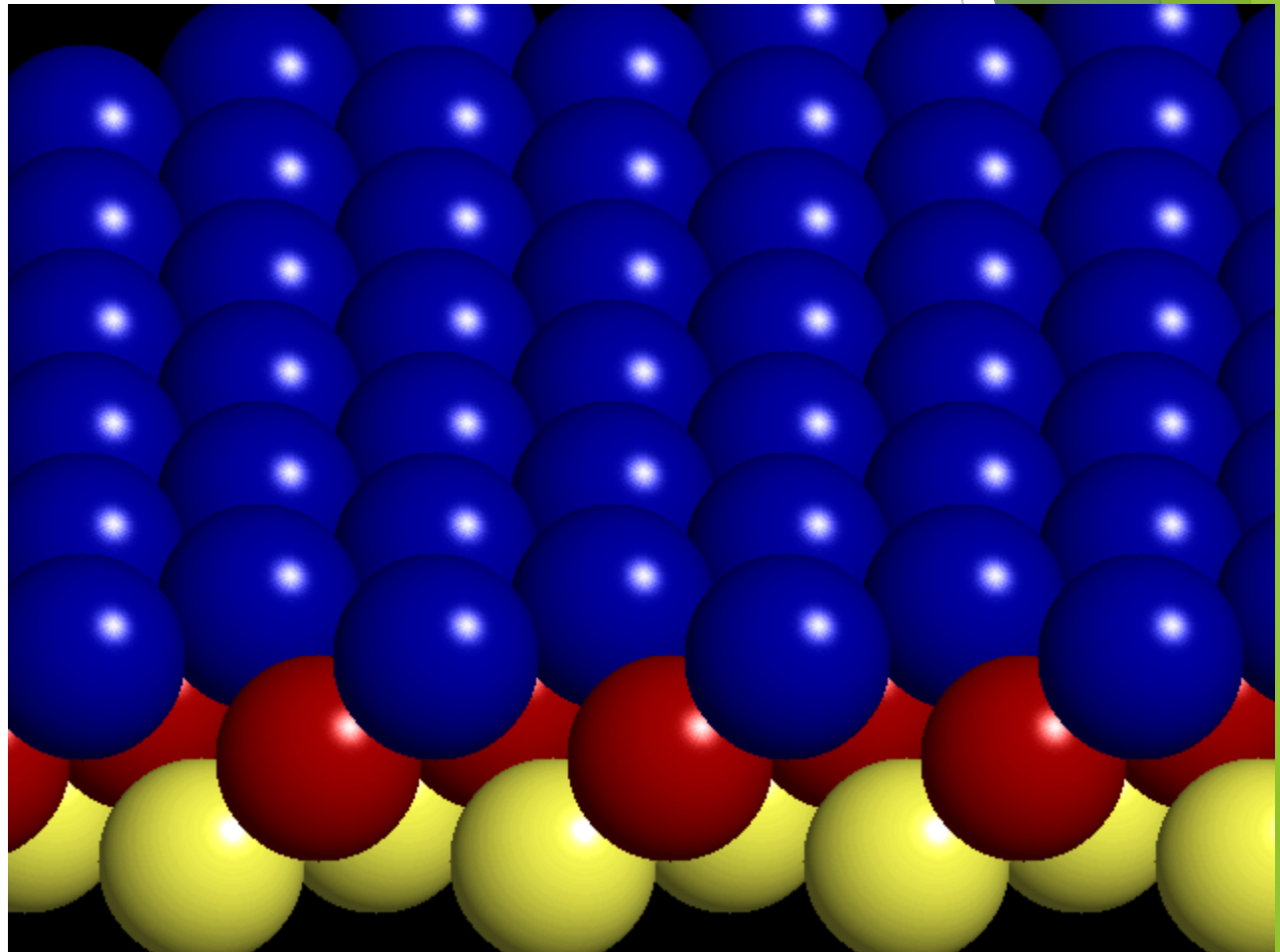


# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

Se ocupa **sítios tipo C** o ordenamento de camadas é A-B-C-A-B-C e cria uma **estrutura cúbica compacta (CCP)**

Átomos da camada azul estão agora em uma posição única acima dos vazios entre átomos nas camadas A e B

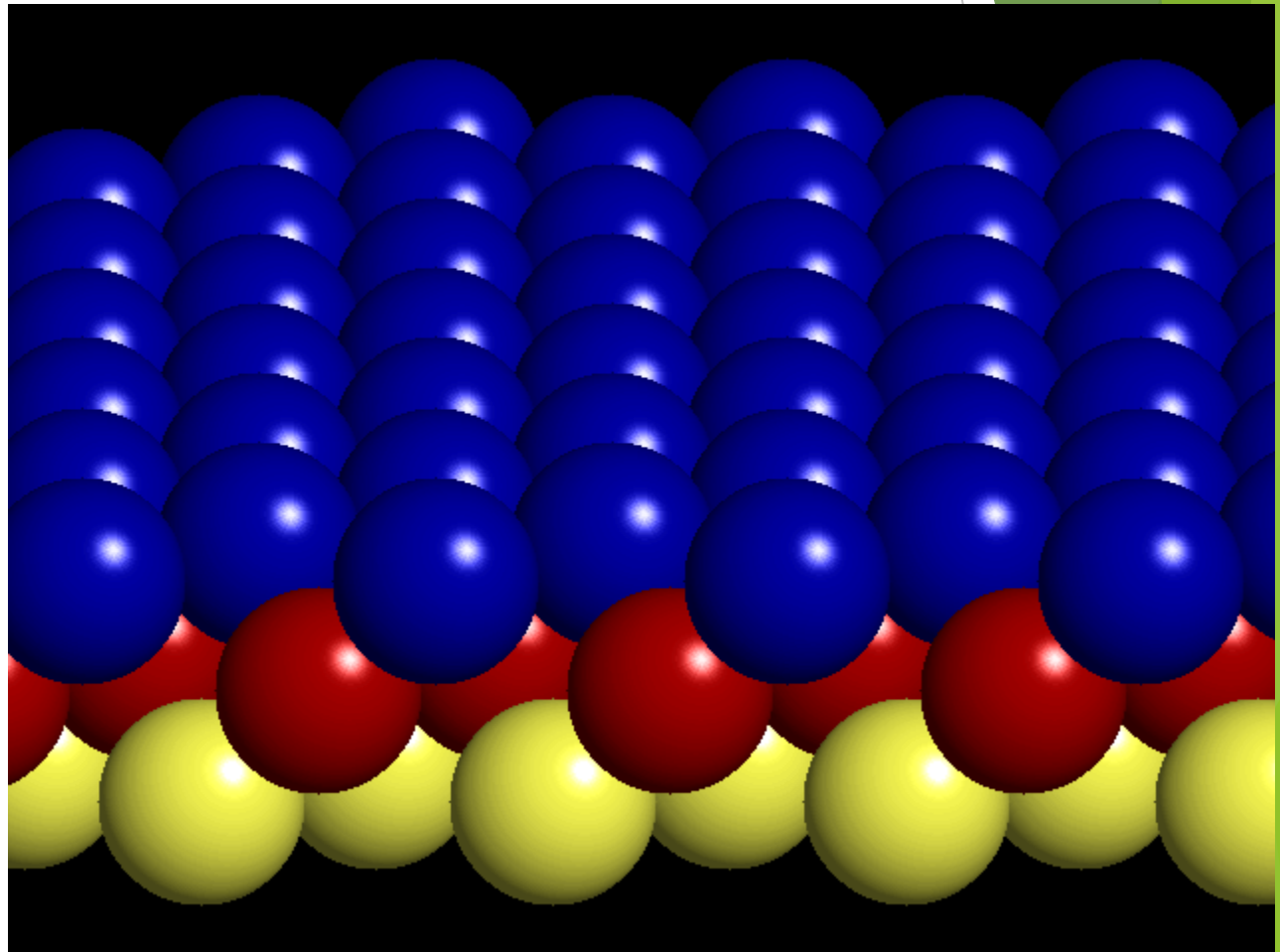


# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

Se ocupa **sítios tipo C** o ordenamento de camadas é A-B-C-A-B-C e cria uma **estrutura cúbica compacta (CCP)**

Átomos da camada azul estão agora em uma posição única acima dos vazios entre átomos nas camadas A e B

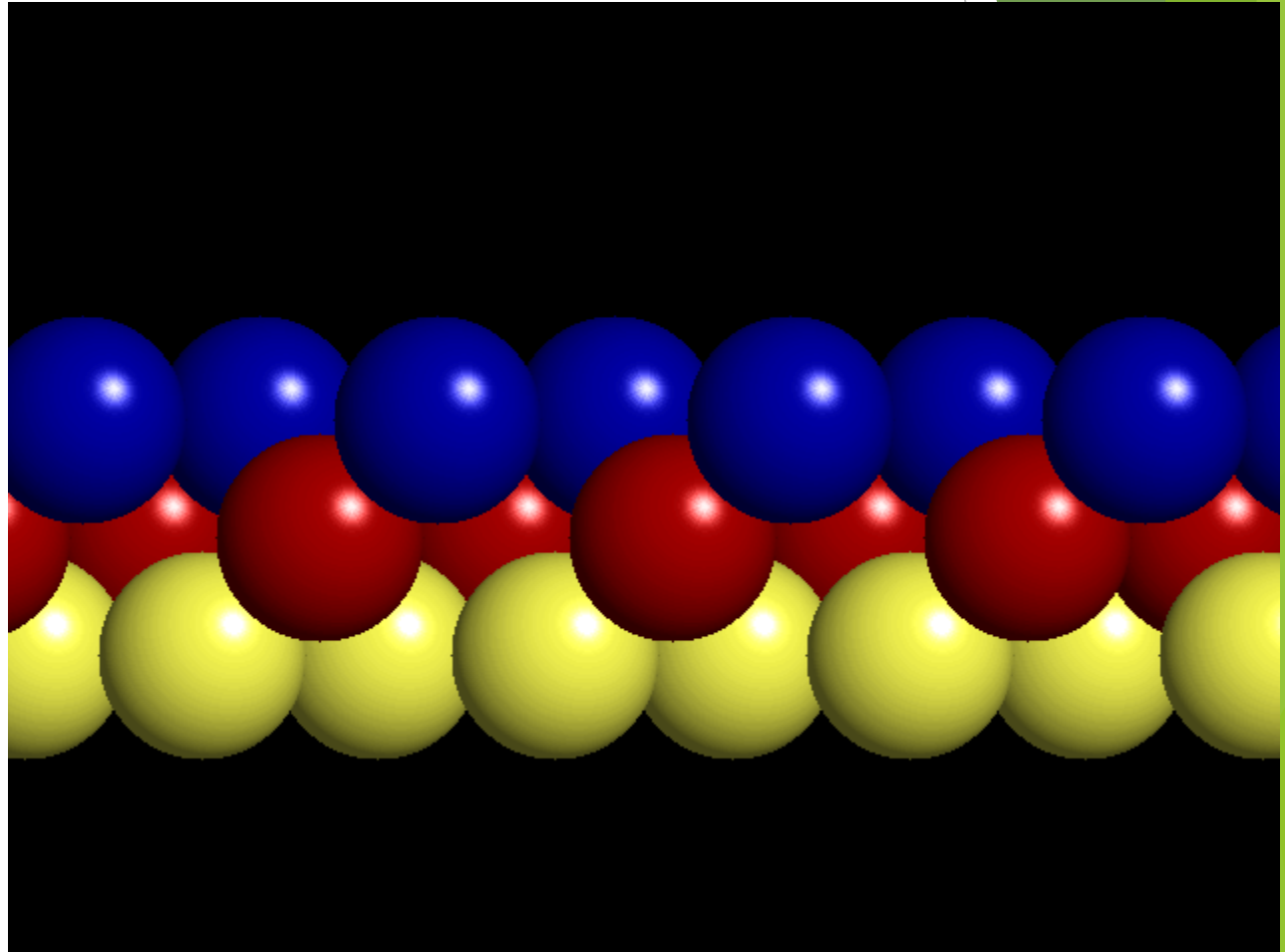


# Empacotamento Compacto

Terceira camada:

Se ocupa **sítios tipo C** o ordenamento de camadas é A-B-C-A-B-C e cria uma **estrutura cúbica compacta (CCP)**

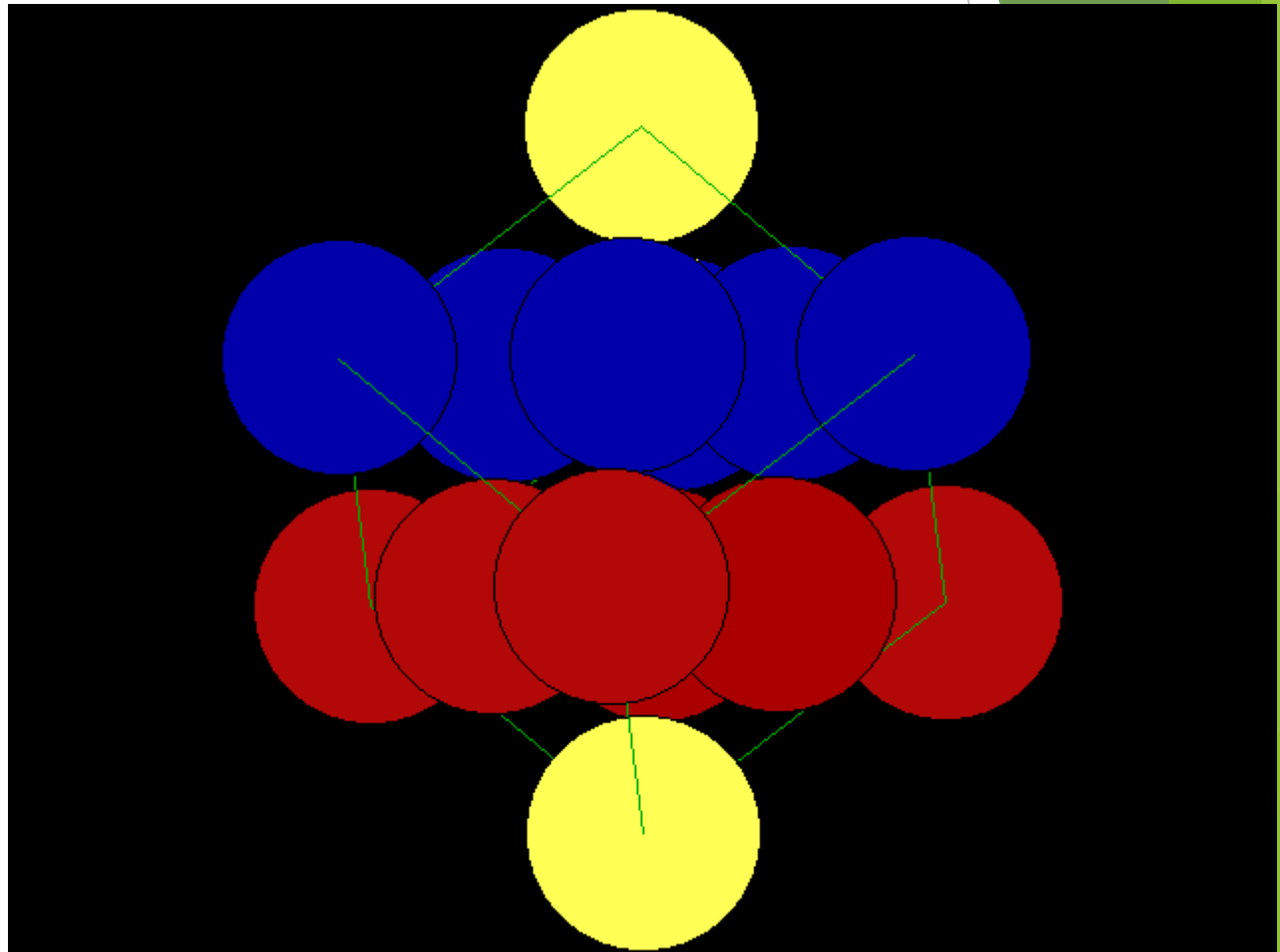
Átomos da camada azul estão agora em uma posição única acima dos vazios entre átomos nas camadas A e B



# Empacotamento Compacto

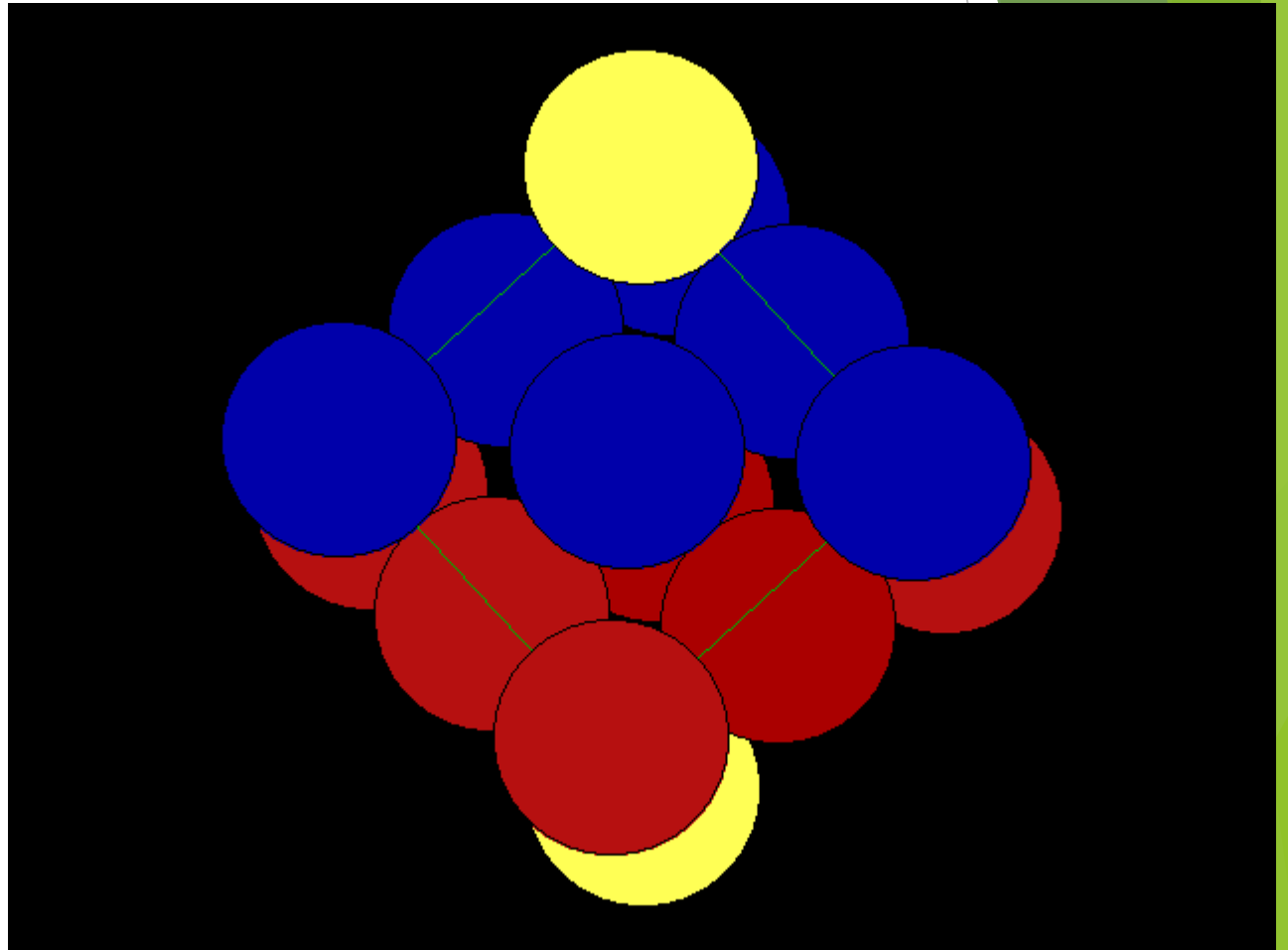
Vista lateral mostra a cela unitária **cúbica de face centrada** resultante.

Os átomos estão levemente encolhidos para ajudar a visualização da estrutura



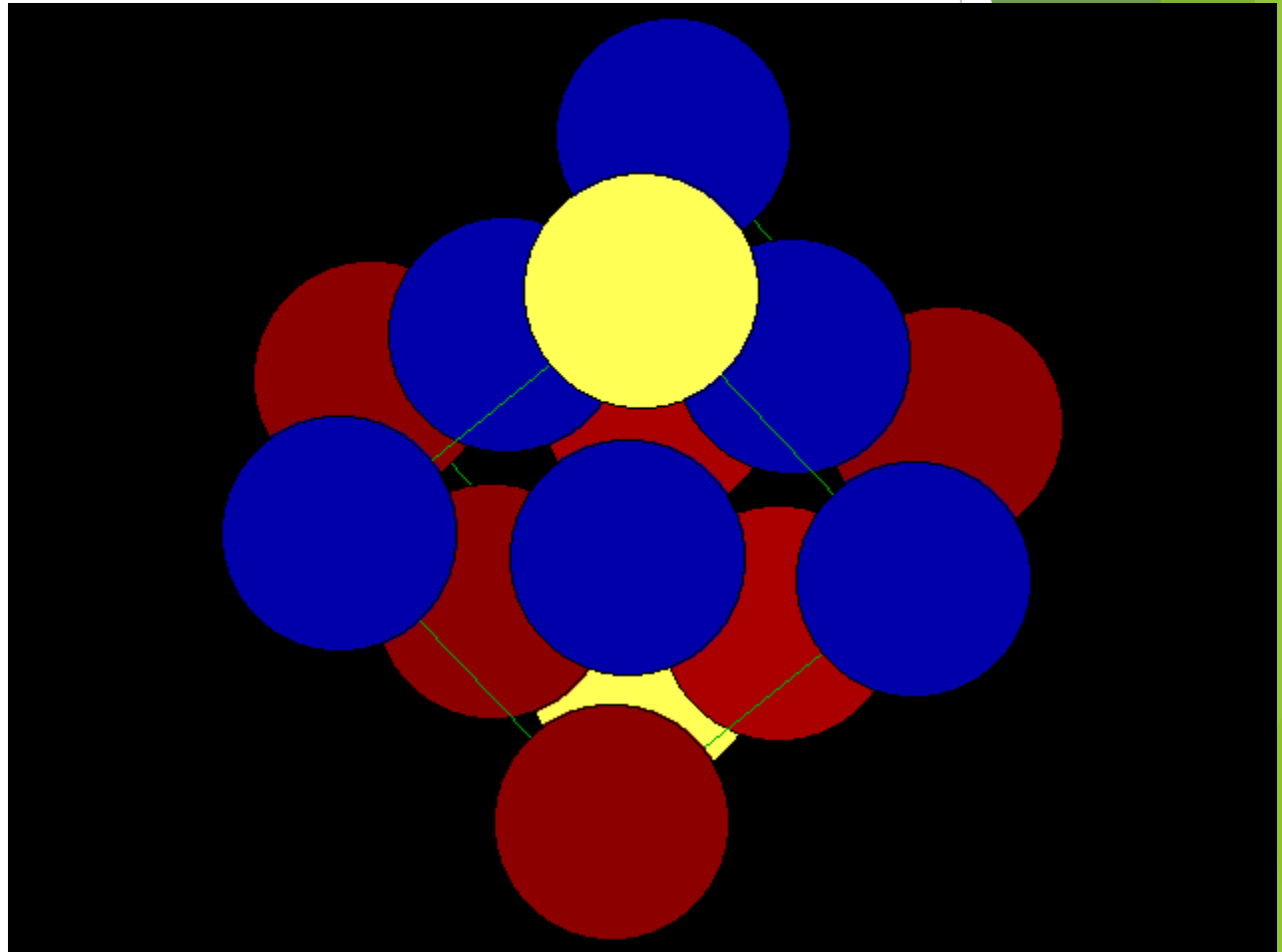
# Empacotamento Compacto

Rotacionando para  
uma vista de topo



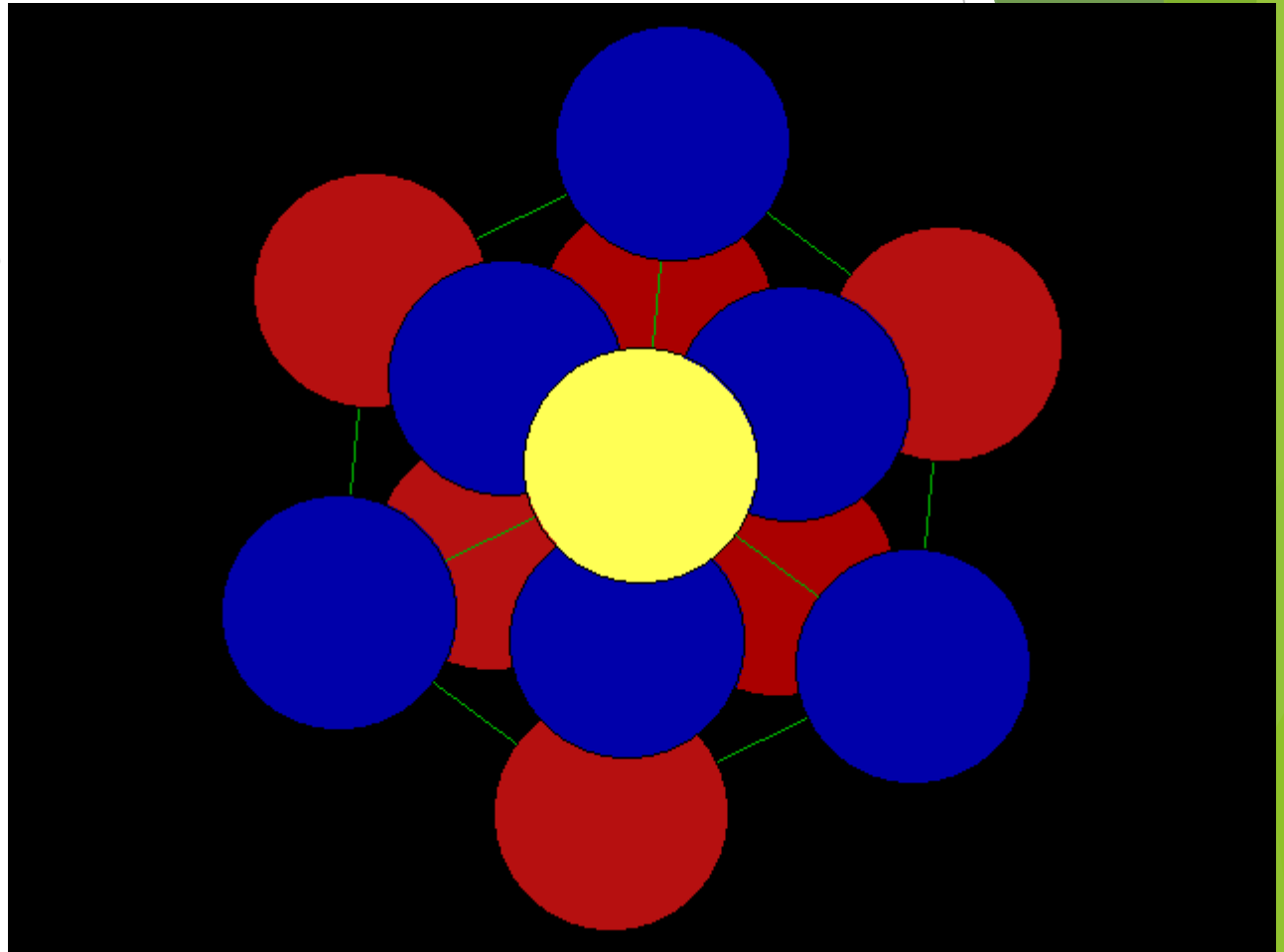
# Empacotamento Compacto

Rotacionando para  
uma vista de topo

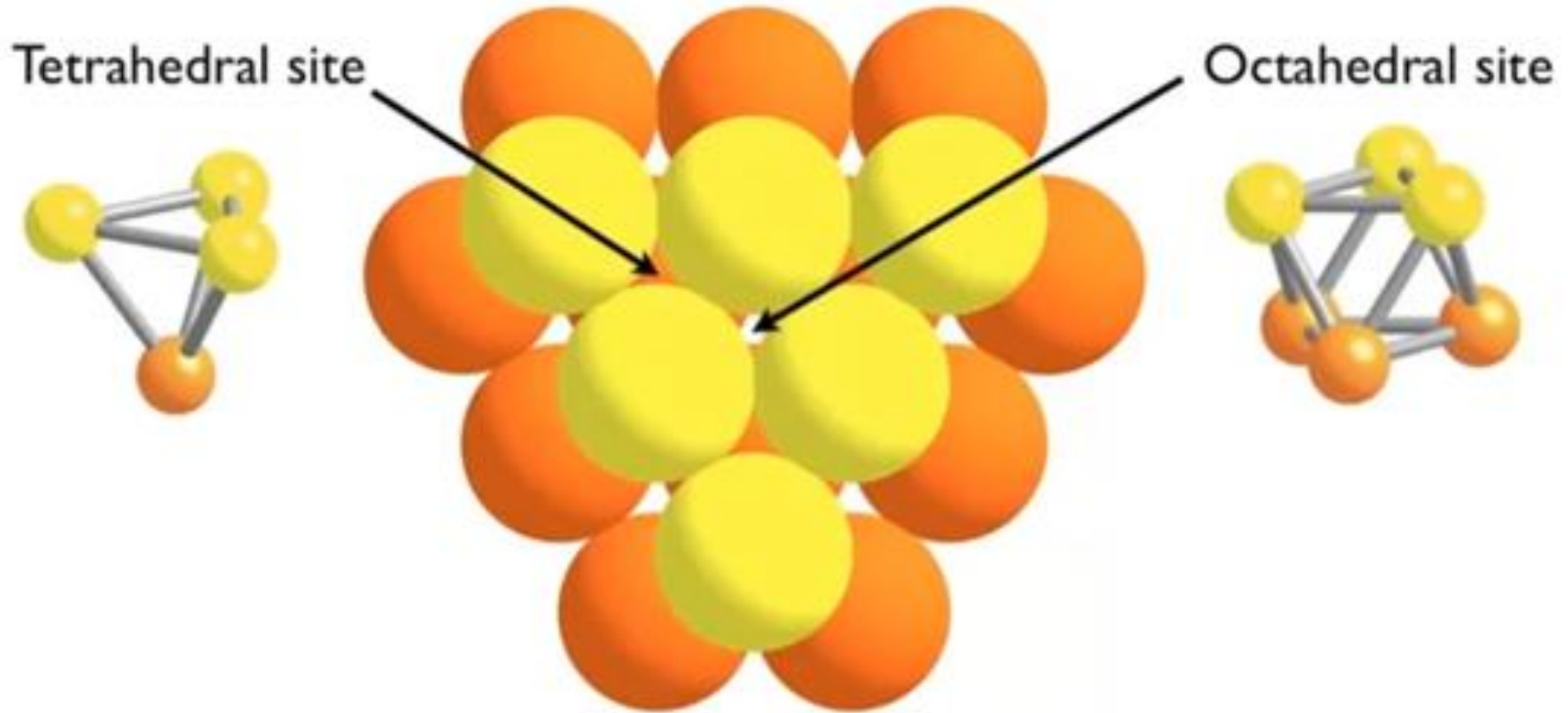


# Empacotamento Compacto

Estamos olhando para uma camada de topo amarela A com uma camada azul C abaixo, depois uma camada vermelha B e uma nova camada amarela A no fundo



# Adiantando... sítios



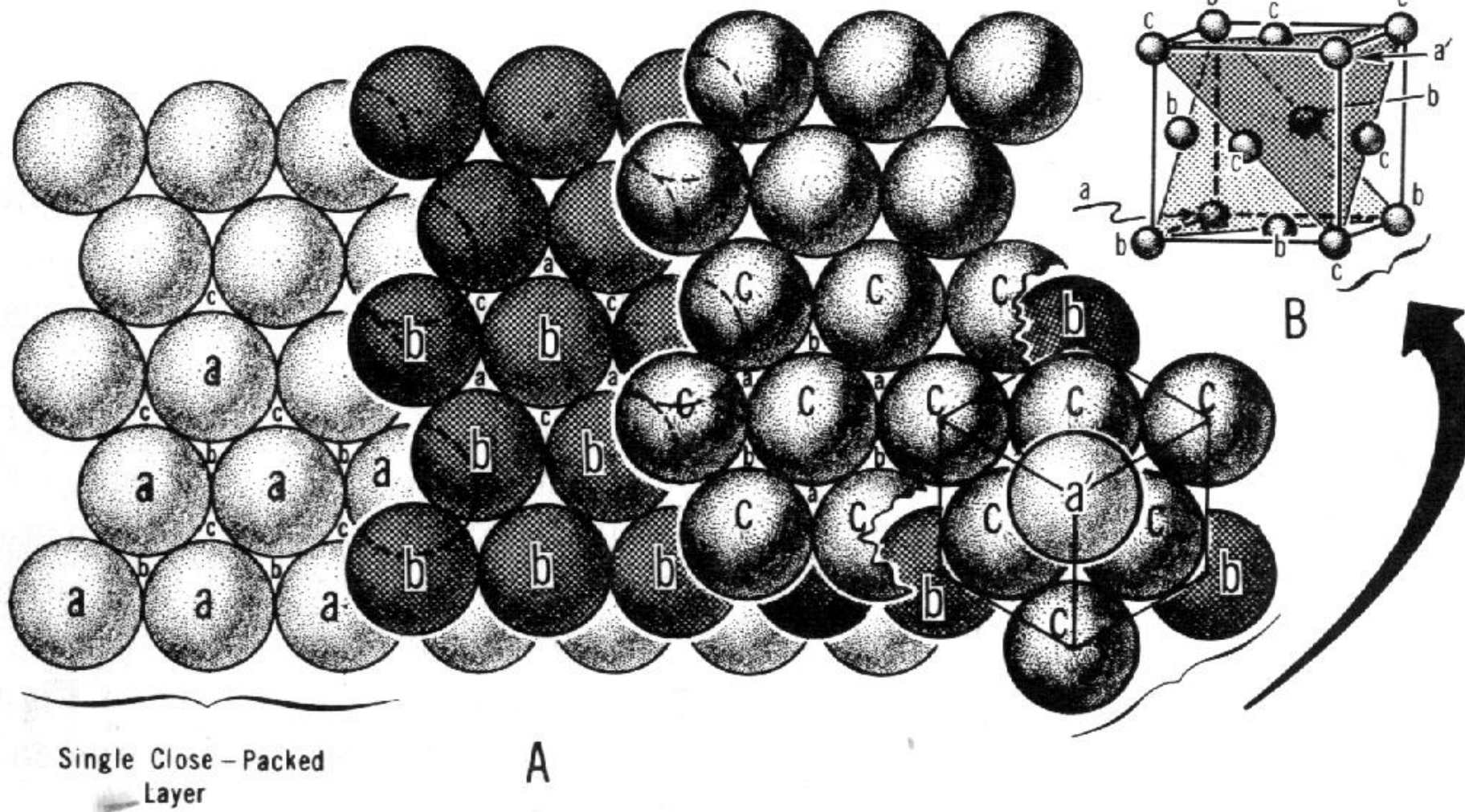
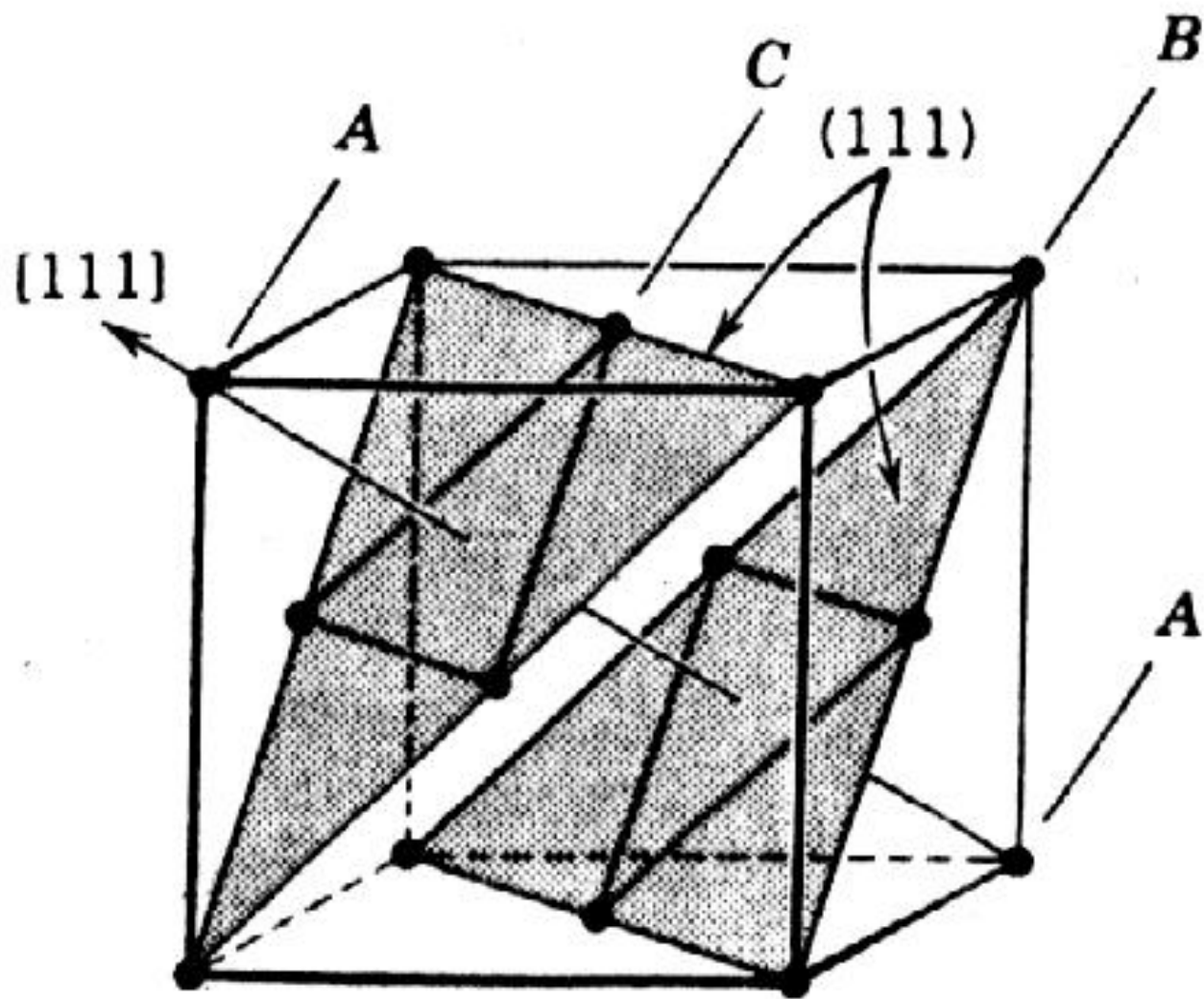


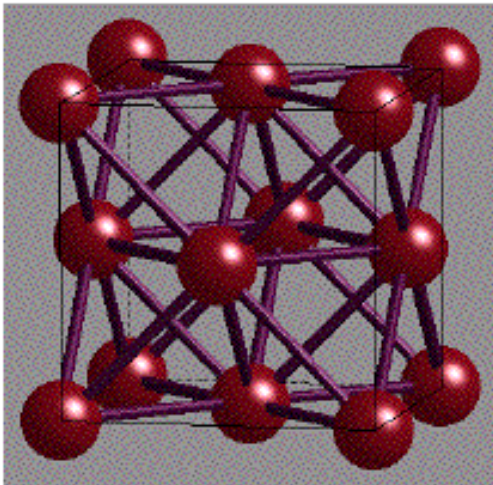
FIGURE 9-2



Cubic close-packed (CCP)

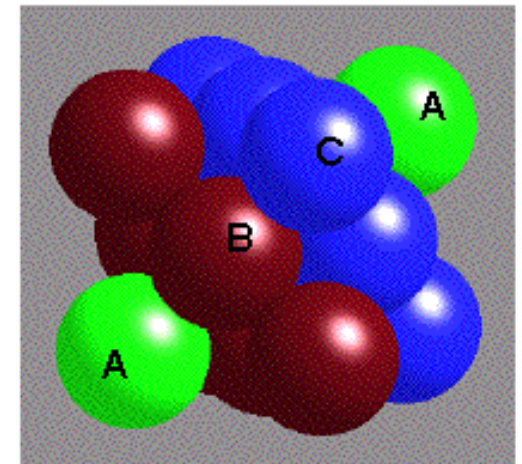
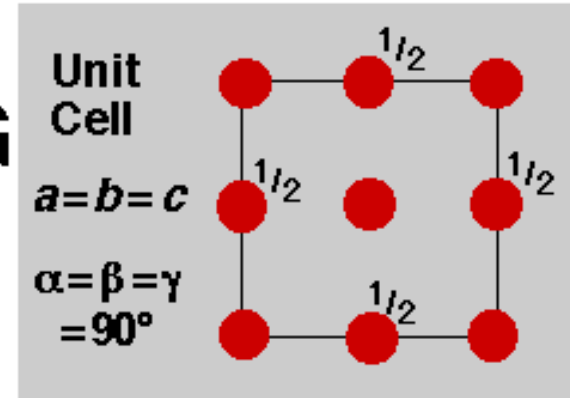
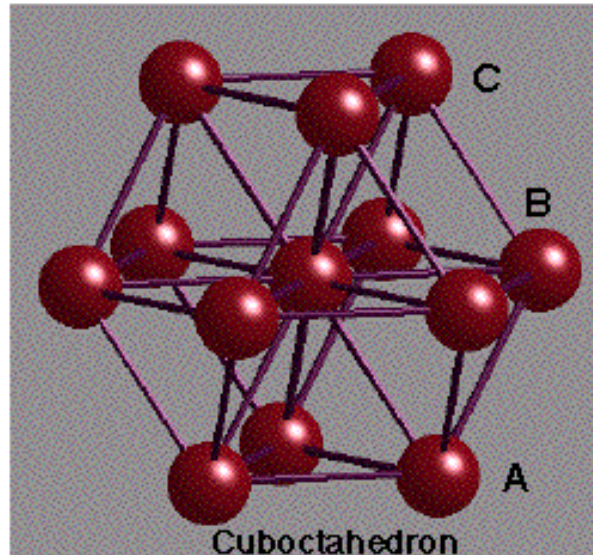
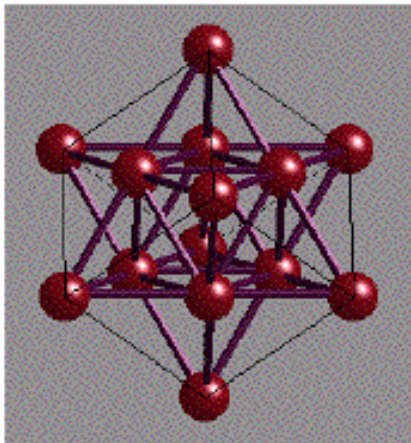
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

CCP - Empacotamento Cúbico Compacto (ou CFC - Cúbico de Face Centrada)



# CUBIC CLOSE-PACKING

Face-Centred Cubic  
(FCC) Unit Cell



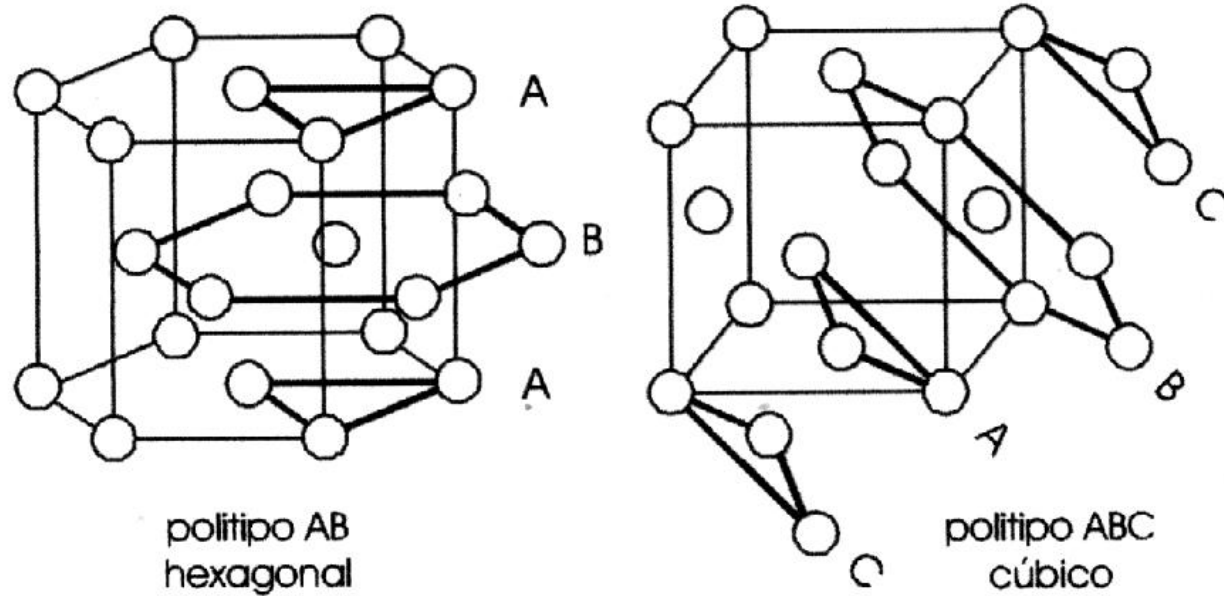
# CCP - cubic closest packing (empacotamento cúbico compacto)

=CFC (arranjo cúbico de face centrada) - Empilhamento  
ABCABC...

Cela Unitária F4/m-32/m

Z = 4

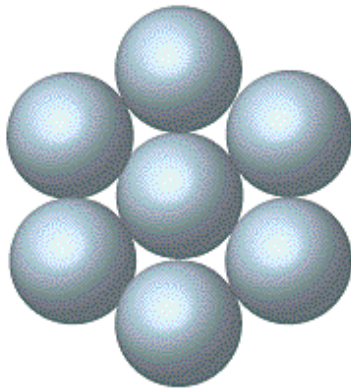
Coordenação 12



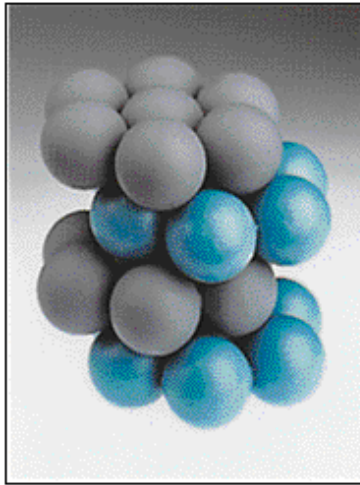
**Fig. 4.32: Empacotamento compacto de esferas iguais. Políticos AB - hexagonal; político ABC - cúbico.**

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

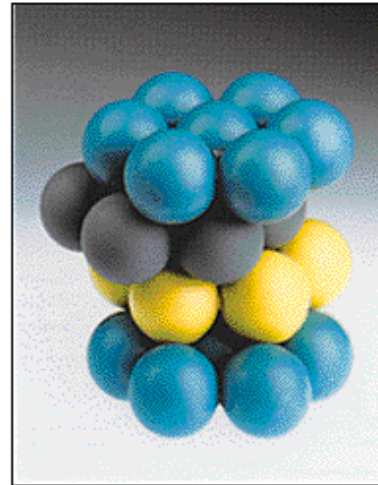
Empacotamentos Hexagonal Compacto (HCP - *Hexagonal Compact Packing*) - ABABAB... e Cúbico Compacto (CCP - *Cubic Compact Packing*) - ABCABCA...



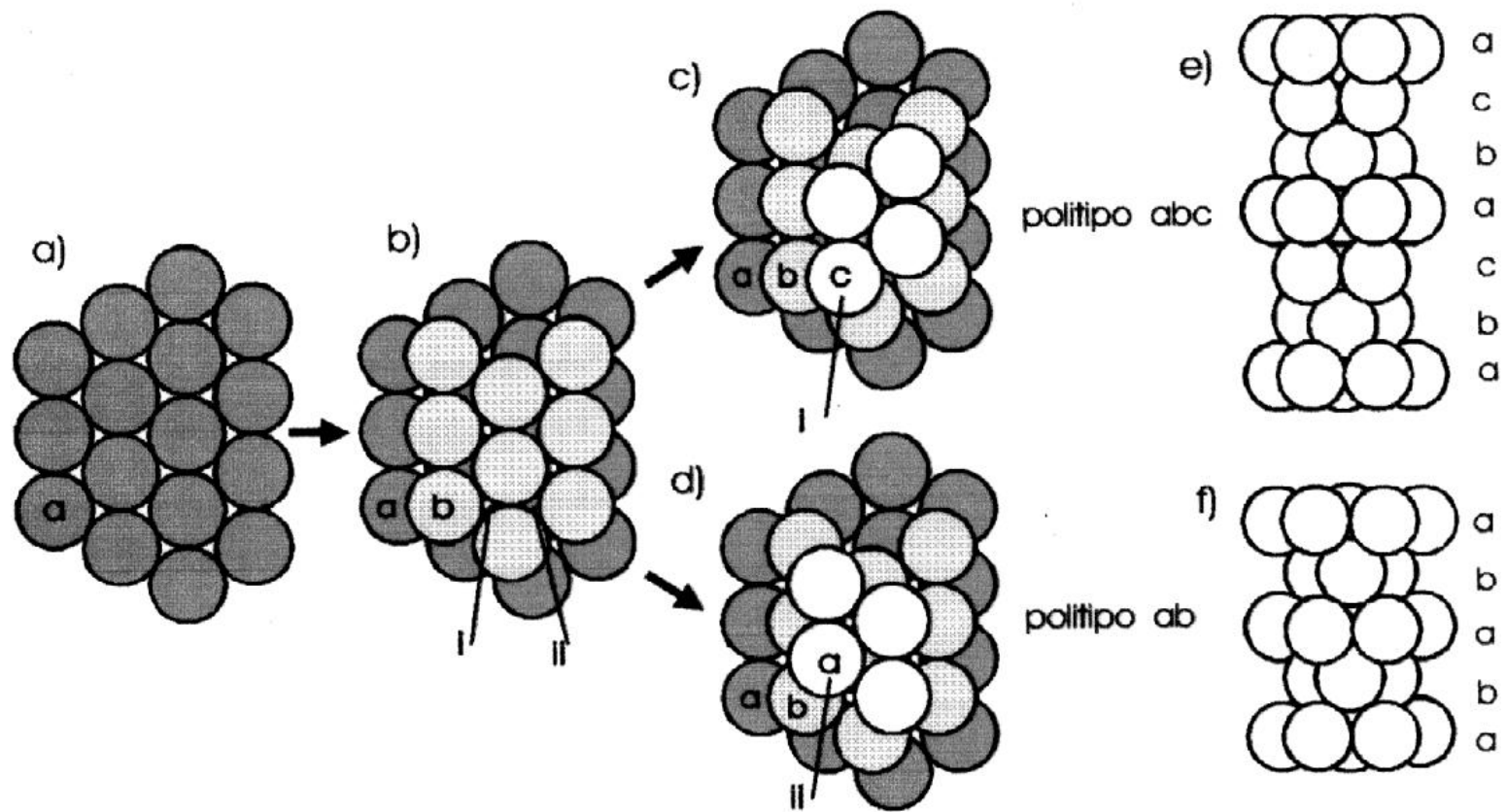
Esferas em empacotamento compacto no plano



Empacotamento HCP  
(sequência ABABA...)



Empacotamento CCP  
(sequência ABCABCA...)



**Fig. 4.31: Seqüência de empilhamento – empacotamento compacto de esferas iguais.**

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

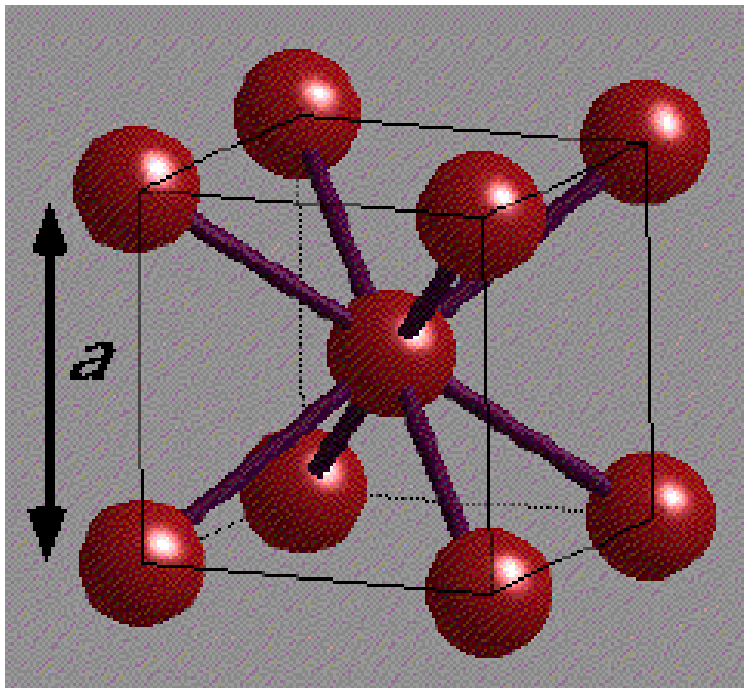
Um terceiro tipo de empacotamento, este não-compacto, pode ocorrer ainda no retículo cristalino de substâncias metálicas: o Empacotamento Cúbico de Corpo Centrado - CCC, ou BCC - *Body Centered Cubic Packing*.

Neste padrão de empacotamento, NC (Número de Coordenação) = 8: cada átomo é cercado por oito átomos semelhantes, dispostos como se estivessem nos vértices de um cubo.

A cela unitária deste empacotamento será uma cela cúbica de corpo centrado (I). Vários elementos metálicos tem preferência por este padrão de empacotamento, entre eles Fe, Cr, Mo e Nb.

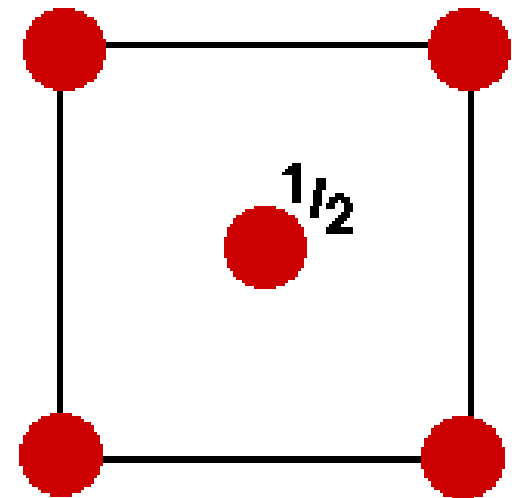
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

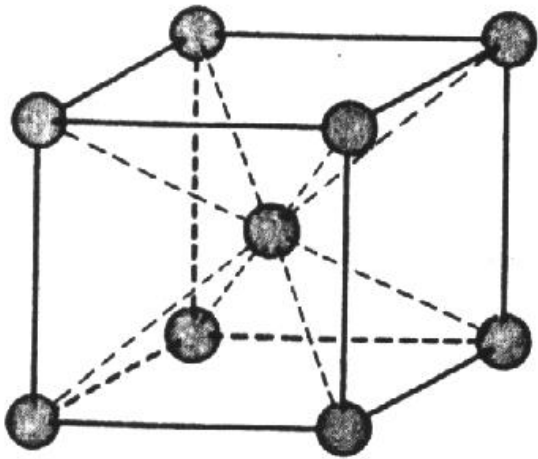
Empacotamento Cúbico de Corpo Centrado (CCC = BCC): cela unitária em perspectiva e projetada em (001)<sub>0</sub>



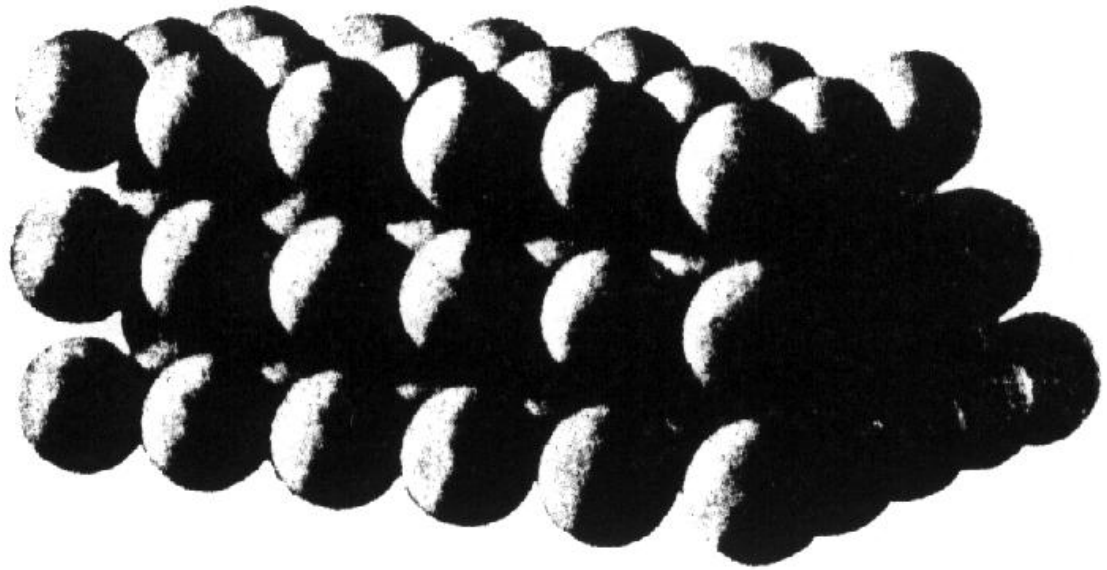
## Body-Centred Cubic

**BCC**

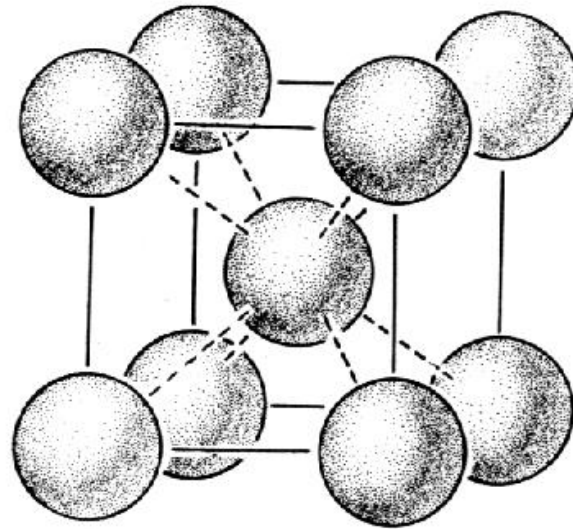




(a)



(b)



**FIGURE 9-4**

Body-centered cubic packing of spheres illustrated by a single unit cell. The spheres have been reduced in size for illustrative purposes. If drawn to true scale, the central sphere would be tangent to each corner sphere.

# SCP - simple cubic packing (empacotamento cúbico simples)

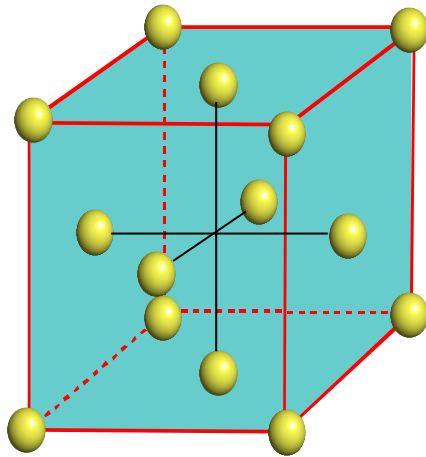
=BCC (body-centered cubic structure) = CCC (cúbico de  
corpo centrado)

Cela unitária  $I4/m-32/m$

$Z = 2$

Coordenação 8

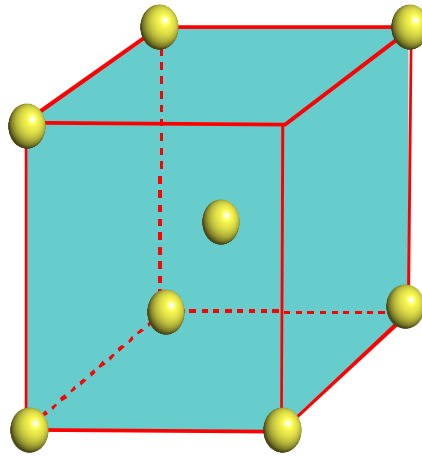
# Cristais metálicos



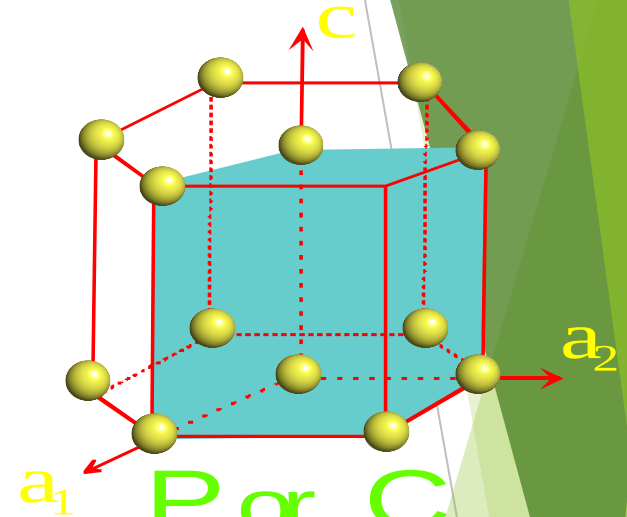
F

Isométrico

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ \quad a_1 = a_2 = a_3$$



I



P or C  
Hexagonal

$$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$$
$$a_1 = a_2 \neq c$$

# Exemplos Mineralógicos

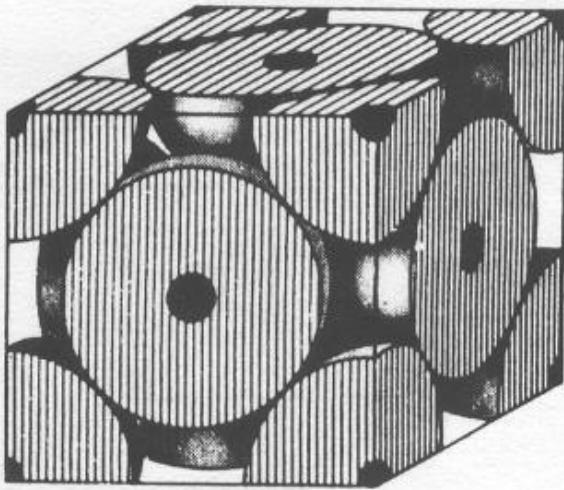
CCP: Au, Cu, Pt, Ni, Rh, Pd, Ir, Pb, Al

HCP: Zn, Cd, Os, Ru, Re

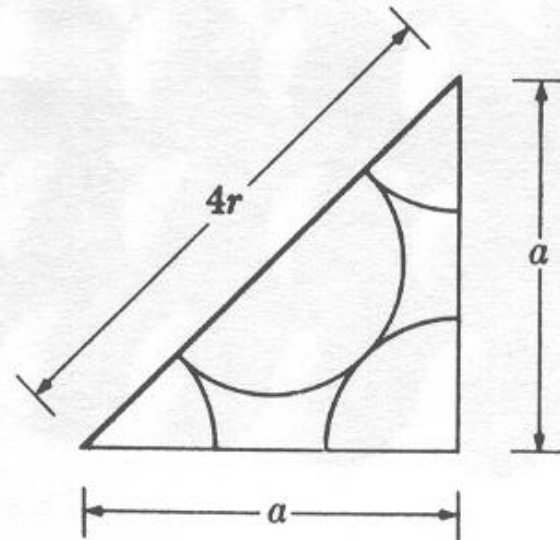
SCP: Cr

# Cristais metálicos

Se  $a = 4r/\sqrt{2}$ , demonstre que f.e. = 0,74 (74% do espaço está preenchido por átomos em CCP)



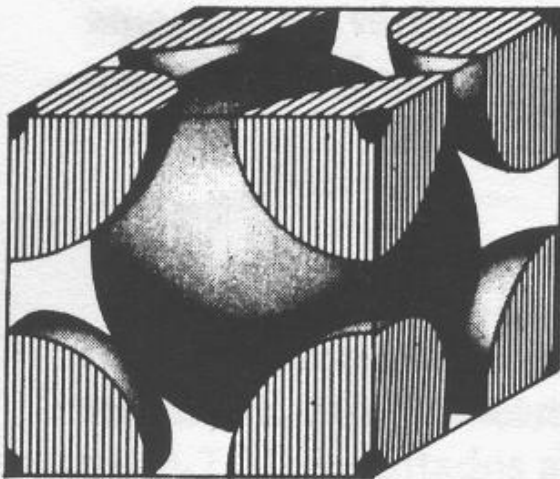
(a)



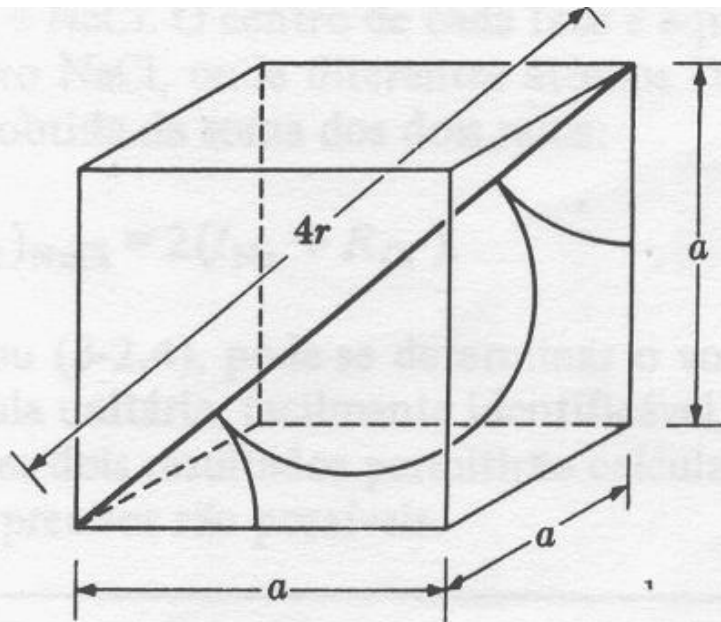
(b)

# Cristais metálicos

Como  $a = 4r/\sqrt{3}$ , demonstre que f.e. = vol. átomos/vol. cela = 0,68  
(68% do espaço está preenchido por átomos em CCC)

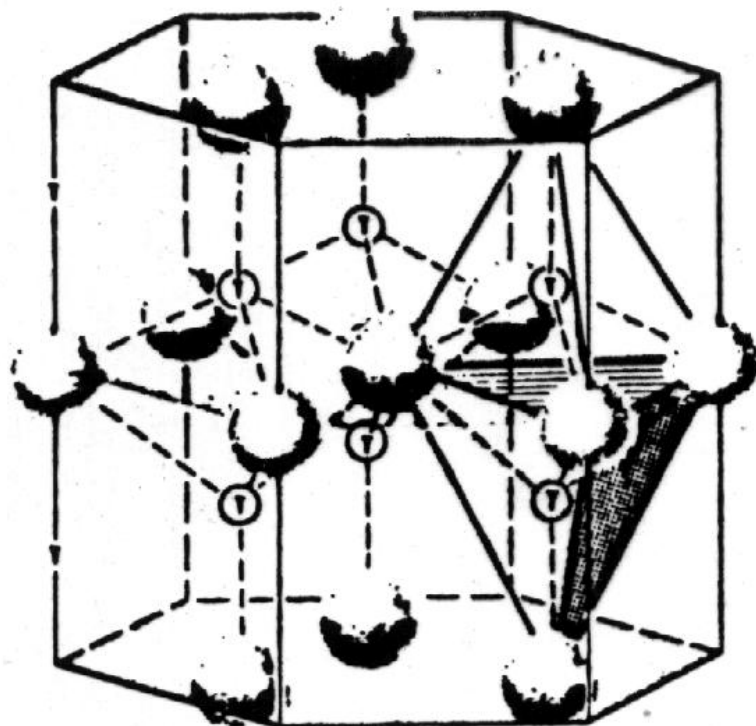


(a)

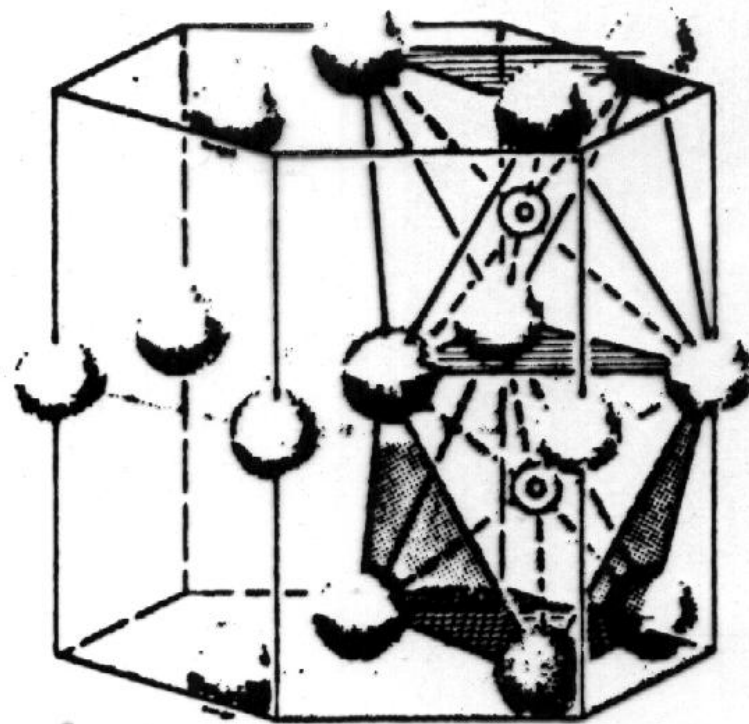


(b)

Fig. 3

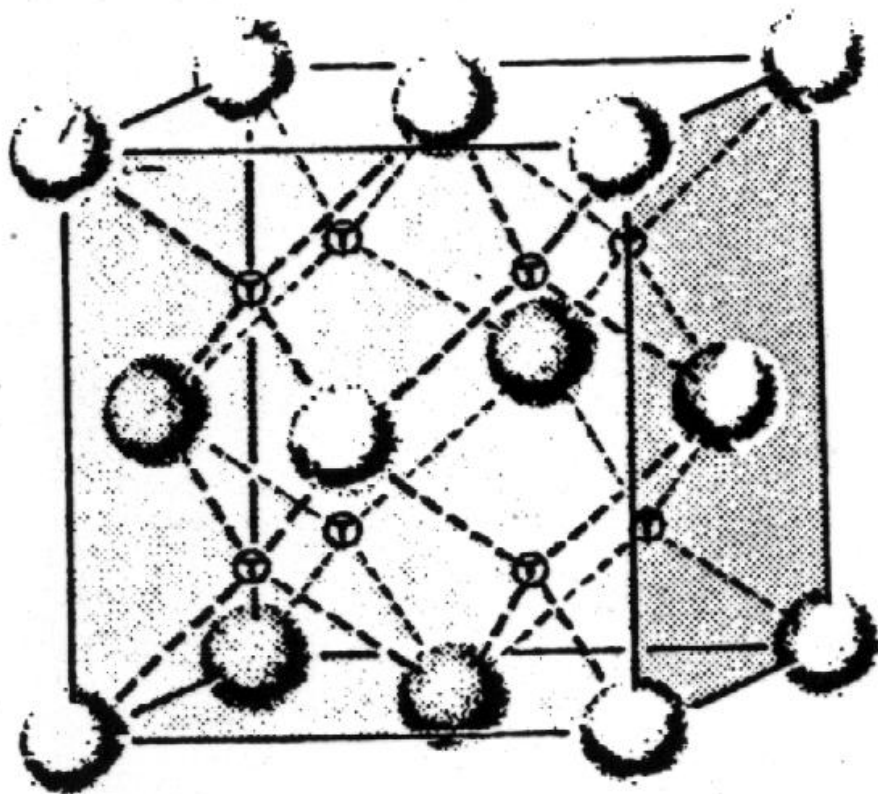


A

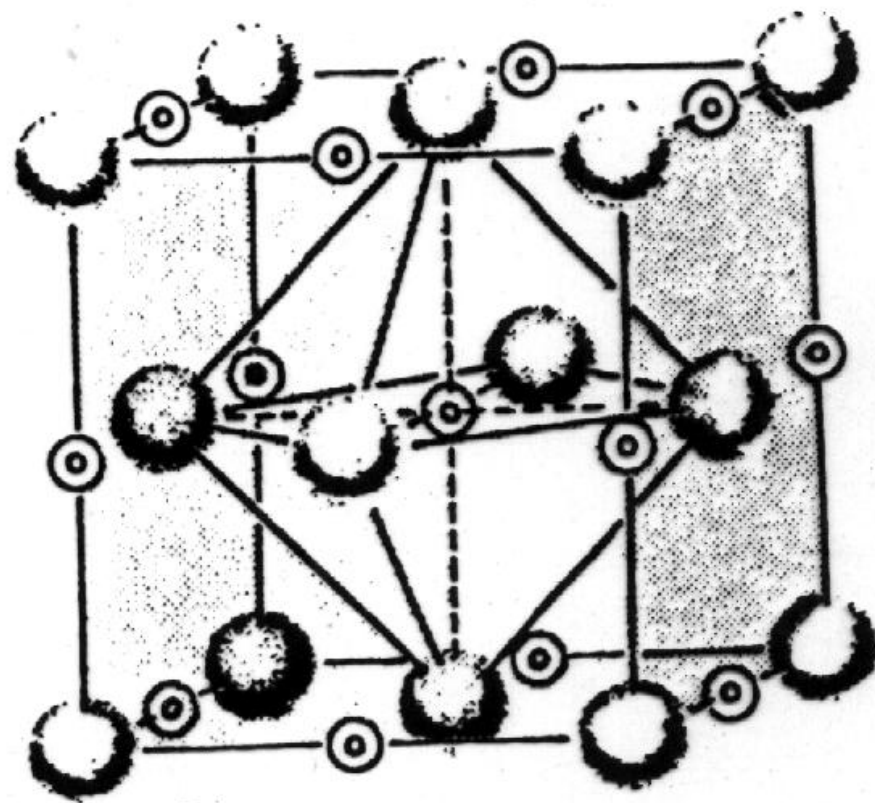


B

4

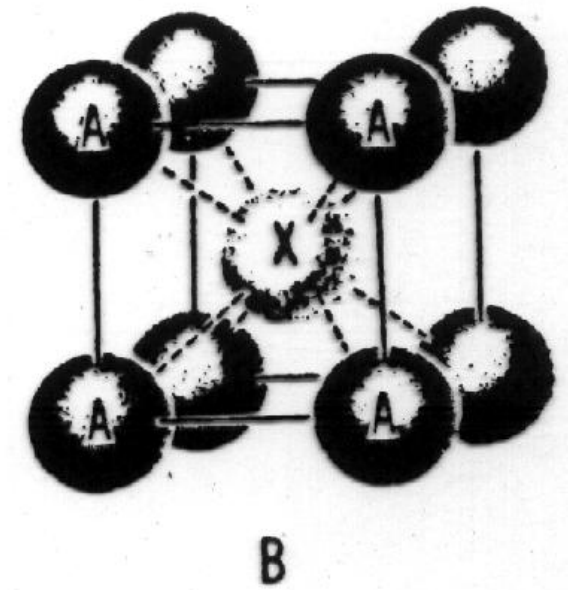
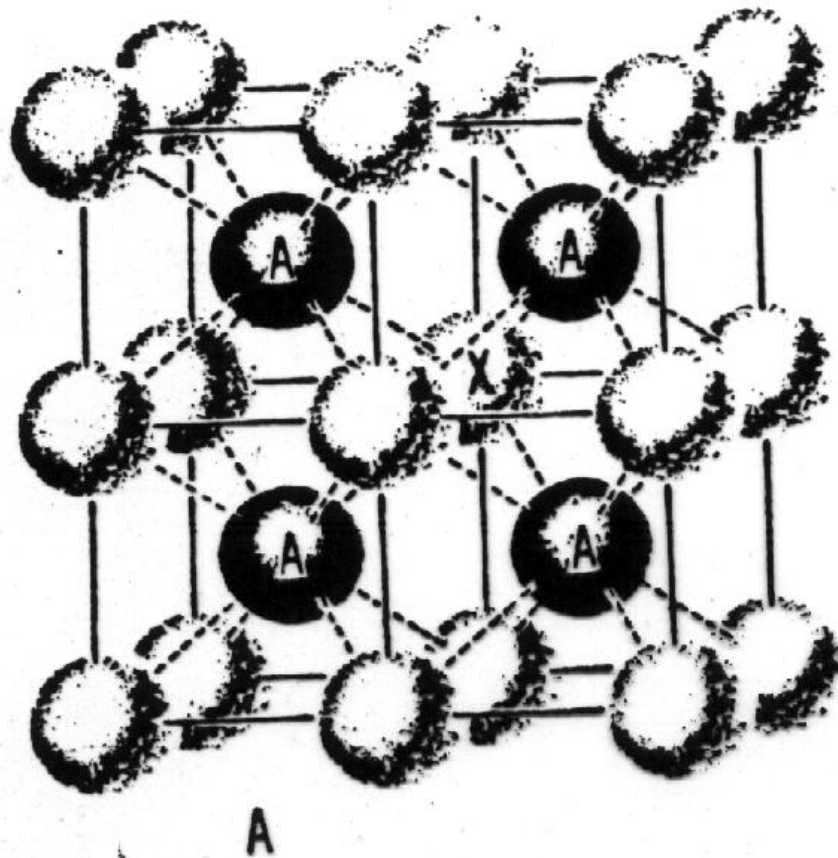


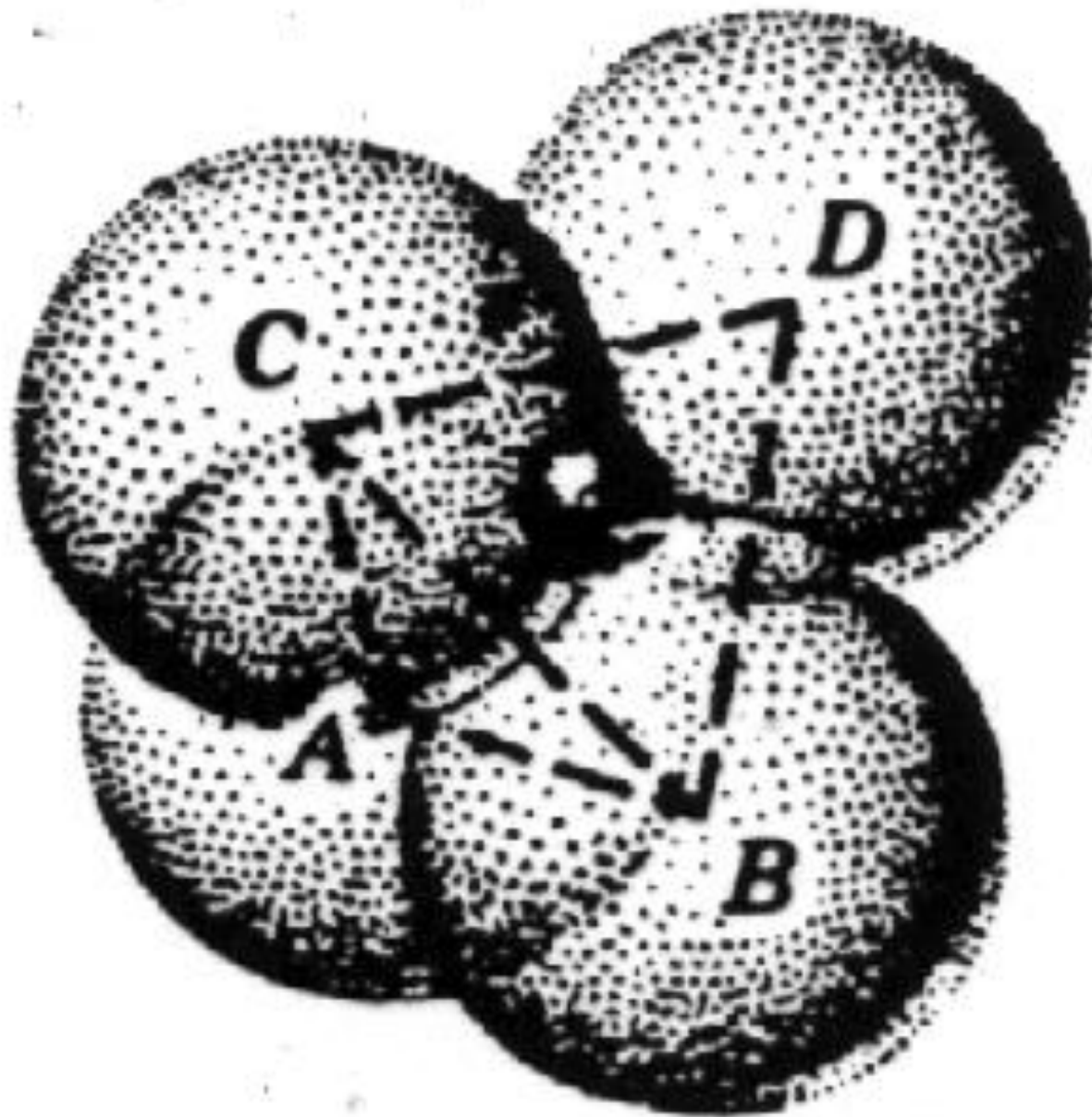
A •

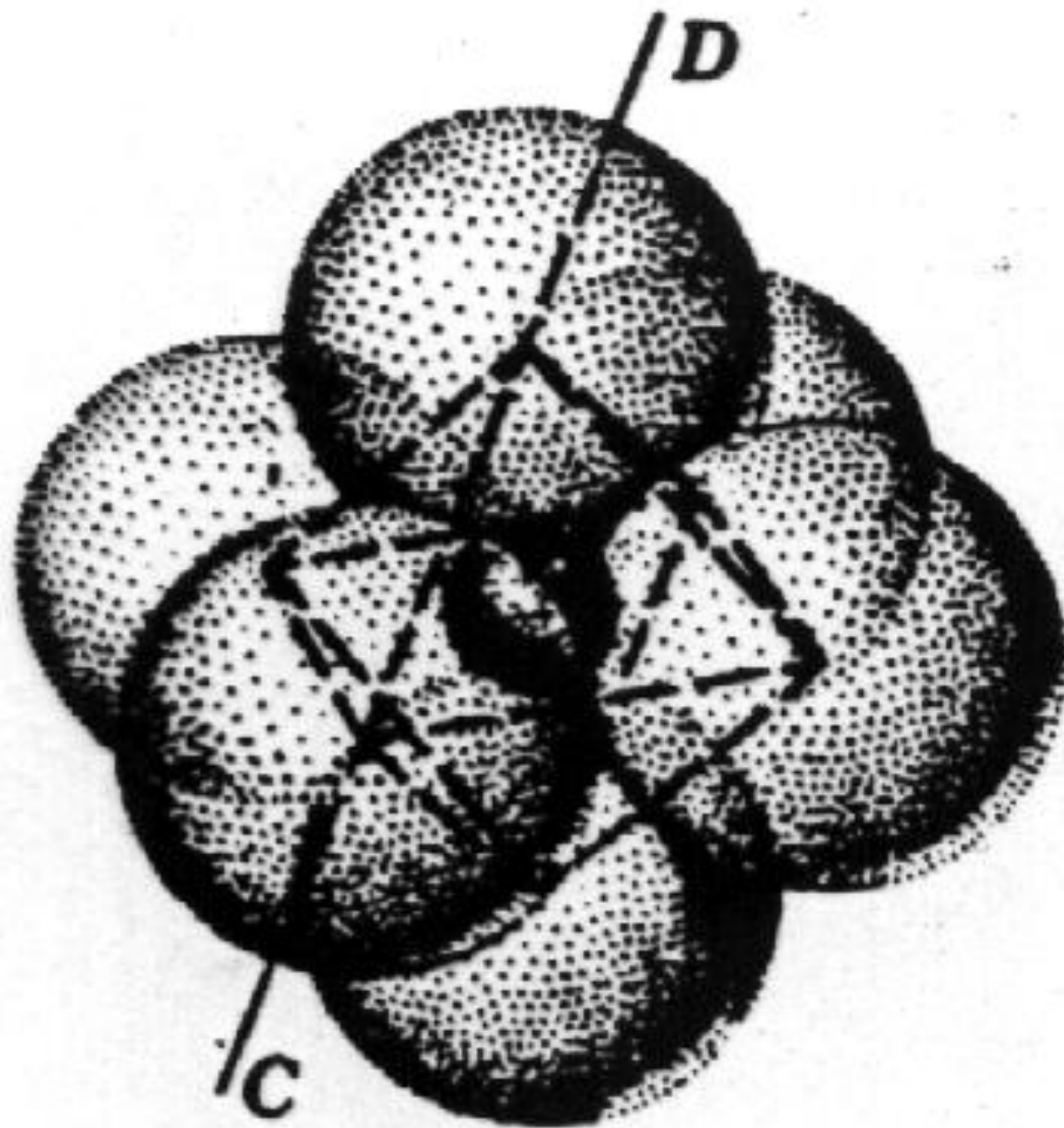


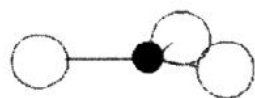
B

Fig. 5

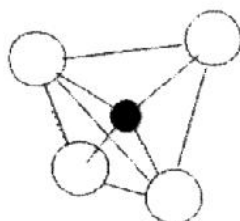




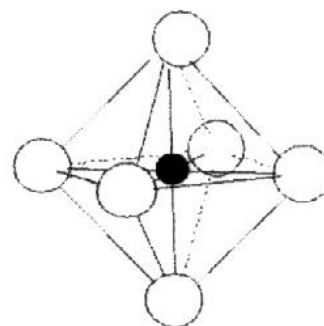




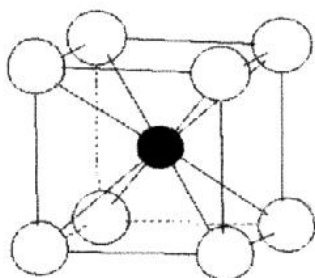
coordenação:  
ternária planar  
NC: 3



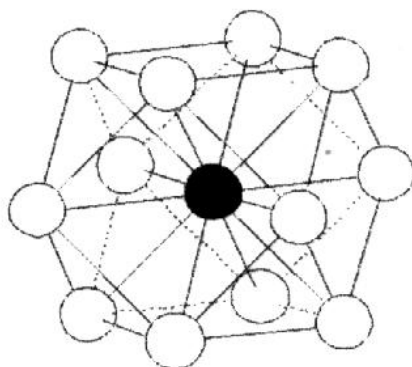
tetraédrica  
NC: 4



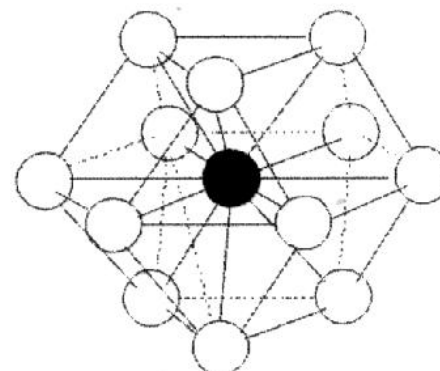
octaédrica  
NC: 6



Coordenação:  
cúbica  
NC: 8



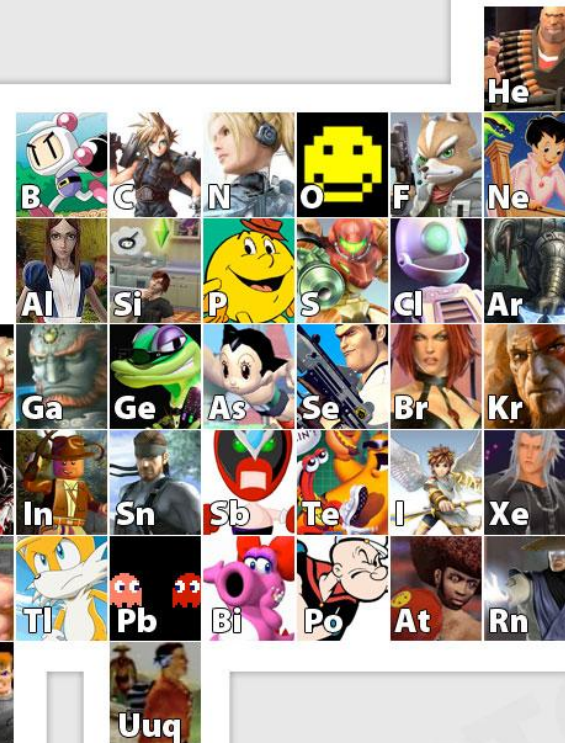
ligação do cubo  
e octaedro  
NC: 12



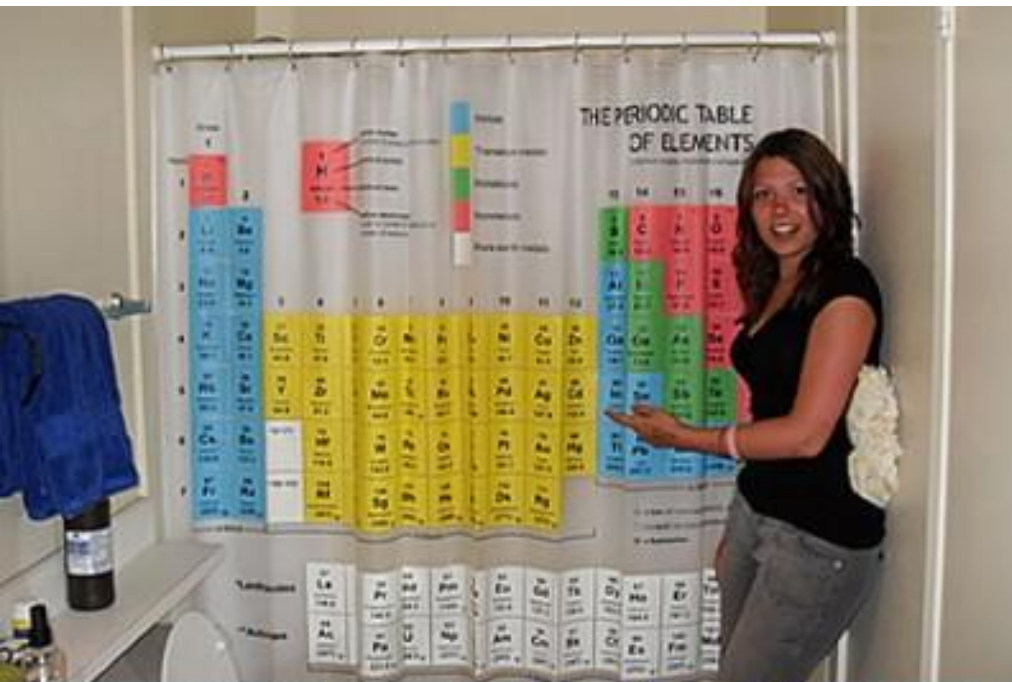
Ligação de duas bipirâmides  
trigonais e de um pinacoide  
basal NC: 12

**Figura 4.9: Números de coordenação mais comuns e poliedros de coordenação respectivos. Nos dois últimos casos trata-se de um dos tipos de empacotamento compacto de esferas idênticas (o átomo central é idêntico aos da vizinhança - vide Figuras 4.31 e 32).**

# IHC's Periodic Table of Video Game Characters



IHEARTCHAOS.COM







HE GES  
SOLICITORS

where the business of science comes to life

Pr 39 Nd 60 Pm 61 Sm 62 Eu 63 Gd 64 Th 65 Dy 66 Ho 67 Er 68 Yb  
THE OXFORD SCIENCE PARK  
Am 74 Cm 75 Pr 76 La 77 Ce 78 Sm 79 Eu 80 Gd 81 Tb 82 Dy 83 Ho 84 Er 85 Yb  
100 Md 101 No









# THE PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <div><div><div>1</div><div>H</div><div>1.0</div></div><div>Atomic number<br/>Number of protons<br/>in each nucleus</div><div>Chemical symbol</div><div>Chemical name</div><div>Relative atomic mass<br/>Equal to number of<br/>protons plus number<br/>of neutrons</div></div> <div><div><div>Metals</div><div>Transition metals</div><div>Metalloids</div><div>Nonmetals</div><div>Rare earth metals</div></div></div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div><div><div>3</div><div>Li</div><div>6.9</div></div><div><div>4</div><div>Be</div><div>9.0</div></div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div><div><div>11</div><div>Na</div><div>23.0</div></div><div><div>12</div><div>Mg</div><div>24.3</div></div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div><div><div>19</div><div>K</div><div>39.1</div></div><div><div>20</div><div>Ca</div><div>40.1</div></div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div><div><div>37</div><div>Rb</div><div>85.5</div></div><div><div>38</div><div>Sr</div><div>87.6</div></div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div><div><div>55</div><div>Cs</div><div>132.9</div></div><div><div>56</div><div>Ba</div><div>137.3</div></div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div><div><div>87</div><div>Fr</div><div>223</div></div><div><div>88</div><div>Ra</div><div>226</div></div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

- (g) = Gas (at room temperature)  
 (l) = Liquid (at room temperature)  
 \* = Radioactive

# Tabela Periódica dos Elementos

|                                                   |                                                   |                                            |                                             |                                               |                                            |                                             |                                          |                                         |                                          |                                             |                                           |                                                |                                            |                                            |                                           |                                                |                                           |                                               |                                            |                                          |                                          |                                          |                                            |                                              |                                           |                                          |                                              |                                             |                                             |                                           |                                             |                                            |                                              |                                           |                                            |                                             |                                            |                                            |                                            |                                           |                                             |                                               |                                            |                                           |                                             |                                             |                                           |                                      |                                          |                                              |                                              |                                           |                                          |                                            |                                             |                                            |                                             |                                            |                                          |                                               |                                           |                                          |                                           |                                           |                                         |                                     |                                                 |                                           |                                              |                                           |                                           |                                              |                                               |                                               |                                              |                                               |                                                 |                                                 |                                                |                                                 |                                                |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1<br>IA<br>1<br><b>H</b><br>Hidrogênio<br>1.00794 | 2<br>IIA<br>4<br><b>Be</b><br>Berílio<br>9.012182 | 3<br>11<br><b>Na</b><br>Sódio<br>22.989770 | 4<br>12<br><b>Mg</b><br>Magnésio<br>24.3050 | 5<br>13<br><b>Al</b><br>Alumínio<br>26.981538 | 6<br>14<br><b>Si</b><br>Silício<br>28.0855 | 7<br>15<br><b>P</b><br>Fósforo<br>30.973761 | 8<br>16<br><b>S</b><br>Enxofre<br>32.066 | 9<br>17<br><b>Cl</b><br>Cloro<br>35.453 | 10<br>18<br><b>Ar</b><br>Argon<br>39.948 | 11<br>19<br><b>K</b><br>Potássio<br>39.0983 | 12<br>20<br><b>Ca</b><br>Cálcio<br>40.078 | 13<br>21<br><b>Sc</b><br>Escândio<br>44.955910 | 14<br>22<br><b>Ti</b><br>Titânio<br>47.887 | 15<br>23<br><b>V</b><br>Vanádio<br>50.9415 | 16<br>24<br><b>Cr</b><br>Cromo<br>51.9961 | 17<br>25<br><b>Mn</b><br>Manganês<br>54.938049 | 18<br>26<br><b>Fe</b><br>Ferro<br>55.8457 | 19<br>27<br><b>Co</b><br>Cobalto<br>58.933200 | 20<br>28<br><b>Ni</b><br>Níquel<br>58.6934 | 21<br>29<br><b>Cu</b><br>Cobre<br>63.546 | 22<br>30<br><b>Zn</b><br>Zinco<br>65.409 | 23<br>31<br><b>Ga</b><br>Gálio<br>69.723 | 24<br>32<br><b>Ge</b><br>Germânio<br>72.64 | 25<br>33<br><b>As</b><br>Arsênio<br>74.92160 | 26<br>34<br><b>Se</b><br>Selênio<br>78.96 | 27<br>35<br><b>Br</b><br>Bromo<br>79.904 | 28<br>36<br><b>Kr</b><br>Criptônio<br>83.798 | 29<br>37<br><b>Rb</b><br>Rubídio<br>85.4678 | 30<br>38<br><b>Sr</b><br>Estrôncio<br>87.62 | 31<br>39<br><b>Y</b><br>Ítrio<br>88.90585 | 32<br>40<br><b>Zr</b><br>Zircônio<br>91.224 | 33<br>41<br><b>Nb</b><br>Níbio<br>92.90638 | 34<br>42<br><b>Mo</b><br>Molibdênio<br>95.94 | 35<br>43<br><b>Tc</b><br>Tecnécio<br>(98) | 36<br>44<br><b>Ru</b><br>Rutênio<br>101.07 | 37<br>45<br><b>Rh</b><br>Ródio<br>102.90550 | 38<br>46<br><b>Pd</b><br>Paládio<br>106.42 | 39<br>47<br><b>Ag</b><br>Prata<br>107.8682 | 40<br>48<br><b>Cd</b><br>Cádmio<br>112.411 | 41<br>49<br><b>In</b><br>Índio<br>114.818 | 42<br>50<br><b>Sn</b><br>Estanho<br>118.710 | 43<br>51<br><b>Sb</b><br>Antimônio<br>121.760 | 44<br>52<br><b>Te</b><br>Telúrio<br>127.60 | 45<br>53<br><b>I</b><br>Iodo<br>126.90447 | 46<br>54<br><b>Xe</b><br>Xenônio<br>131.293 | 47<br>55<br><b>Cs</b><br>Césio<br>132.90545 | 48<br>56<br><b>Ba</b><br>Bário<br>137.327 | 49<br>57 to 71<br><b>Lanthanides</b> | 50<br>72<br><b>Hf</b><br>Háfio<br>178.49 | 51<br>73<br><b>Ta</b><br>Tântalo<br>180.9479 | 52<br>74<br><b>W</b><br>Tungstênio<br>183.84 | 53<br>75<br><b>Re</b><br>Rênio<br>186.207 | 54<br>76<br><b>Os</b><br>Ósmio<br>190.23 | 55<br>77<br><b>Ir</b><br>Iridio<br>192.217 | 56<br>78<br><b>Pt</b><br>Platina<br>195.078 | 57<br>79<br><b>Au</b><br>Ouro<br>196.96655 | 58<br>80<br><b>Hg</b><br>Mercúrio<br>200.59 | 59<br>81<br><b>Tl</b><br>Tálio<br>204.3833 | 60<br>82<br><b>Pb</b><br>Chumbo<br>207.2 | 61<br>83<br><b>Bi</b><br>Bismuto<br>208.98038 | 62<br>84<br><b>Po</b><br>Polônio<br>(209) | 63<br>85<br><b>At</b><br>Astató<br>(210) | 64<br>86<br><b>Rn</b><br>Radônio<br>(222) | 65<br>87<br><b>Fr</b><br>Frâncio<br>(223) | 66<br>88<br><b>Ra</b><br>Rádio<br>(226) | 67<br>89 to 103<br><b>Actinides</b> | 68<br>104<br><b>Rf</b><br>Rutherfordio<br>(261) | 69<br>105<br><b>Db</b><br>Dübnió<br>(262) | 70<br>106<br><b>Sg</b><br>Seabörgio<br>(266) | 71<br>107<br><b>Bh</b><br>Bóhrio<br>(264) | 72<br>108<br><b>Hs</b><br>Hássio<br>(269) | 73<br>109<br><b>Mt</b><br>Meitnério<br>(268) | 74<br>110<br><b>Ds</b><br>Darmstádio<br>(271) | 75<br>111<br><b>Rg</b><br>Roentgenio<br>(272) | 76<br>112<br><b>Uub</b><br>Ununbium<br>(285) | 77<br>113<br><b>Uut</b><br>Ununtrium<br>(284) | 78<br>114<br><b>Uuq</b><br>Ununquádmio<br>(289) | 79<br>115<br><b>Uup</b><br>Ununpentium<br>(288) | 80<br>116<br><b>Uuh</b><br>Ununhexium<br>(292) | 81<br>117<br><b>Uus</b><br>Ununseptium<br>(294) | 82<br>118<br><b>Uuo</b><br>Ununoctium<br>(294) |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com), <http://www.dayah.com/periodic/>

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

|                                         |                                      |                                             |                                       |                                      |                                      |                                       |                                        |                                        |                                         |                                        |                                     |                                         |                                      |                                        |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 57<br><b>La</b><br>Lantânio<br>138.9055 | 58<br><b>Ce</b><br>Cério<br>140.116  | 59<br><b>Pr</b><br>Praseodímio<br>140.90765 | 60<br><b>Nd</b><br>Neodímio<br>144.24 | 61<br><b>Pm</b><br>Promécio<br>(145) | 62<br><b>Sm</b><br>Samário<br>150.36 | 63<br><b>Eu</b><br>Európio<br>151.964 | 64<br><b>Gd</b><br>Gadolínio<br>157.25 | 65<br><b>Tb</b><br>Térbio<br>158.92534 | 66<br><b>Dy</b><br>Disprósio<br>162.500 | 67<br><b>Ho</b><br>Hólmio<br>164.93032 | 68<br><b>Er</b><br>Érbio<br>167.259 | 69<br><b>Tm</b><br>Túlio<br>168.93421   | 70<br><b>Yb</b><br>Ítrbio<br>173.04  | 71<br><b>Lu</b><br>Lutécio<br>174.967  |
| 89<br><b>Ac</b><br>Actínio<br>(227)     | 90<br><b>Th</b><br>Tório<br>232.0381 | 91<br><b>Pa</b><br>Protactínio<br>231.03588 | 92<br><b>U</b><br>Urânio<br>238.02891 | 93<br><b>Np</b><br>Netúnio<br>(237)  | 94<br><b>Pu</b><br>Plutônio<br>(244) | 95<br><b>Am</b><br>Americio<br>(243)  | 96<br><b>Cm</b><br>Cúrio<br>(247)      | 97<br><b>Bk</b><br>Berquélio<br>(247)  | 98<br><b>Cf</b><br>Califórnia<br>(251)  | 99<br><b>Es</b><br>Einstênio<br>(252)  | 100<br><b>Fm</b><br>Férmio<br>(257) | 101<br><b>Md</b><br>Mendelévio<br>(288) | 102<br><b>No</b><br>Nobélio<br>(259) | 103<br><b>Lr</b><br>Laurêncio<br>(262) |

## Os elementos são classificados como:

Metais  $c/ e\text{-neg} < 1.9$  assim perdem  $e^-$   $e^- \rightarrow$  **cátions**

Não-metais  $> 2.1$  assim ganham  $e^-$   $e^- \rightarrow$  **ânions**

**Metalóides** intermediários (B, Si, Ge, As, Sb, Te, Po..)

# Periodic Table of the Elements

|   |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 1 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    | 2  |    |    |
| 1 | H  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    | He |    |
| 2 | 3  | 4  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    | 10 |
|   | Li | Be |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    | Ne |
| 3 | 11 | 12 | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |     |     |     |     |     |    |    |    | Ar |    |    |
|   | Na | Mg | Al  | Si  | P   | S   | Cl  |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |    |
| 4 | 19 | 20 | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |    |
|   | K  | Ca | Sc  | Ti  | V   | Cr  | Mn  | Fe  | Co  | Ni  | Cu  | Zn  | Ga  | Ge | As | Se | Br | Kr |    |
| 5 | 37 | 38 | 39  | 40  | 41  | 42  | 43  | 44  | 45  | 46  | 47  | 48  | 49  | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 |    |
|   | Rb | Sr | Y   | Zr  | Nb  | Mo  | Tc  | Ru  | Rh  | Pd  | Ag  | Cd  | In  | Sn | Sb | Te | I  | Xe |    |
| 6 | 55 | 56 | 57  | 72  | 73  | 74  | 75  | 76  | 77  | 78  | 79  | 80  | 81  | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 |    |
|   | Cs | Ba | *La | Hf  | Ta  | W   | Re  | Os  | Ir  | Pt  | Au  | Hg  | Tl  | Pb | Bi | Po | At | Rn |    |
| 7 | 87 | 88 | 89  | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 |    |    |    |    |    |    |
|   | Fr | Ra | +Ac | Rf  | Ha  | Sg  | Ns  | Hs  | Mt  | 110 | 111 | 112 | 113 |    |    |    |    |    |    |

\* Lanthanide Series

+ Actinide Series

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68  | 69  | 70  | 71  |
| Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er  | Tm  | Yb  | Lu  |
| 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 |
| Th | Pa | U  | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm  | Md  | No  | Lr  |

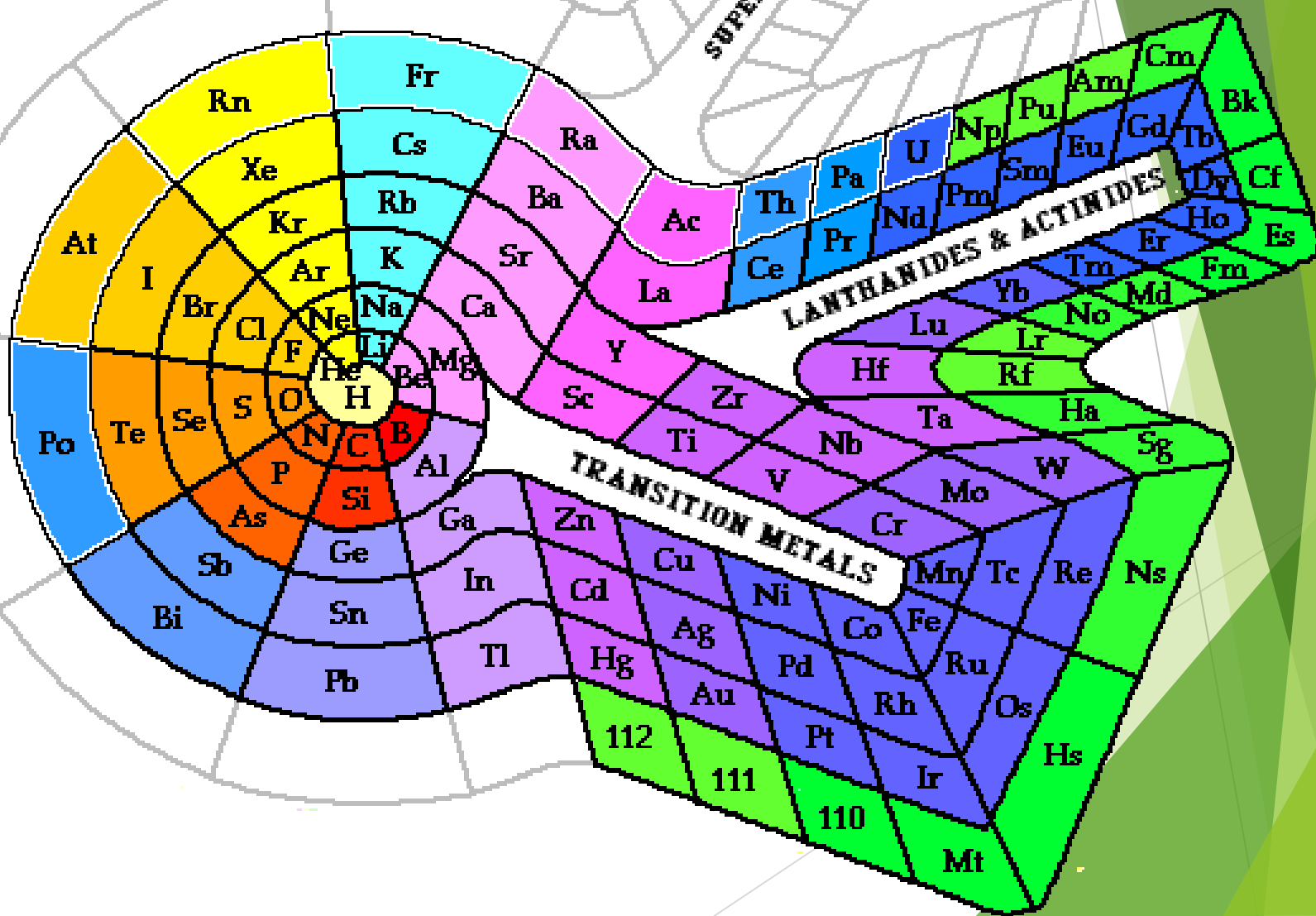
# Δ Τάβηλα Ρερίόδνκα

|                                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |             |  |
|----------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------|--|
| s-block                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Non-Metals |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | s-block     |  |
| 1 New Designation<br>IA Original Designation |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 18<br>VIIIA |  |
| 1                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | He          |  |
| 1.0094                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4.00260     |  |
| s-block                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | p-block    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |             |  |
| 3                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 5           |  |
| Li                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Be         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | B           |  |
| 6.941                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 9.0122     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 10.81       |  |
| 11                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 12         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 13          |  |
| Na                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Mg         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Al          |  |
| 22.990                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 24.305     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 26.982      |  |
| 3                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 5           |  |
| K                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Ca         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Sc          |  |
| 39.098                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 40.08      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 44.956      |  |
| 19                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 20         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 21          |  |
| Rb                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Sr         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Y           |  |
| 85.468                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 87.62      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 88.906      |  |
| 37                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 38         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 39          |  |
| Cs                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Ba         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | to 71       |  |
| 132.91                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 137.33     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | to 71       |  |
| 55                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 56         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 57          |  |
| Fr                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Ra         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | to 103      |  |
| (223)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 226.03     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | to 103      |  |
| 87                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 88         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 89          |  |
| Unq                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Unp        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Unh         |  |
| (261)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (262)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (263)       |  |
| 104                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 105        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 106         |  |
| Uns                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uno        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Une         |  |
| (262)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (265)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (266)       |  |
| 107                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 108        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 109         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uuo        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uut         |  |
| (267)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (268)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (269)       |  |
| 110                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 111        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 112         |  |
| Uus                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uuh        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uul         |  |
| (271)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (272)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (273)       |  |
| 113                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 114        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 115         |  |
| Uut                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uuq        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uup         |  |
| (285)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (286)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (287)       |  |
| 116                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 117        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 118         |  |
| Uuq                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uur        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uus         |  |
| (289)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (290)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (291)       |  |
| 119                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 120        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 121         |  |
| Uup                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uud        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uue         |  |
| (295)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (296)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (297)       |  |
| 122                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 123        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 124         |  |
| Uue                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uuf        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uug         |  |
| (303)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (304)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (305)       |  |
| 125                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 126        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 127         |  |
| Uug                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uuh        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uui         |  |
| (307)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (308)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (309)       |  |
| 128                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 129        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 130         |  |
| Uui                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uuj        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uuk         |  |
| (311)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (312)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (313)       |  |
| 131                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 132        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 133         |  |
| Uuk                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uul        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uum         |  |
| (315)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (316)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (317)       |  |
| 134                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 135        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 136         |  |
| Uum                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uuo         |  |
| (319)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (320)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (321)       |  |
| 137                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 138        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 139         |  |
| Uuo                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (323)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (324)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (325)       |  |
| 140                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 141        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 142         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (327)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (328)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (329)       |  |
| 143                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 144        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 145         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (331)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (332)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (333)       |  |
| 146                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 147        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 148         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (335)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (336)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (337)       |  |
| 149                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 150        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 151         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (339)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (340)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (341)       |  |
| 152                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 153        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 154         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (343)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (344)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (345)       |  |
| 155                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 156        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 157         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (347)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (348)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (349)       |  |
| 158                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 159        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 160         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (351)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (352)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (353)       |  |
| 161                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 162        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 163         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (355)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (356)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (357)       |  |
| 164                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 165        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 166         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (359)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (360)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (361)       |  |
| 167                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 168        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 169         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (363)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (364)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (365)       |  |
| 170                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 171        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 172         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (367)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (368)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (369)       |  |
| 173                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 174        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 175         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (371)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (372)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (373)       |  |
| 176                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 177        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 178         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (375)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (376)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (377)       |  |
| 179                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 180        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 181         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (379)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (380)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (381)       |  |
| 182                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 183        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 184         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (383)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (384)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (385)       |  |
| 185                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 186        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 187         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (387)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (388)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (389)       |  |
| 188                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 189        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 190         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (391)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (392)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (393)       |  |
| 191                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 192        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 193         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (395)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (396)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (397)       |  |
| 194                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 195        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 196         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (399)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (400)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (401)       |  |
| 197                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 198        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 199         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (403)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (404)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (405)       |  |
| 200                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 201        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 202         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (407)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (408)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (409)       |  |
| 203                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 204        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 205         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (411)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (412)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (413)       |  |
| 206                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 207        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 208         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (415)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (416)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (417)       |  |
| 209                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 210        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 211         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (419)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (420)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (421)       |  |
| 212                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 213        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 214         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (423)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (424)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (425)       |  |
| 215                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 216        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 217         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (427)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (428)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (429)       |  |
| 218                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 219        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 220         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (431)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (432)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (433)       |  |
| 221                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 222        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 223         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (435)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (436)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (437)       |  |
| 224                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 225        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 226         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (439)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (440)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (441)       |  |
| 227                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 228        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 229         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (443)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (444)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (445)       |  |
| 230                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 231        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 232         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (447)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (448)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (449)       |  |
| 233                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 234        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 235         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (451)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (452)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (453)       |  |
| 236                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 237        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 238         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (455)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (456)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (457)       |  |
| 239                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 240        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 241         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (459)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (460)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (461)       |  |
| 242                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 243        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 244         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (463)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (464)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (465)       |  |
| 245                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 246        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 247         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (467)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (468)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (469)       |  |
| 248                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 249        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 250         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (471)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (472)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (473)       |  |
| 251                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 252        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 253         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (475)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (476)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (477)       |  |
| 254                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 255        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 256         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (479)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (480)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (481)       |  |
| 257                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 258        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 259         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (483)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (484)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (485)       |  |
| 260                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 261        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 262         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (487)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (488)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (489)       |  |
| 263                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 264        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 265         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (491)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (492)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (493)       |  |
| 266                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 267        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 268         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (495)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (496)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (497)       |  |
| 269                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 270        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 271         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (499)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (500)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (501)       |  |
| 272                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 273        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 274         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (503)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (504)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (505)       |  |
| 275                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 276        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 277         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (507)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (508)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (509)       |  |
| 278                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 279        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 280         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (511)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (512)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (513)       |  |
| 281                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 282        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 283         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (515)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (516)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (517)       |  |
| 284                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 285        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 286         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (519)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (520)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (521)       |  |
| 287                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 288        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 289         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (523)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (524)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (525)       |  |
| 290                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 291        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 292         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (527)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (528)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (529)       |  |
| 293                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 294        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 295         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (531)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (532)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (533)       |  |
| 296                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 297        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 298         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (535)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (536)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (537)       |  |
| 299                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 300        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 301         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (539)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (540)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (541)       |  |
| 302                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 303        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 304         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (543)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (544)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (545)       |  |
| 305                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 306        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 307         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (547)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (548)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (549)       |  |
| 308                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 309        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 310         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (551)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (552)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (553)       |  |
| 311                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 312        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 313         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (555)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (556)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (557)       |  |
| 314                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 315        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 316         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (559)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (560)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (561)       |  |
| 317                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 318        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 319         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (563)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (564)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (565)       |  |
| 320                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 321        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 322         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (567)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (568)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (569)       |  |
| 323                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 324        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 325         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (571)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (572)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (573)       |  |
| 326                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 327        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 328         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (575)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (576)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (577)       |  |
| 329                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 330        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 331         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (579)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (580)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (581)       |  |
| 332                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 333        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 334         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (583)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (584)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (585)       |  |
| 335                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 336        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 337         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (587)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (588)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (589)       |  |
| 338                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 339        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 340         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (591)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (592)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (593)       |  |
| 341                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 342        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 343         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (595)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (596)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (597)       |  |
| 344                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 345        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 346         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (599)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (600)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (601)       |  |
| 347                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 348        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 349         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (603)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (604)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (605)       |  |
| 350                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 351        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 352         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (607)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (608)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (609)       |  |
| 353                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 354        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 355         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (611)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (612)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (613)       |  |
| 356                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 357        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 358         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (615)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (616)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (617)       |  |
| 359                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 360        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 361         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (619)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (620)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (621)       |  |
| 362                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 363        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 364         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (623)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (624)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (625)       |  |
| 365                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 366        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 367         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (627)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (628)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (629)       |  |
| 368                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 369        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 370         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (631)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (632)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (633)       |  |
| 371                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 372        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 373         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (635)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (636)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (637)       |  |
| 374                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 375        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 376         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (639)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (640)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (641)       |  |
| 377                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 378        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 379         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (643)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (644)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (645)       |  |
| 380                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 381        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 382         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (647)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (648)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (649)       |  |
| 383                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 384        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 385         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (651)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (652)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (653)       |  |
| 386                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 387        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 388         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (655)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (656)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (657)       |  |
| 389                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 390        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 391         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (659)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (660)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (661)       |  |
| 392                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 393        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 394         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (663)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (664)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (665)       |  |
| 395                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 396        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 397         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (667)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (668)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (669)       |  |
| 398                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 399        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 400         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (671)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (672)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (673)       |  |
| 401                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 402        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 403         |  |
| Uun                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uun         |  |
| (675)                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | (676)      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |             |  |

SUPERACTINIDES

LANTHANIDES & ACTINIDES

TRANSITION METALS



## Tabela Periódica, com a configuração dos orbitais externos

|      |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
|------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|------|
| IA   |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    | VIII |
| 1    | 1  |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    | 2    |
| 1s1  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    | 1s2  |
| 2    | 3  | 4  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 2s1  | Li | Be |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 2s2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3    | 11 | 12 |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3s1  | Na | Mg |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3s2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4    | 19 | 20 | 21 | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36   |
| 4s1  | K  | Ca | Sc | Ti  | V   | Cr  | Mn  | Fe  | Co  | Ni  | Cu  | Zn  | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr   |
| 4s2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d1  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d3  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d5  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d5  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d6  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d7  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d8  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d10 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 3d10 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4p1  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4p2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4p3  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4p4  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4p5  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4p6  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5    | 37 | 38 | 39 | 40  | 41  | 42  | 43  | 44  | 45  | 46  | 47  | 48  | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54   |
| 5s1  | Rb | Sr | Y  | Zr  | Nb  | Mo  | Tc  | Ru  | Rh  | Pd  | Ag  | Cd  | In | Sn | Sb | Te | I  | Xe   |
| 5s2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d1  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d4  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d5  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d6  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d7  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d8  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d10 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d10 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 4d10 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5p1  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5p2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5p3  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5p4  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5p5  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5p6  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6    | 55 | 56 | 57 | 72  | 73  | 74  | 75  | 76  | 77  | 78  | 79  | 80  | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86   |
| 6s1  | Cs | Ba | La | Hf  | Ta  | W   | Re  | Os  | Ir  | Pt  | Au  | Hg  | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn   |
| 6s2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d1  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d3  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d4  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d5  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d6  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d7  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d9  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d10 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 5d10 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6p1  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6p2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6p3  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6p4  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6p5  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6p6  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 7    | 87 | 88 | 89 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 |    |    |    |    |    |      |
| 7s1  | Fr | Ra | Ac | Rf  | Db  | Sg  | Bh  | Hs  | Mt  | Uun | Uuu | Uub |    |    |    |    |    |      |
| 7s2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6d1  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6d2  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6d3  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6d4  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6d5  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6d6  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6d7  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |
| 6d8  |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |      |

Lantanídeos

|     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| 58  | 59  | 60  | 61  | 62  | 63  | 64  | 65  | 66   | 67   | 68   | 69   | 70   | 71   |
| Ce  | Pr  | Nd  | Pm  | Sm  | Eu  | Gd  | Tb  | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   |
| 4f2 | 4f3 | 4f4 | 4f5 | 4f6 | 4f7 | 4f7 | 4f9 | 4f10 | 4f11 | 4f12 | 4f13 | 4f14 | 4f14 |

Actinídeos

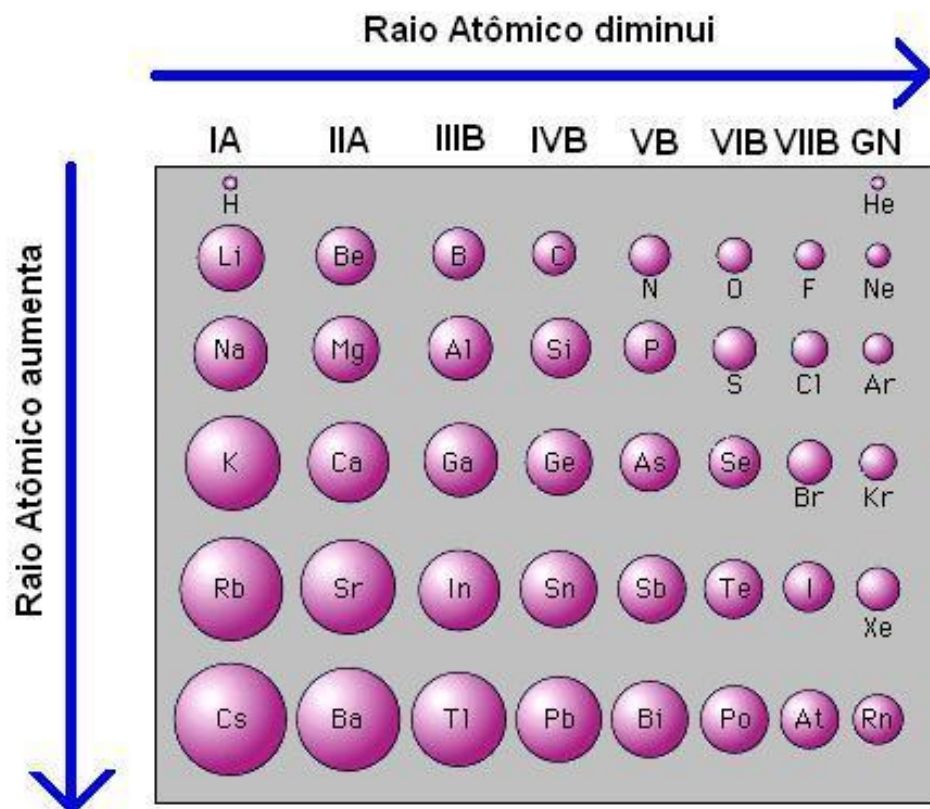
|     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| 90  | 91  | 92  | 93  | 94  | 95  | 96  | 97  | 98   | 99   | 100  | 101  | 102  | 103  |
| Th  | Pa  | U   | Np  | Pu  | Am  | Cm  | Bk  | Cf   | Es   | Fm   | Md   | No   | Lr   |
| 6d2 | 5f2 | 5f3 | 5f4 | 5f6 | 5f7 | 5f7 | 5f8 | 5f10 | 5f11 | 5f12 | 5f13 | 5f14 | 5f14 |

The background features abstract, overlapping green geometric shapes, primarily triangles and polygons, in various shades of green, creating a modern and dynamic visual effect.

# **Cristaloquímica: os fundamentos químicos**

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Raio atômico: variação segundo as linhas e colunas da Tabela



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Eletronegatividade: define a capacidade de um átomo na configuração fundamental de atrair elétrons adicionais para a sua eletrosfera, procurando alcançar uma configuração eletrônica final semelhante à dos gases nobres. Os valores de eletronegatividade atribuídos aos elementos são arbitrários (L.Pauling), e variam de 0,7 (Cs) a 4,0 (F).

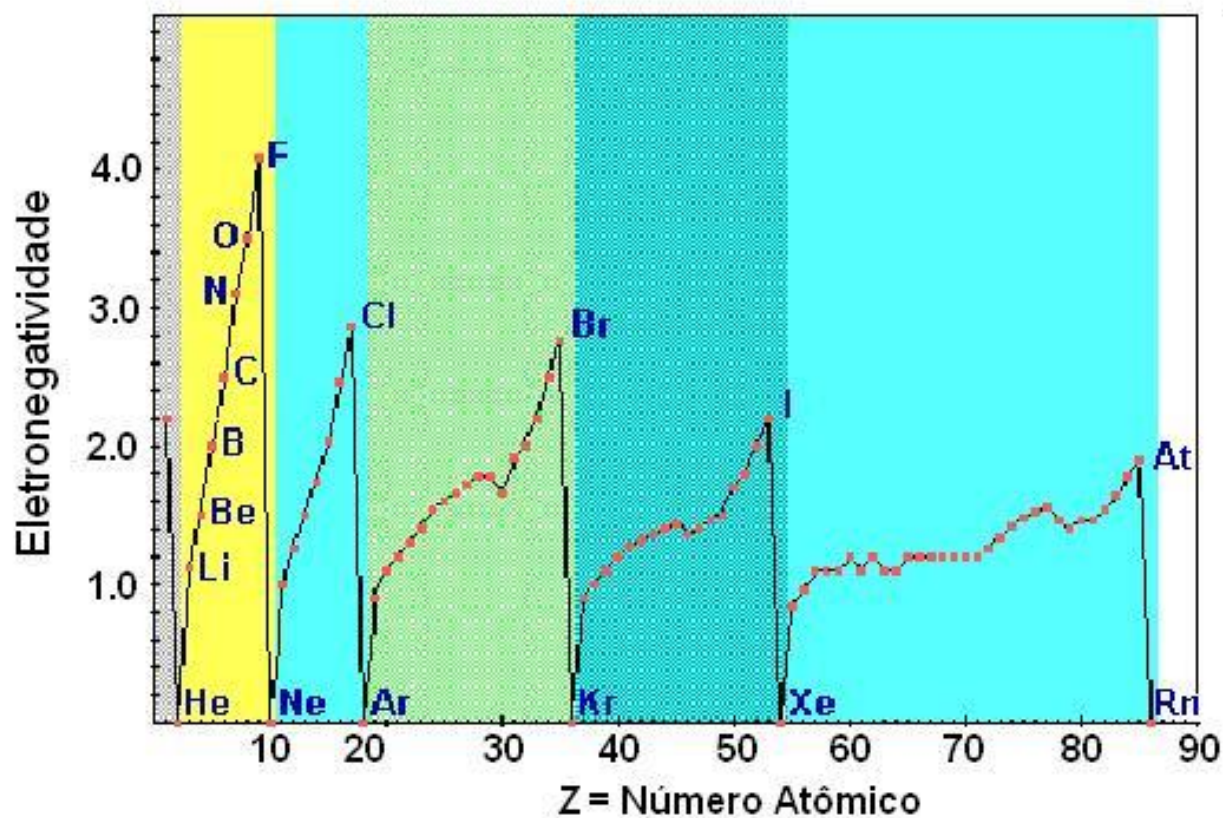
A Diferença de Eletronegatividade ( $\Delta E$ ) é útil na avaliação do caráter da ligação entre dois elementos:

- Grande diferença = forte caráter iônico;
- Pequena diferença, eletronegatividades altas = caráter covalente;
- Pequena diferença, eletronegatividades baixas a intermediárias = ligação metálica



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

### Eletronegatividade - variação com Z



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

### Formação de íons - cátions e ânions:

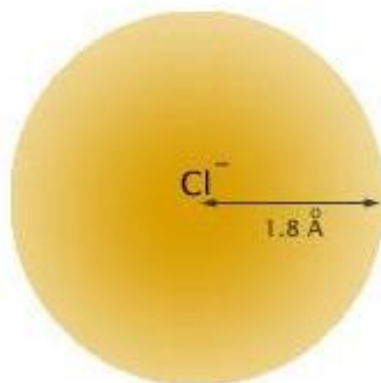
Conforme sua eletronegatividade, os átomos tendem a ceder elétrons (baixa eletronegatividade - “eletropositivos”) ou adquirir elétrons (alta eletronegatividade - “eletronegativos”), procurando uma configuração eletrônica similar à dos gases nobres, com os orbitais externos preenchidos.

Quando há cessão de elétrons, forma-se o cátion: o átomo torna-se positivamente carregado (prótons > elétrons), e seu raio iônico diminui;

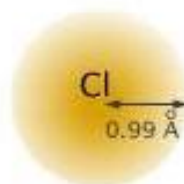
Quando há aquisição de elétrons, forma-se o ânion: a carga será negativa (elétrons > prótons) e o raio iônico aumenta.

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

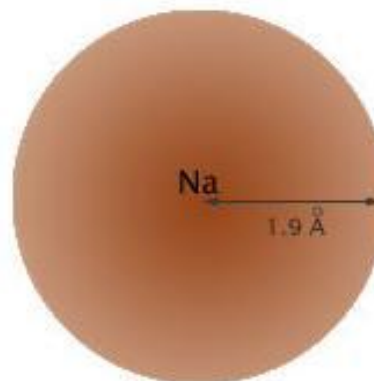
Exemplos da relação de tamanho entre átomos e íons:



Ânion  $\text{Cl}^-$   
17 prótons  
18 elétrons  
R. aniônico:  $1,80 \text{ \AA}$



Átomo  $\text{Cl}$   
17 prótons  
17 elétrons  
R. atômico:  $0,99 \text{ \AA}$



Átomo  $\text{Na}$   
11 prótons  
11 elétrons  
R. atômico:  $1,90 \text{ \AA}$



Cátion  $\text{Na}^+$   
11 prótons  
10 elétrons  
R. catiônico:  $0,95 \text{ \AA}$

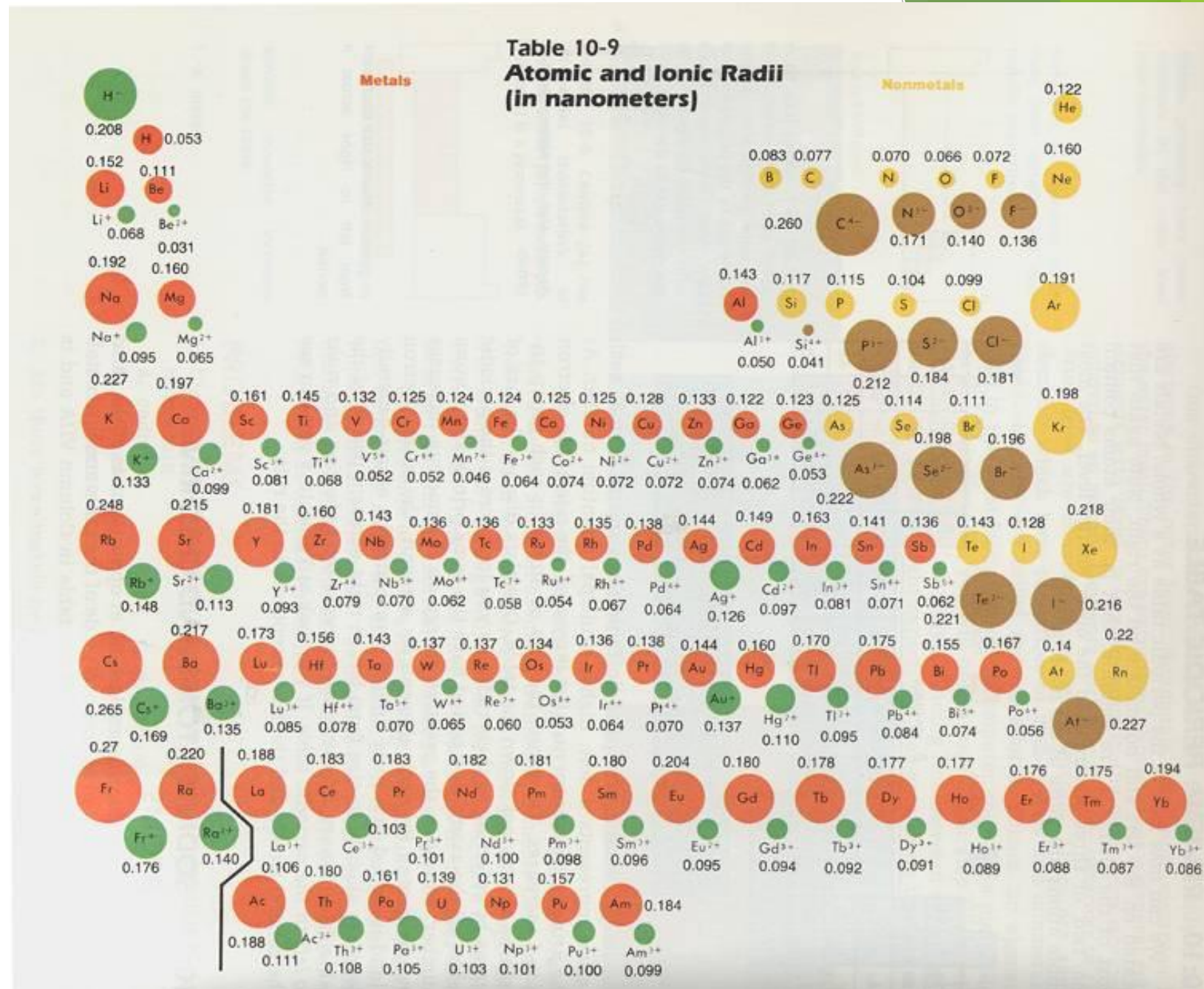
Eu ficaria mais nobre sem este meu elétron no 3º nível.  
Se você quiser eu lhe dou este meu elétron



Oba!  
Obrigado! Estava mesmo precisando de mais um elétron para adquirir estabilidade!



Raios  
atômicos  
e iônicos  
(em nm)



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Ligações químicas: são as forças de atração que mantêm as partículas unidas em um retículo cristalino ou em uma molécula. As ligações químicas se realizam mediante a interação dos orbitais externos, incompletos, onde se alojam os elétrons de valência dos átomos envolvidos, i.e. aqueles que irão participar das ligações entre eles.

As ligações químicas podem ser:

- Covalente
- Iônica
- Metálica
- Van der Waals (residual)
- Pontes de hidrogênio (residual)

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

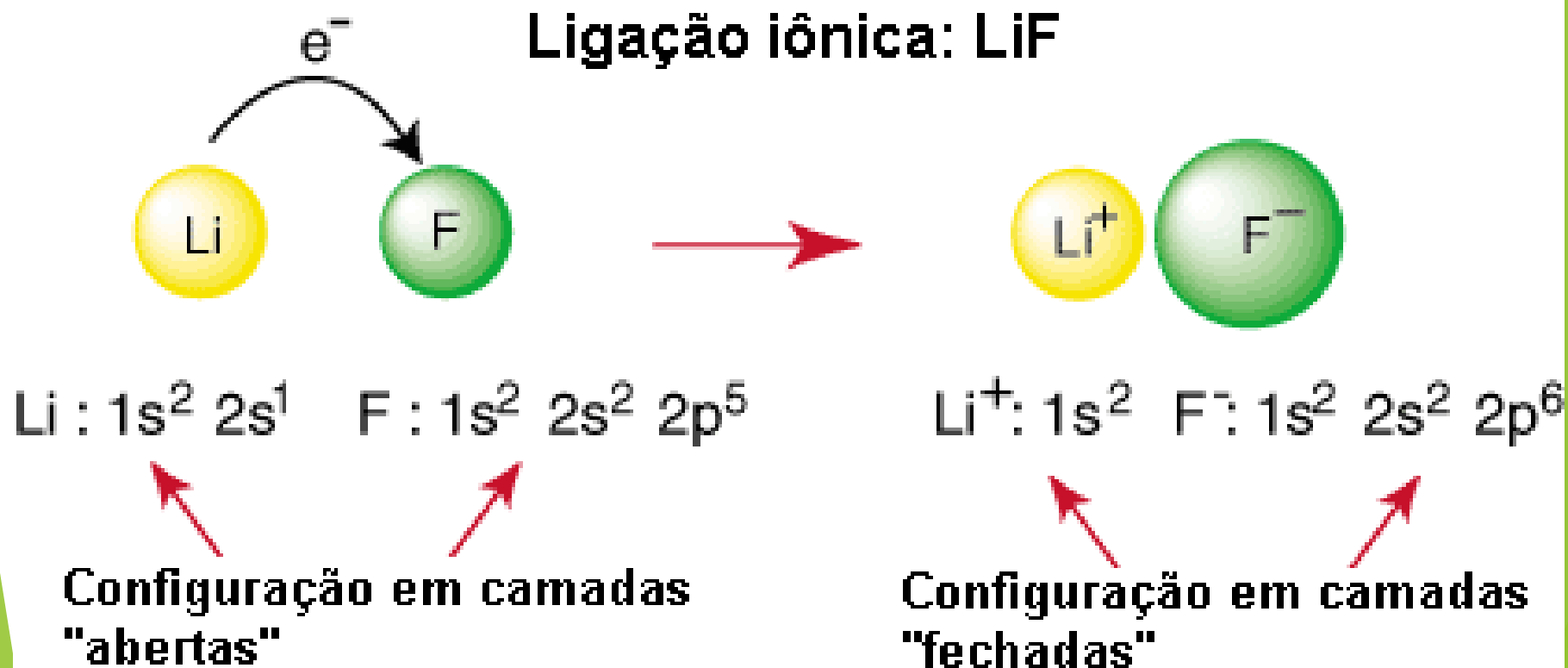
Nas ligações iônica, covalente e metálica, os átomos envolvidos procuram adquirir uma configuração estável com os seus respectivos orbitais de valência assemelhando-se aos orbitais completamente preenchidos dos gases nobres.

Na ligação iônica, isto é alcançado através da doação dos elétrons de valência dos cátions para os ânions - assim, ambos adquirem uma configuração eletrônica “fechada”;

Na ligação covalente, os orbitais externos incompletos compartilham os elétrons de valência, com a sobreposição (interpenetração) destes orbitais;

Na ligação metálica, os elétrons de valência circulam livres pela estrutura, participando temporariamente de vários orbitais incompletos.

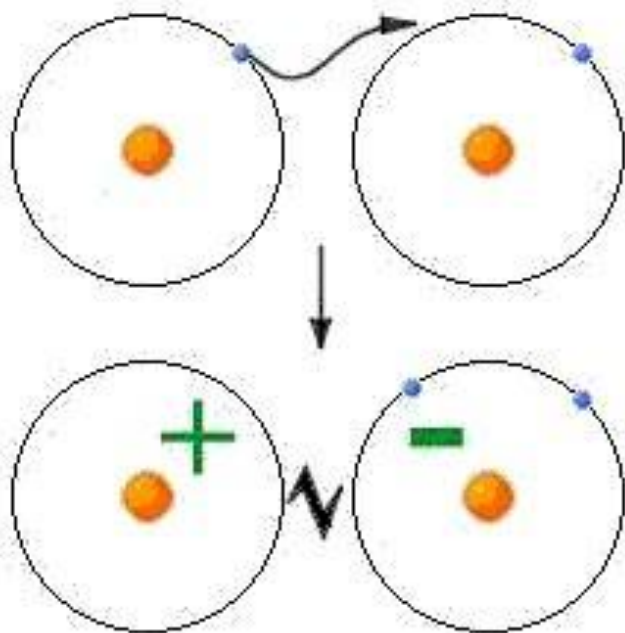
Exemplo de ligação iônica: LiF



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

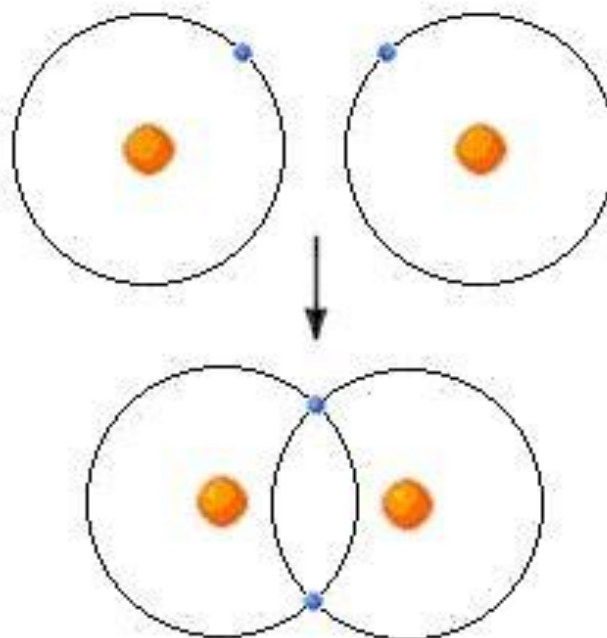
### Ligações iônica e covalente: comparação

#### Ligação iônica



Doação / adoção de elétrons  
- atração eletrostática

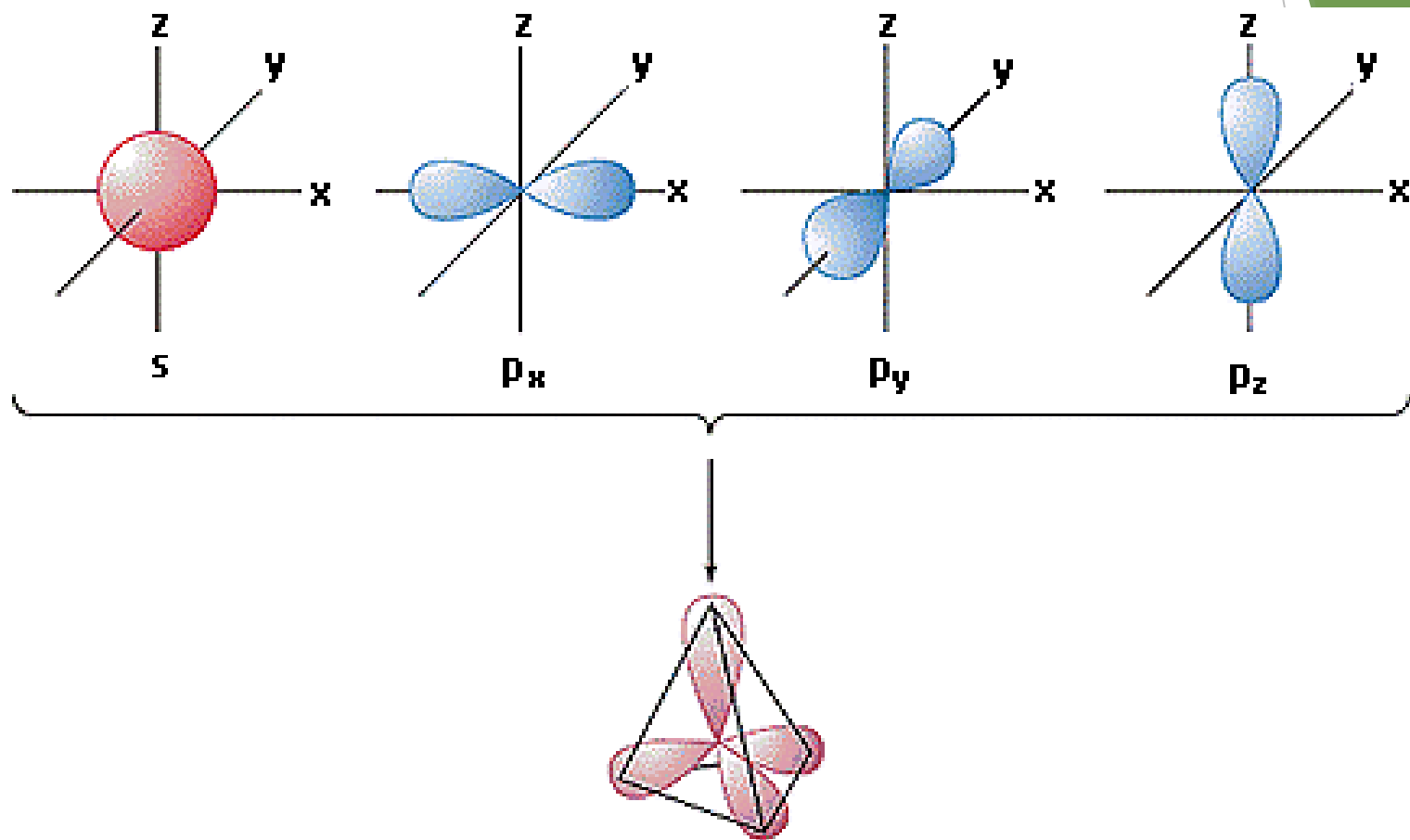
#### Ligação covalente



Elétrons / orbitais  
compartilhados

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

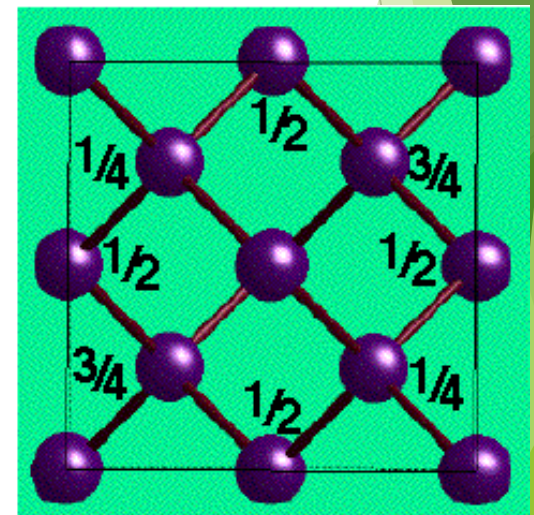
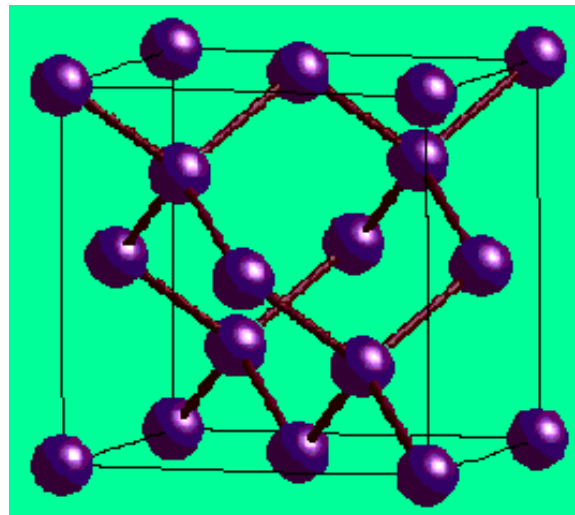
Formação dos orbitais híbridos  $sp^3$  do C no diamante:



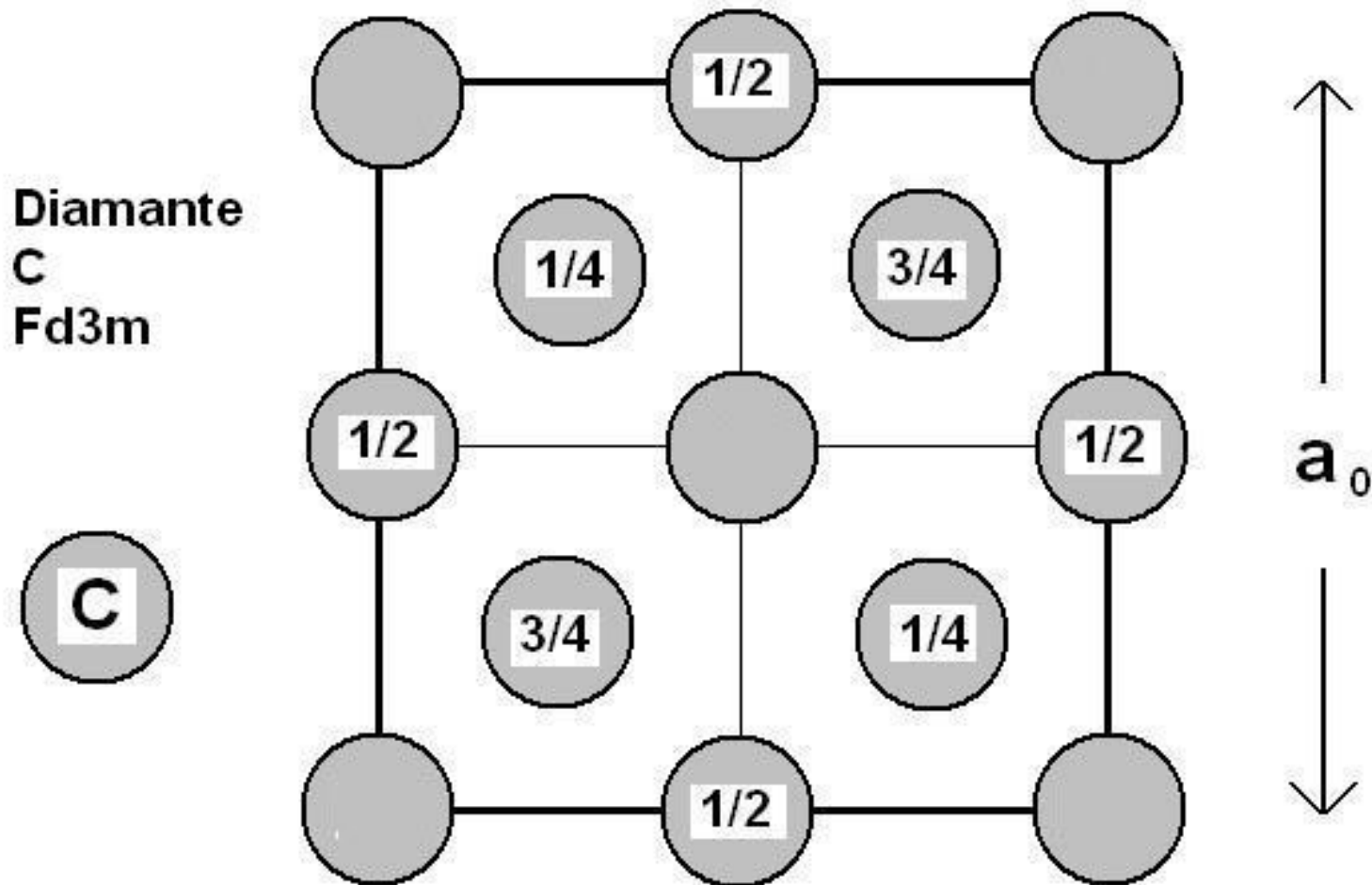
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

A ligação covalente do C no diamante se dá através dos orbitais híbridos  $sp^3$ , ou seja: é uma ligação direcional. Isto resulta em número de coordenação (N.C.) 4, com 4 átomos de C ao redor de cada C central, formando uma rede tridimensional fortemente unida (alta dureza, H = 10 - escala de Mohs).

Cela unitária do diamante: perspectiva e projeção em  $(001)_0$

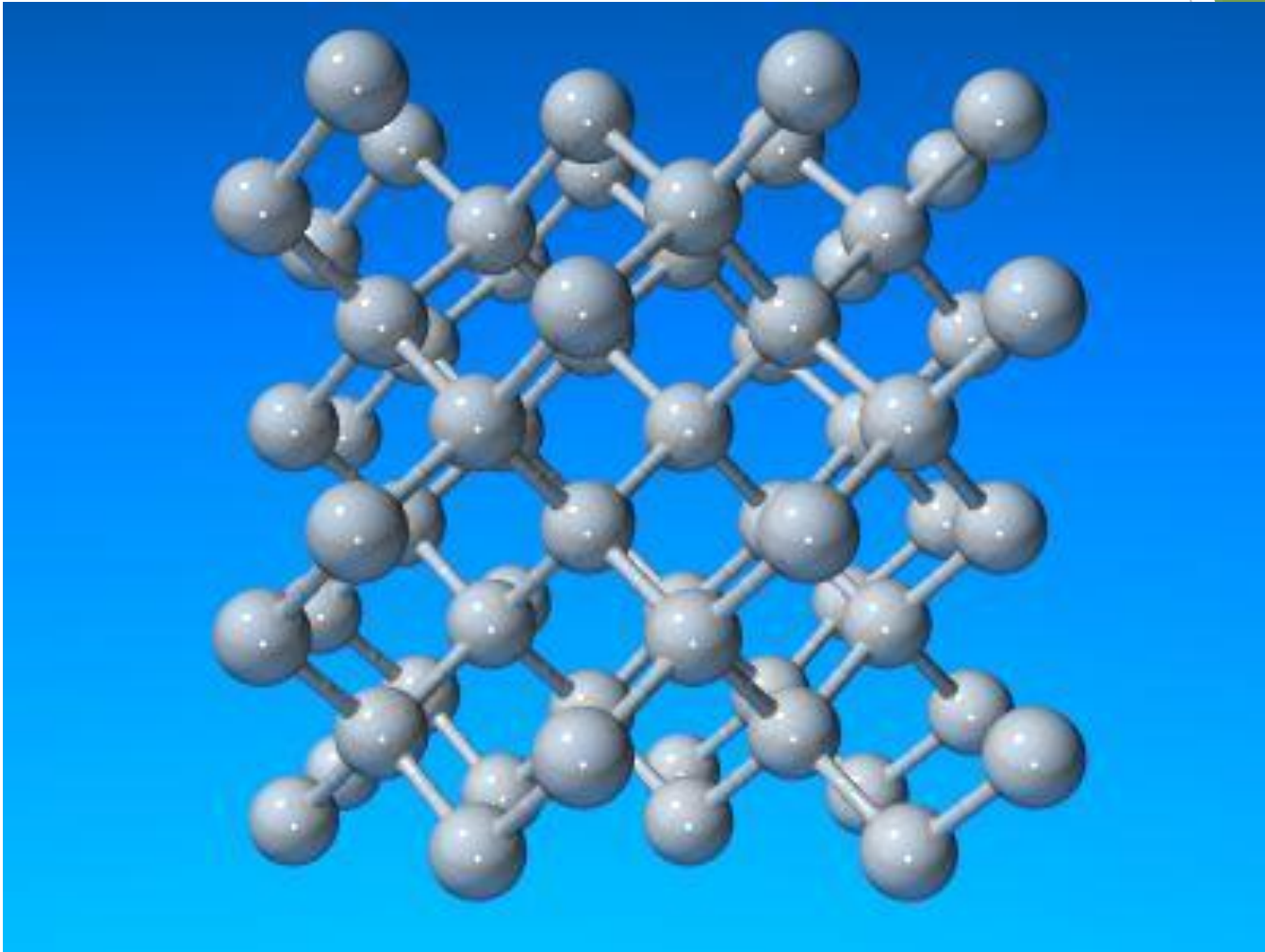


Projeção da cela unitária do diamante (C): grupo espacial  $Fd3m$ , com átomos de C em  $(0,0,0)$  e  $(1/4,1/4,1/4)$



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Retículo cristalino do diamante: modelo expandido



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

A configuração estrutural do diamante é adotada por outros compostos onde os elementos constituintes tem alta eletronegatividade e capacidade de formação de quatro orbitais híbridos  $sp^3$ , com coordenação tetraédrica.

Isto é especialmente válido para os elementos da coluna do C (IVA), e para combinações de elementos de colunas dispostas simetricamente à coluna IVA.

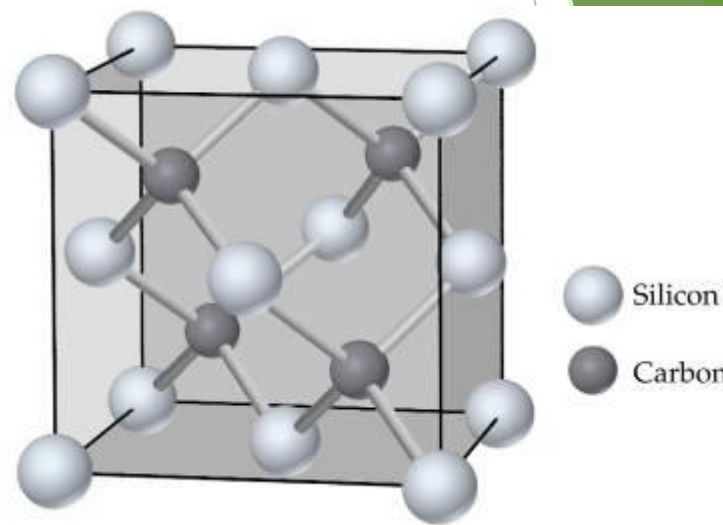
Exemplos: esfalerita -  $ZnS$ , carbetos de silício -  $SiC$ ,  $BN$ ,  $GaAs$ ,  $AlP$ ,  $ZnO$ , etc.

Parte destas substâncias é sintética (não tem equivalente natural), e se caracteriza por propriedades especiais, de grande interesse prático (ex: semicondutores).

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

A coluna IVA e a distribuição dos pares de colunas simétricas a ela; cela unitária do SiC (moissanita = carbeto de silício)

|    |    |  |    |    |    |    |    |
|----|----|--|----|----|----|----|----|
|    |    |  | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|    |    |  | B  | C  | N  | O  | F  |
|    |    |  | Al | Si | P  | S  | Cl |
| 11 | 12 |  | Ga | Ge | As | Se | Br |
| Cu | Zn |  | In | Sn | Sb | Te | I  |
| Ag | Cd |  | Tl | Pb | Bi | Po | At |
| Au | Hg |  |    |    |    |    |    |



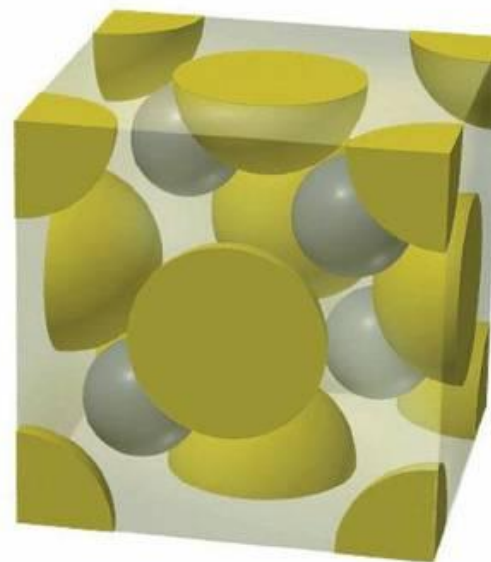
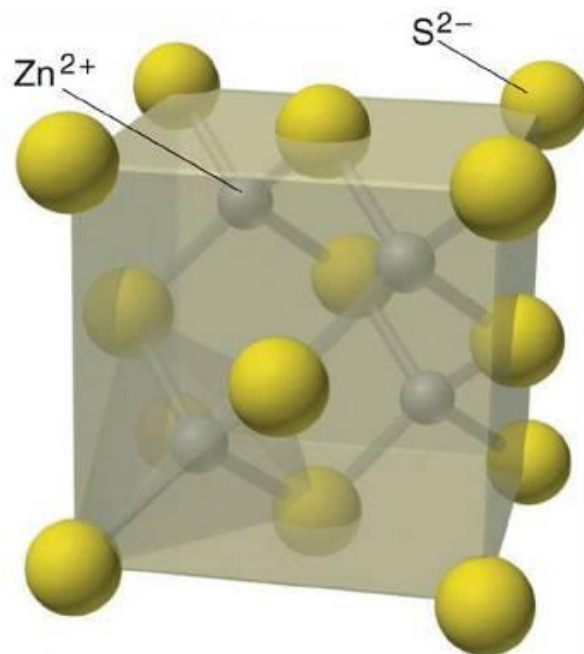
(Obs: Moissanita - mineral raro em meteoritos e xenólitos em kimberlitos)

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Esfalerita: Zn:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 = [\text{Ar}]3d^{10} 4s^2$

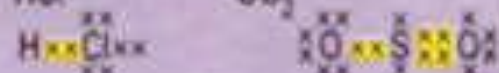
S:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 = [\text{He}] 3s^2 3p^4$

Os 8 elétrons ( $4s^2$  do Zn +  $3s^2 3p^4$  do S) são divididos igualmente entre os átomos, resultando em orbitais híbridos tipo  $sp^3$ .



|           | Características                                                 | Elementos   |                          |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|
| Iônica    | Transferência de elétrons                                       | Metal       | H<br>Semimetal<br>Ametal |
| Covalente | Compartilhamento de pares eletrônicos                           | Ametal<br>H | H<br>Semimetal<br>Ametal |
| Metálica  | Cátions de elementos metálicos envoltos em uma nuvem eletrônica | Metal       | Metal                    |

## LIGAÇÕES QUÍMICAS

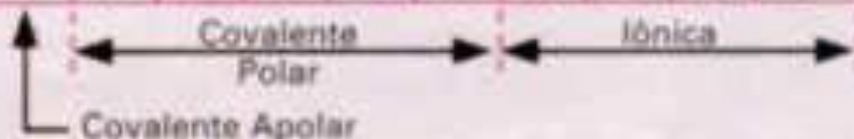
|                                                  | Iônica                                                                                  | Covalente                                                                                                      | Metálica                                          |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>Características</b>                           | Transferência de elétrons;<br>atração eletrostática                                     | Compartilhamento<br>de pares eletrônicos                                                                       | Cátions do metal cercados<br>por nuvem eletrônica |
| <b>Participantes</b>                             | Metal com } hidrogênio<br>ou semimetal<br>ou ametal                                     | Ametal<br>ou } com } hidrogênio<br>Hidrogênio } ou semimetal<br>ou ametal                                      | Metal com metal                                   |
| <b>Exemplos</b>                                  | NaCl      NaH<br>[Na] <sup>+</sup> [Cl] <sup>-</sup> [Na] <sup>+</sup> [H] <sup>-</sup> | HCl      SO <sub>2</sub><br> | Fe, Al, Cu, bronze, ...                           |
| <b>Estado físico na<br/>temperatura ambiente</b> | Sólidos                                                                                 | Sólidos, líquidos ou gases                                                                                     | Sólidos (exceção: Hg <sub>(l)</sub> )             |
| <b>Condutibilidade<br/>elétrica</b>              | Puros fundidos<br>ou em solução aquosa                                                  | Somente ácidos e amônia<br>em solução aquosa                                                                   | Sólidos                                           |

## CARÁTER IÔNICO DAS LIGAÇÕES QUÍMICAS

|                                        |   |     |     |     |     |     |     |     |     |       |
|----------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| <b>Diferença de eletronegatividade</b> | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 1,1 | 1,6 | 1,7 | 2,4 | 3,1 | 3,5*  |
| <b>Caráter iônico (%)</b>              | 0 | 0,5 | 1   | 10  | 25  | 47  | 51  | 75  | 90  | 100** |

\*Valor extrapolado.

\*\*Não existem compostos  
com ligação 100% iônica.



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Propriedades das substâncias cristalinas com ligação covalente:

- Alta dureza (H). No diamante:  $H = 10$ .
- Alta fragilidade
- Isolantes elétricos no estado sólido e quando fundidos;
- Alto ponto de fusão;
- Baixo coeficiente de expansão térmica;
- Solubilidade muito baixa;
- Baixo número de coordenação; geralmente, baixa simetria;

## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

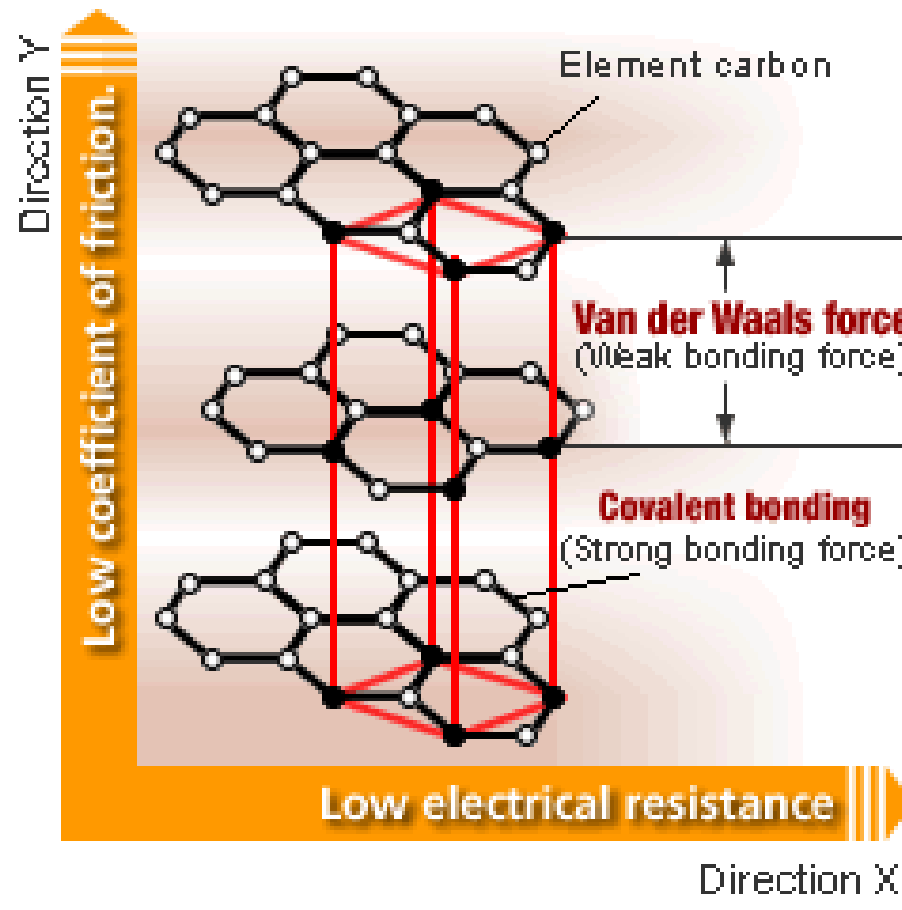
Estrutura da grafita: ao invés dos 4 orbitais híbridos  $sp^3$ , formam-se três orbitais híbridos  $sp^2$  (1/3 caráter  $s$ , 2/3 caráter  $p$ ), em arranjo triangular-planar, a  $120^\circ$  um do outro, e permanece um orbital  $p$  perpendicular a eles.

As ligações entre os orbitais  $sp^2$  são covalentes (ligações tipo  $\sigma$ ), e definem uma rede hexagonal extensa de átomos de C; estas redes são ligadas fracamente entre si através das cargas residuais (van der Waals) dos orbitais  $p$  (ligações tipo  $\pi$ ), que formam nuvens de elétrons entre as folhas de C hexagonais.

Por isso a baixa dureza da grafita ( $H = 1$ ), seu hábito lamelar e boa clivagem  $\{0001\}$ , simetria hexagonal e alta condutibilidade elétrica na direção paralela às folhas de C.

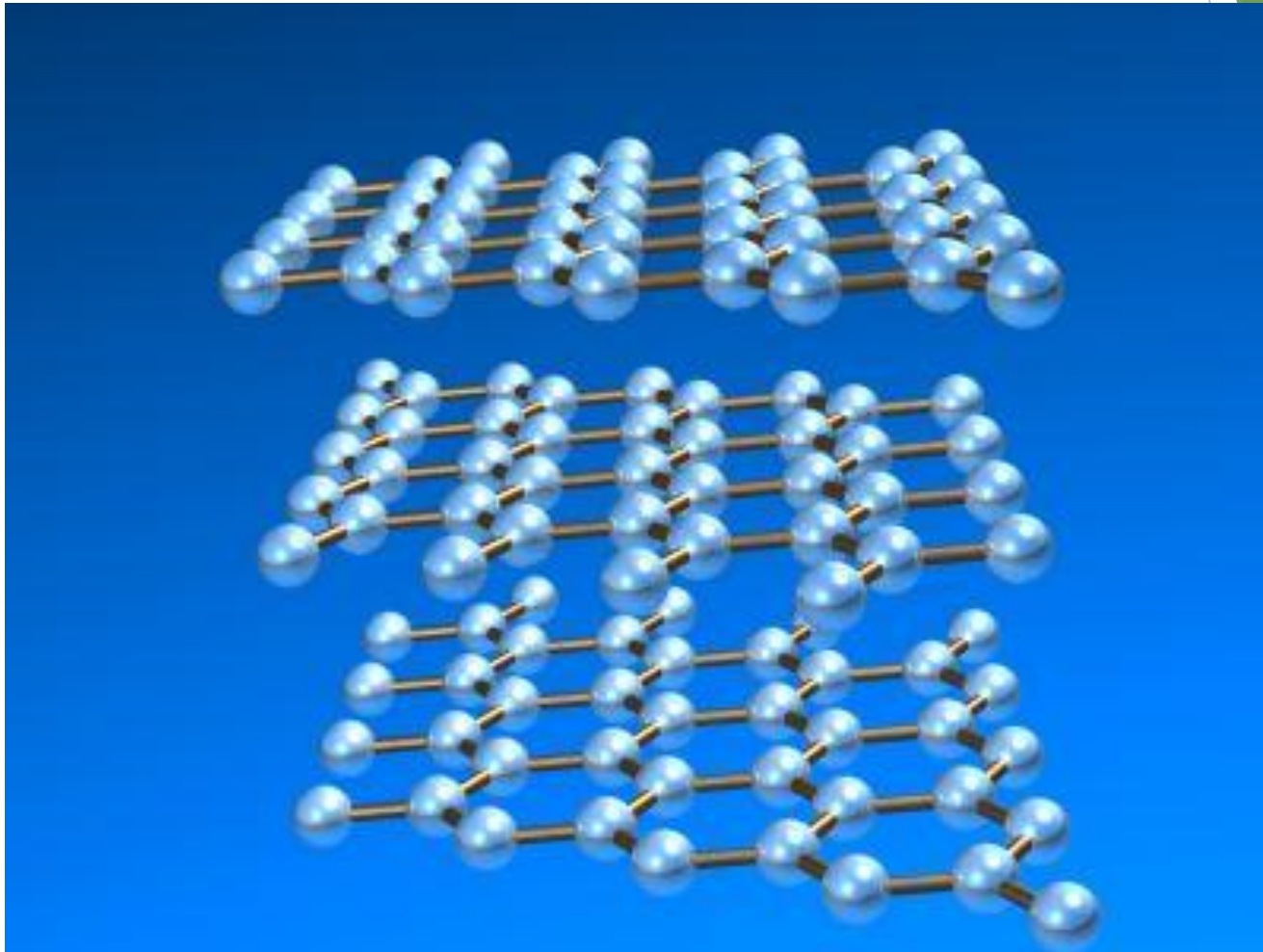
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Propriedades físicas da grafita em função de sua estrutura cristalina:



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

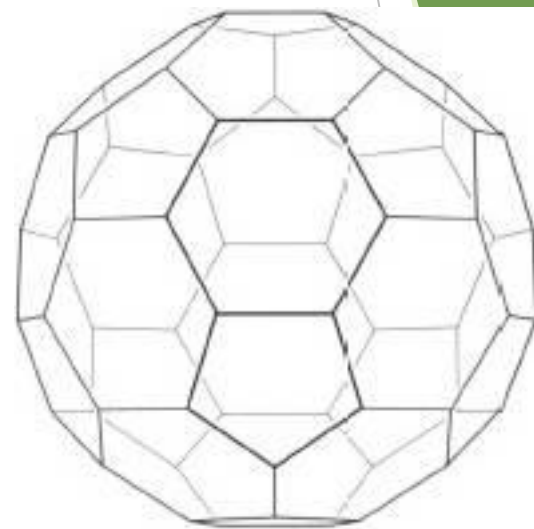
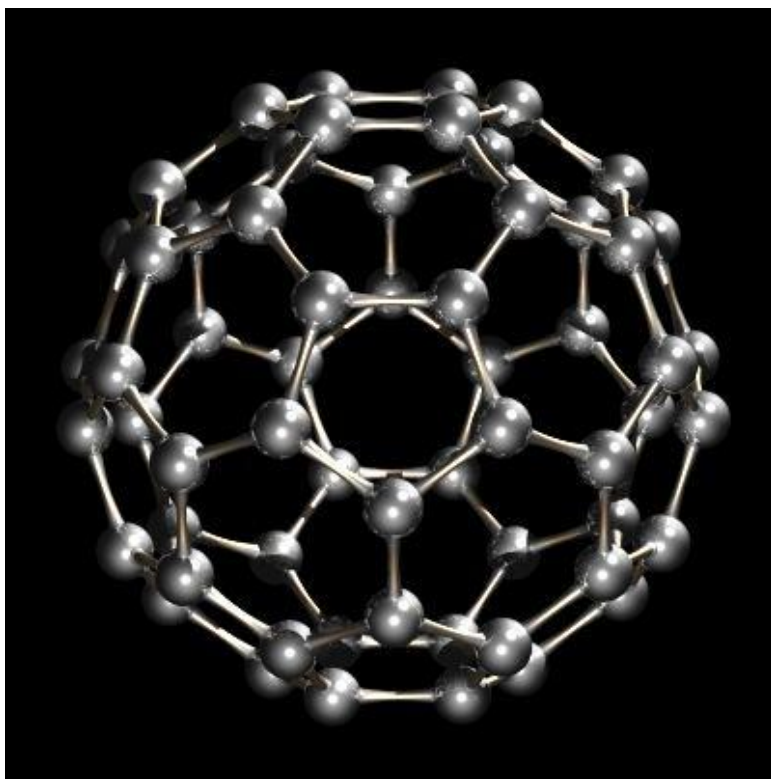
Retículo cristalino da grafita - vista panorâmica



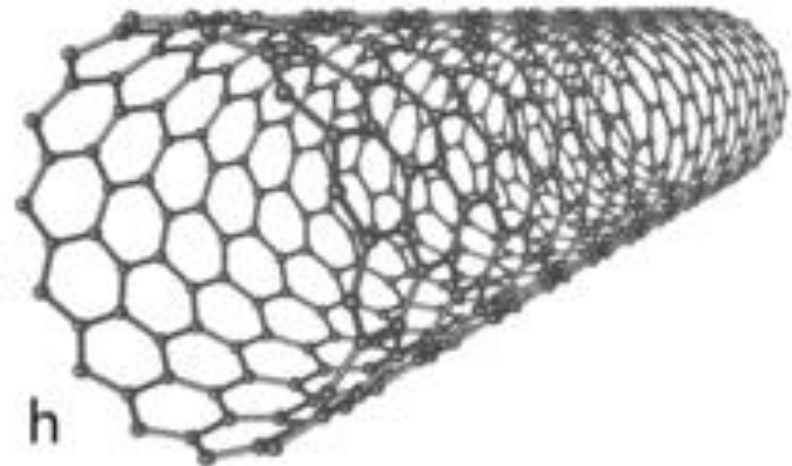
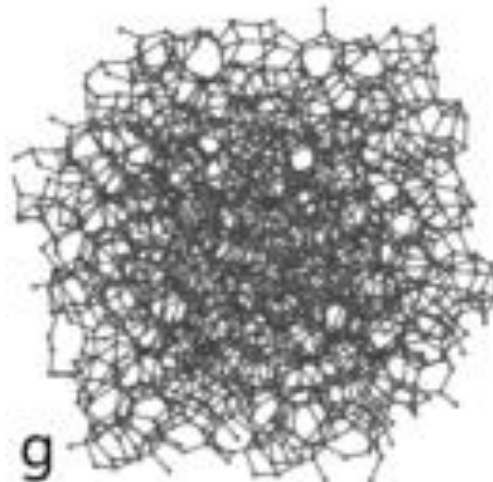
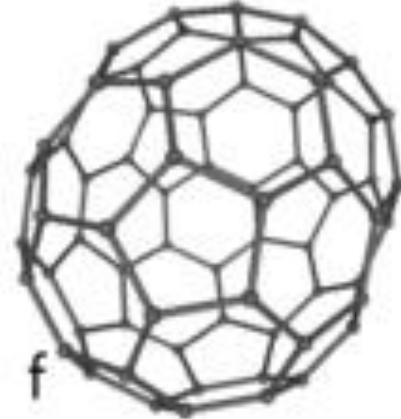
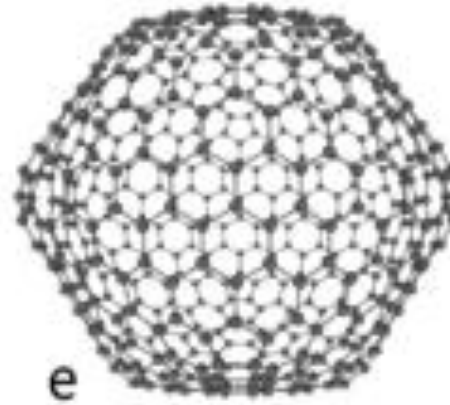
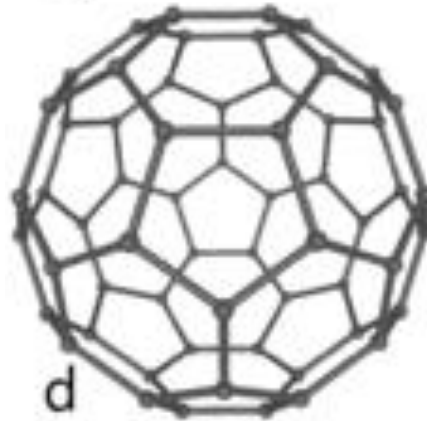
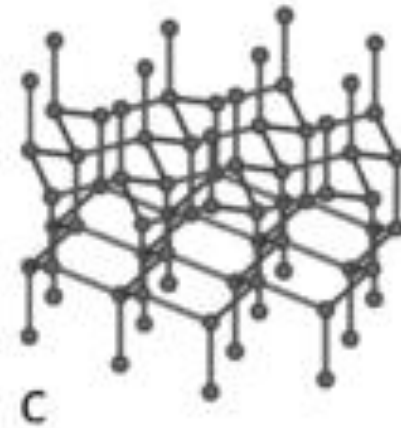
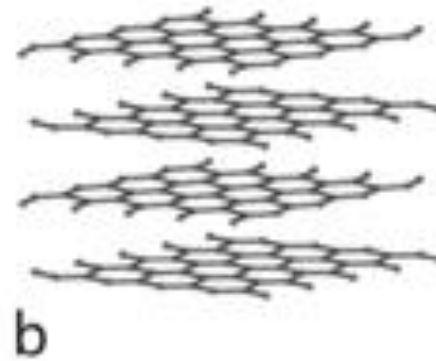
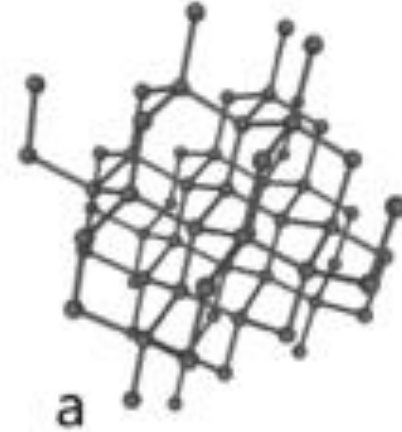
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Outra forma cristalina do C: fulerenos, ou “buckyballs” -  $C_{60}$

Obs: não formam retículos contínuos!



C - formas alotrópicas  
(polimorfos)



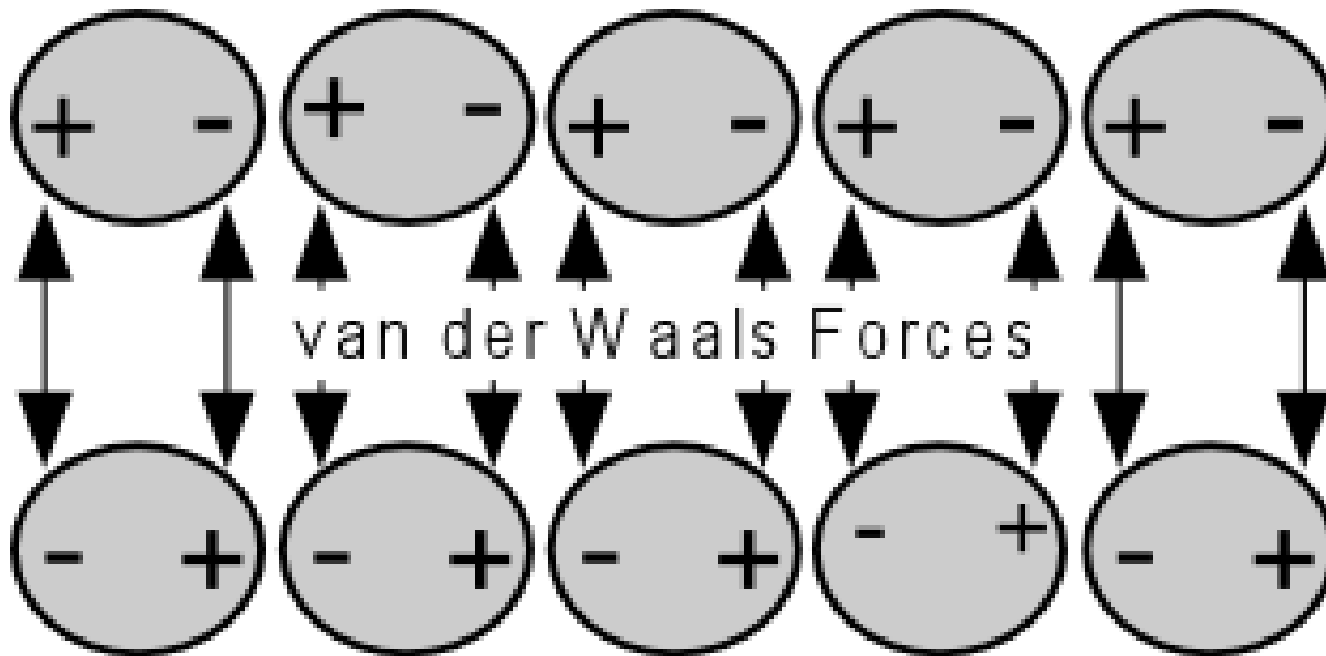
**Cristais moleculares: as partículas ordenadas no retículo cristalino são moléculas.**

**Molécula: “confraria” ou agrupamento de átomos onde as ligações internas entre eles são mais fortes (covalentes) do que com qualquer outra partícula externa (van der Waals, pontes de hidrogênio).**

**As ligações entre as moléculas são fracas, do tipo van der Waals ou pontes de hidrogênio (residuais). Por isso, cristais moleculares tem baixo ponto de fusão, alto coeficiente de expansão térmica, alta pressão de vapor, baixa resistência mecânica (dureza), baixa condutibilidade elétrica.**

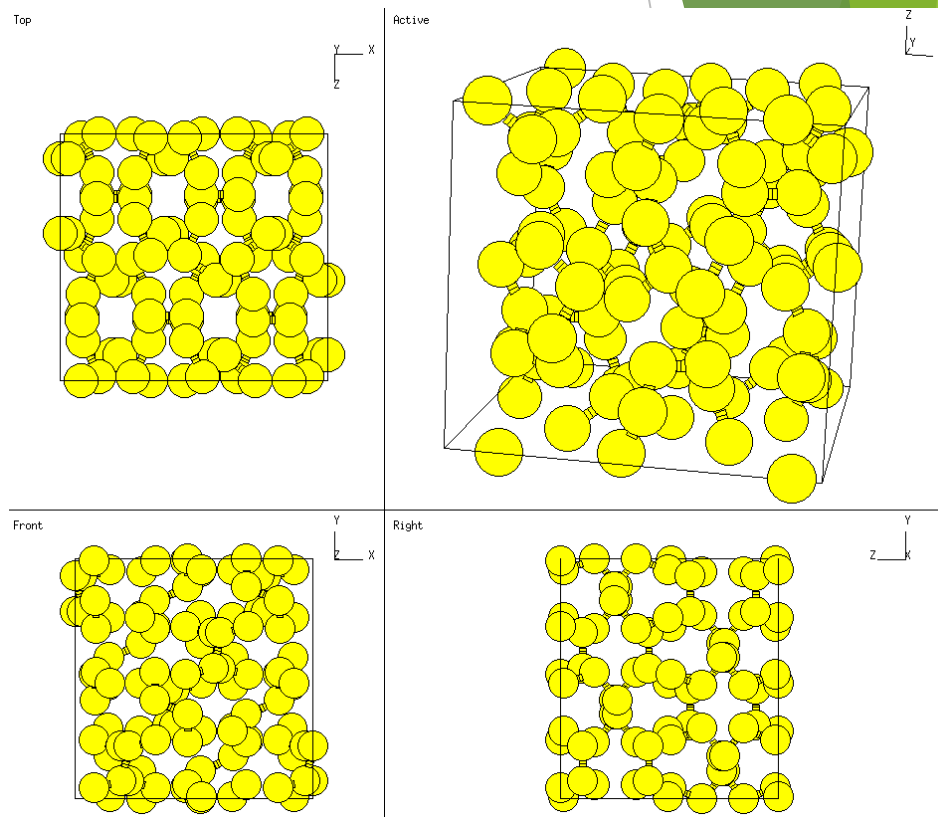
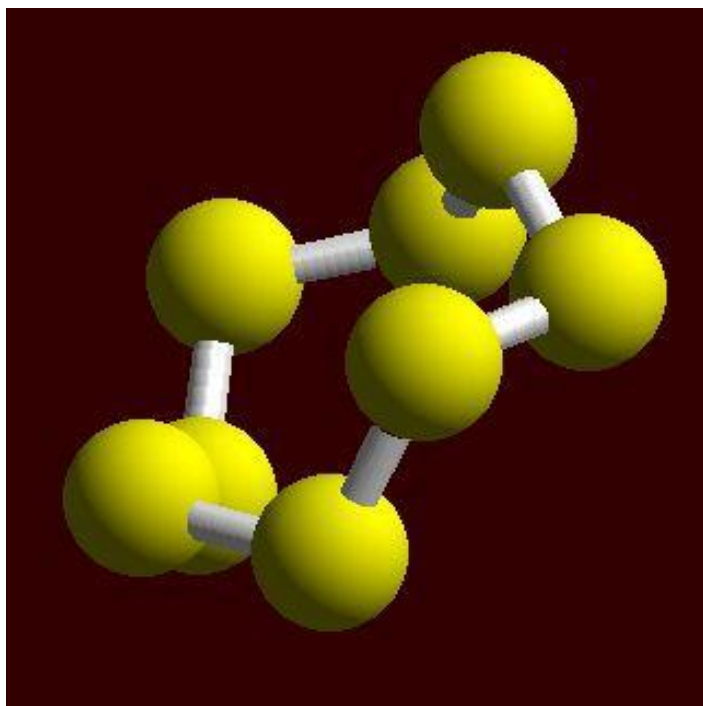
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Ligação tipo van der Waals: atração entre cargas residuais fracas na superfície de moléculas



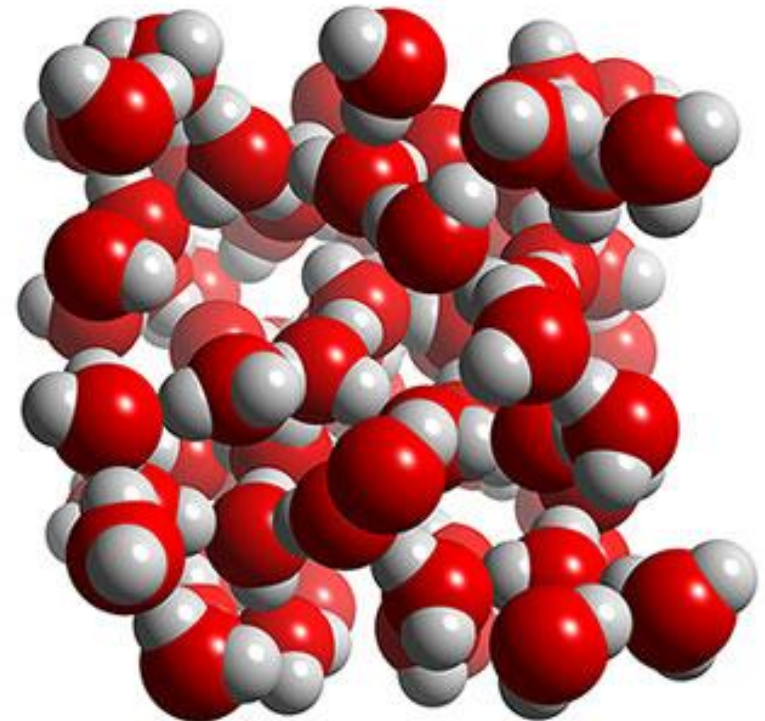
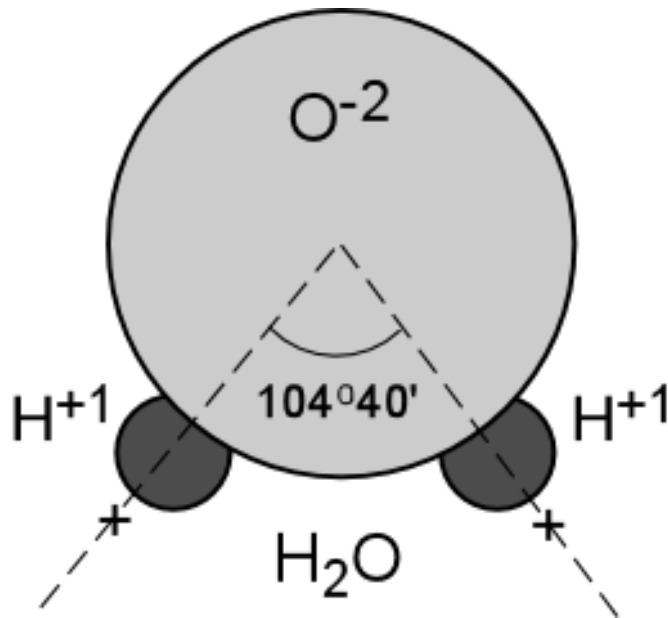
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Enxofre nativo: unidade fundamental com ligação interna covalente (anéis  $S_8$ ) e estrutura formada pela ligação residual entre os anéis.



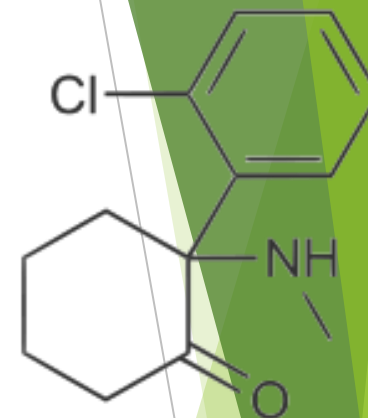
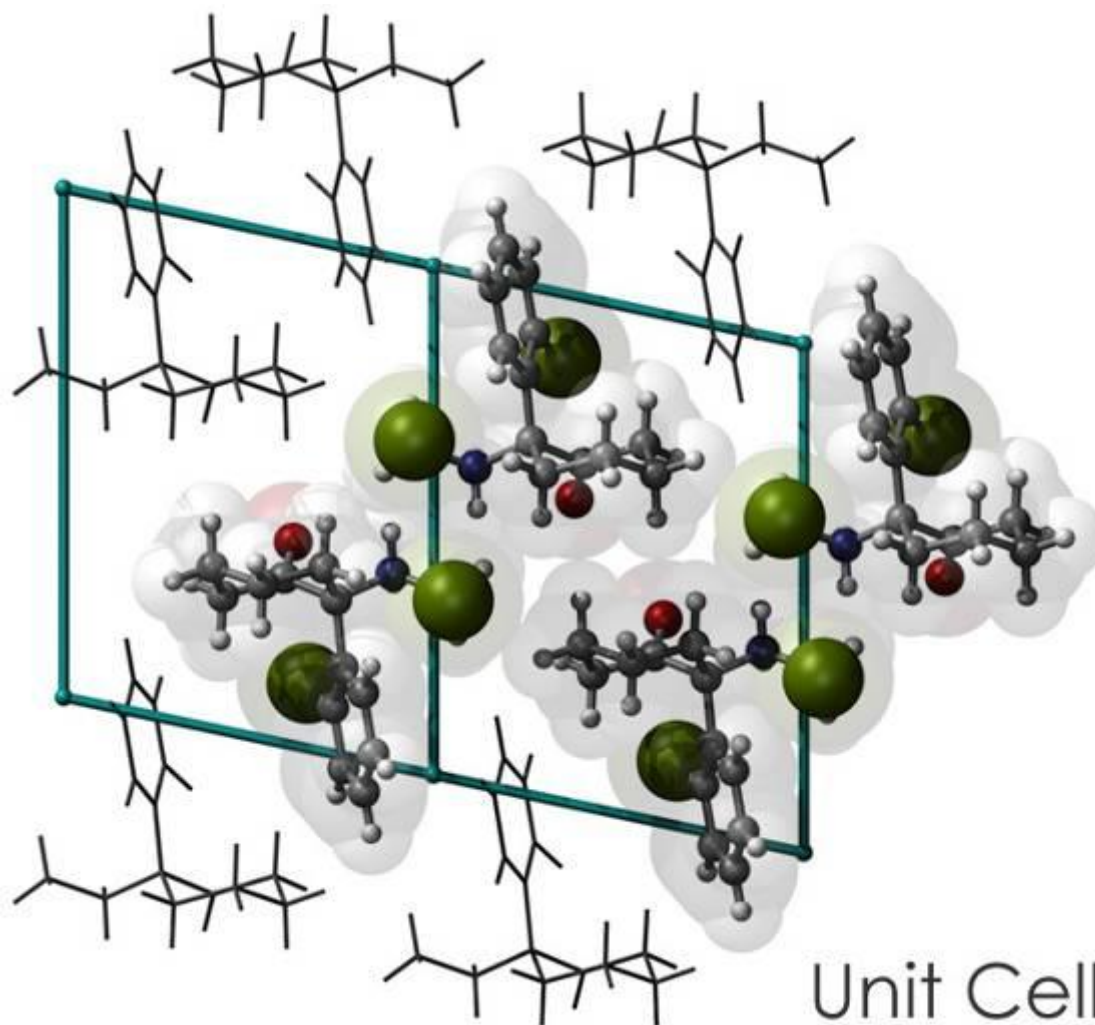
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Gelo: molécula  $\text{H}_2\text{O}$  (polar) e estrutura. As moléculas de água formam dipolos, onde a atração ocorre entre as pontas negativa e positivamente carregadas (núcleos expostos de H), formando as pontes de hidrogênio.



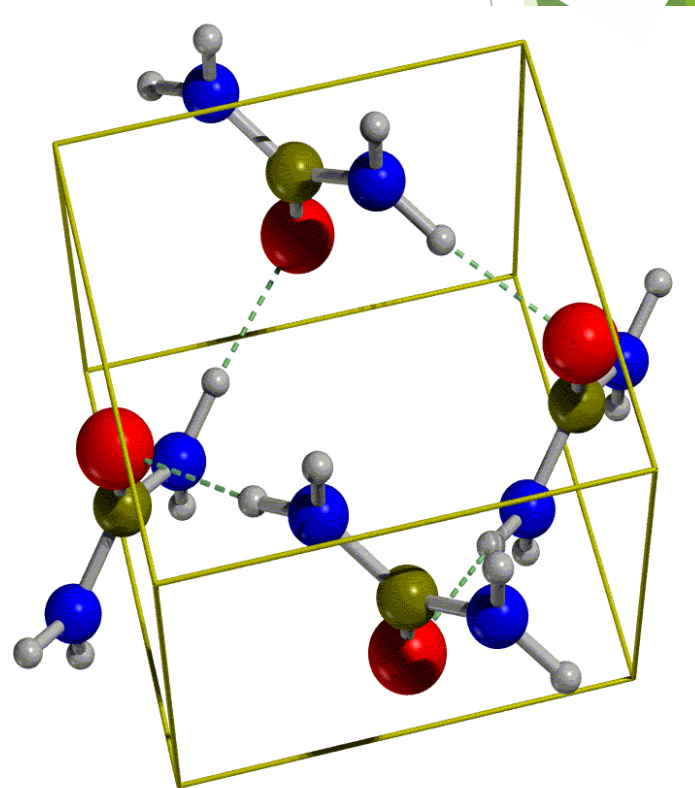
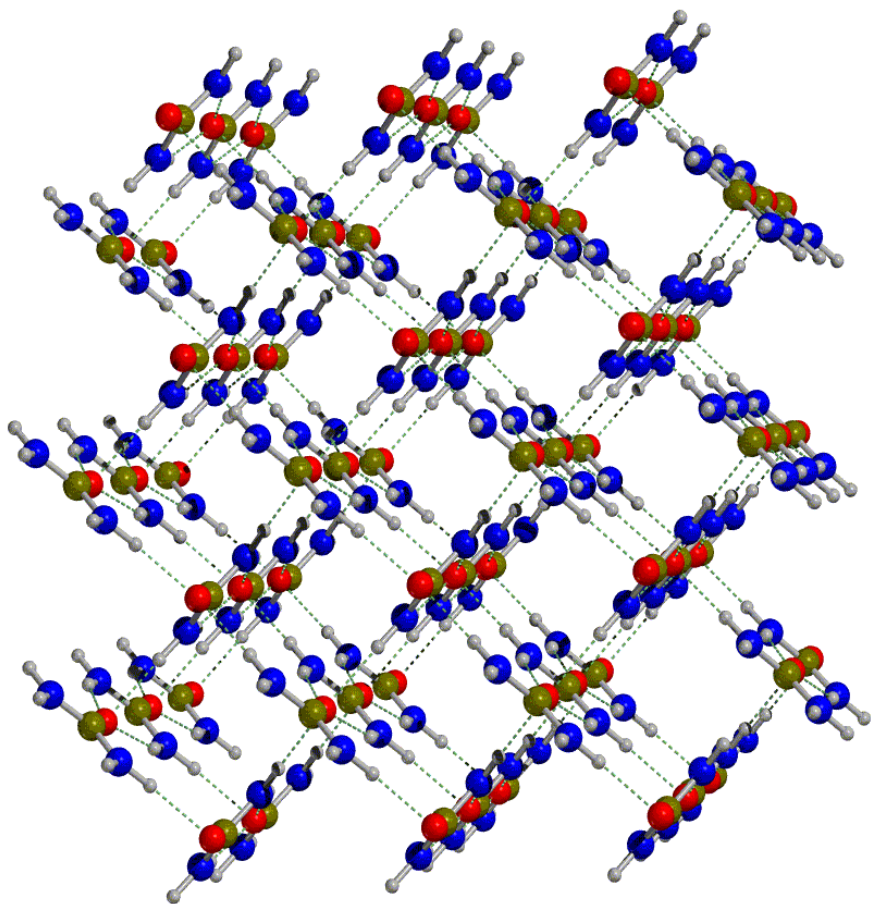
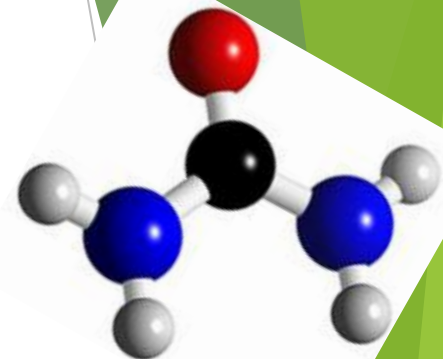
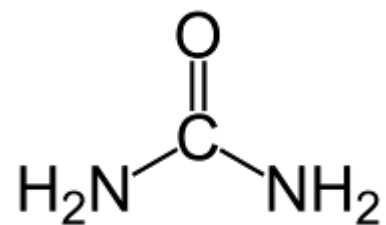
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Cristais moleculares: ketamina (ou cetamina) -  $C_{13}H_{16}NClO$



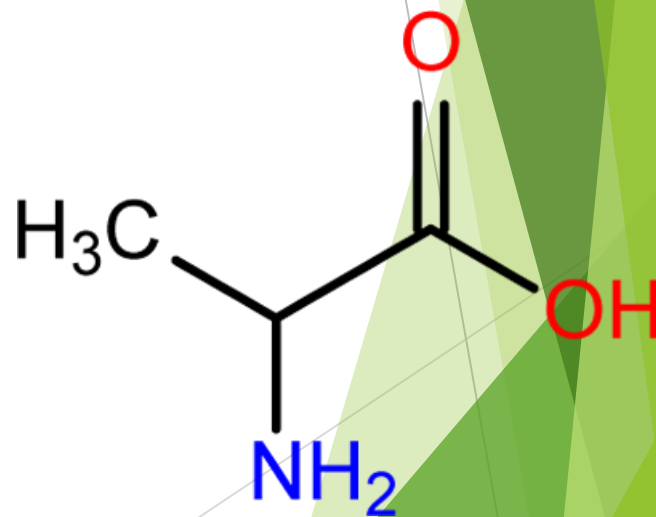
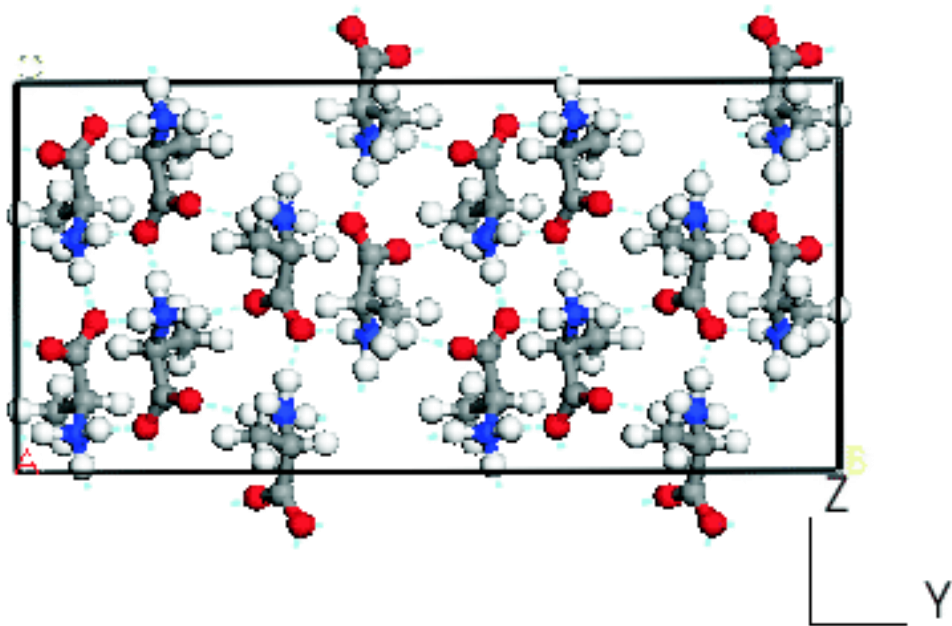
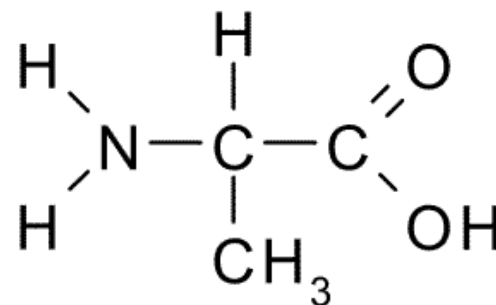
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Ureia:  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Alanina:  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$



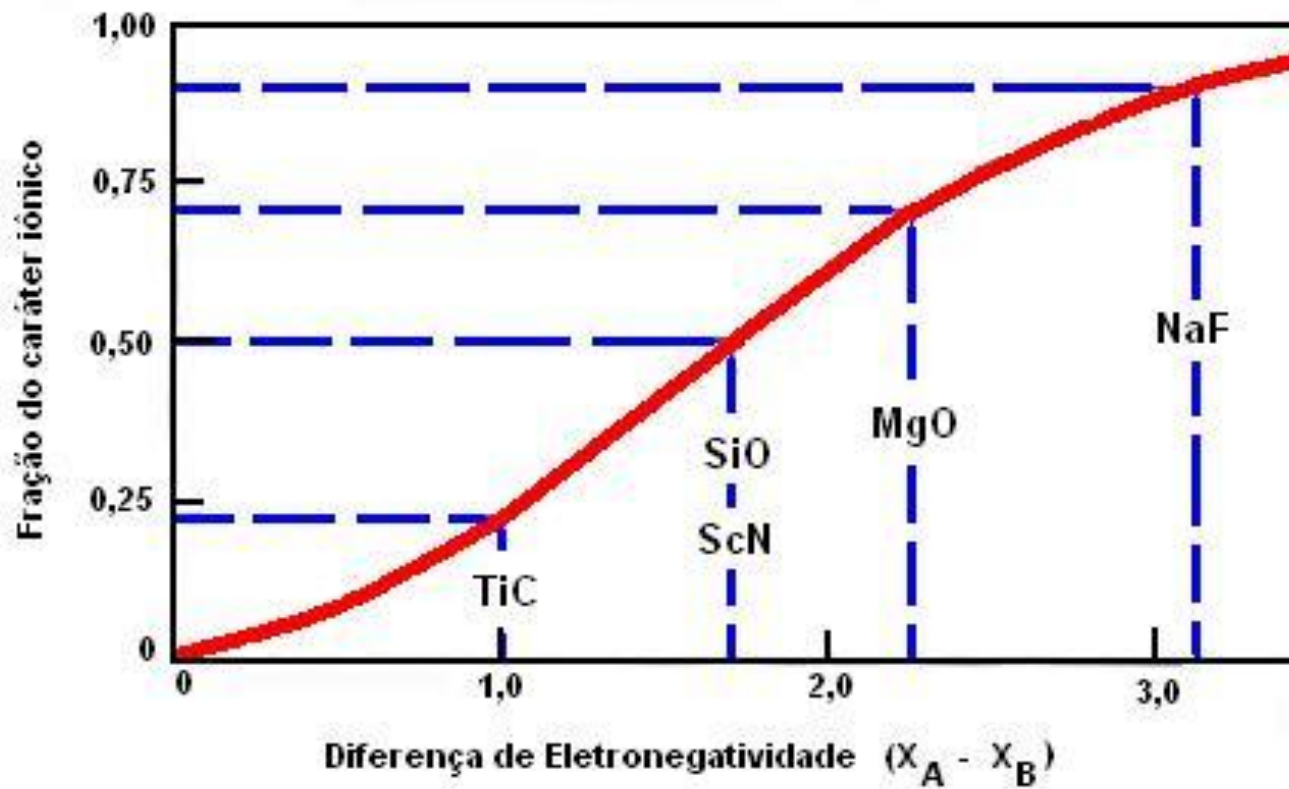
**Cristais iônicos: constituídos por cátions (carga (+), tamanho <) e ânions (carga (-), tamanho >), mantidos no retículo cristalino por forças de atração eletrostáticas, não-direcionais.**

**O caráter iônico da ligação depende da diferença de eletronegatividade ( $\Delta E$ ) entre o cátion e ânion envolvidos: quanto maior a diferença, mais forte é o caráter iônico. Assim, as ligações com caráter iônico mais realçado ocorrerão entre os metais alcalinos da coluna IA (Li, Na, K, Rb, Cs) e os halogêneos da coluna VIIA (F, Cl, Br, I).**

**Em minerais, as ligações químicas via de regra apresentam considerável componente iônico, com variável contribuição covalente. A importante ligação Si - O, por exemplo, é considerada 50% iônica e 50% covalente.**

## GMG-106 – Cristalografia Fundamental

Estimativa do caráter iônico:  $\Delta E$  x fração iônica da ligação



## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

**Cristais iônicos:** as estruturas cristalinas podem ser discutidas através das Regras de Pauling, que discutem o empacotamento de ânions (esferas grandes, carga negativa) e cátions (esferas menores, carga positiva).

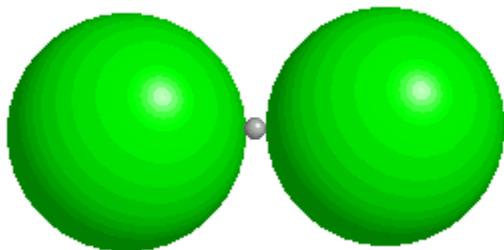
Em torno de cada cátion, irão agrupar-se tantos ânions quantos puderem tangenciá-lo; o Número de Coordenação (N.C.) entre eles será função da diferença de tamanho, definida através da razão de raios ( $R_A/R_X$  - raio do cátion / raio do ânion). Quanto maior a diferença de tamanho, menor será o número de ânions que conseguirá tangenciar o cátion central;

Os ânions em torno do cátion irão definir um poliedro de coordenação, de forma geométrica característica.

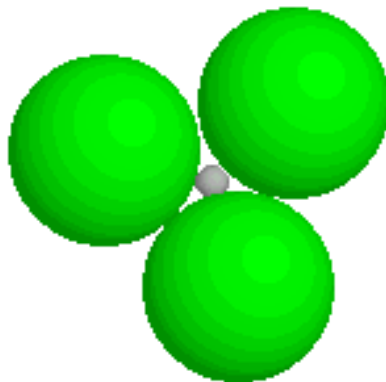
## GMG-106 - Cristalografia Fundamental

Exemplos de poliedros de coordenação:

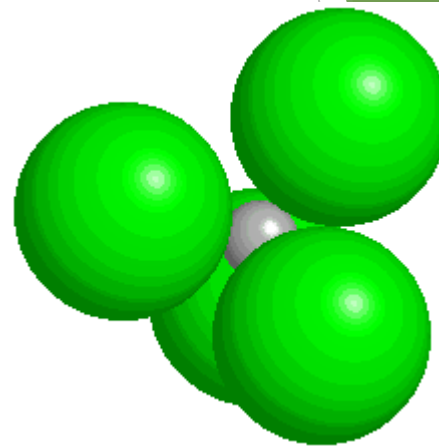
NC = 2



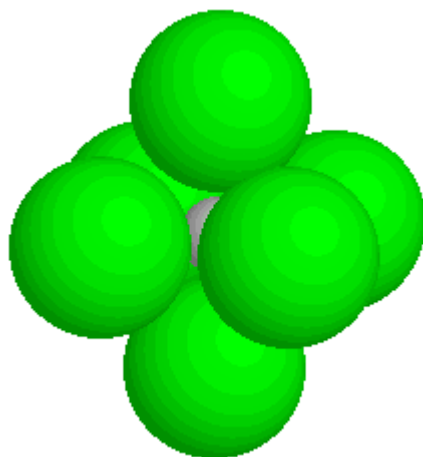
NC = 3



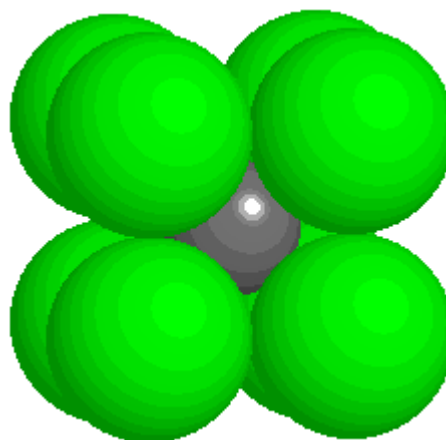
NC = 4



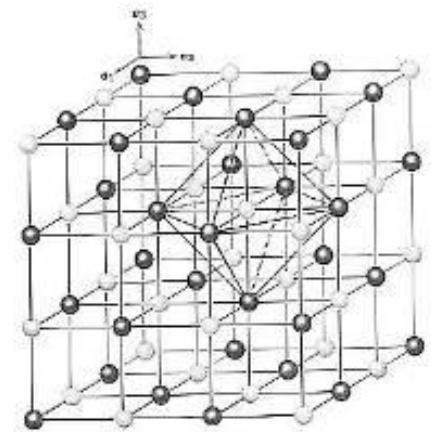
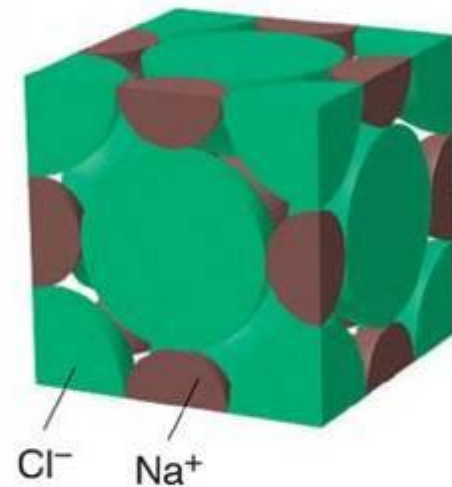
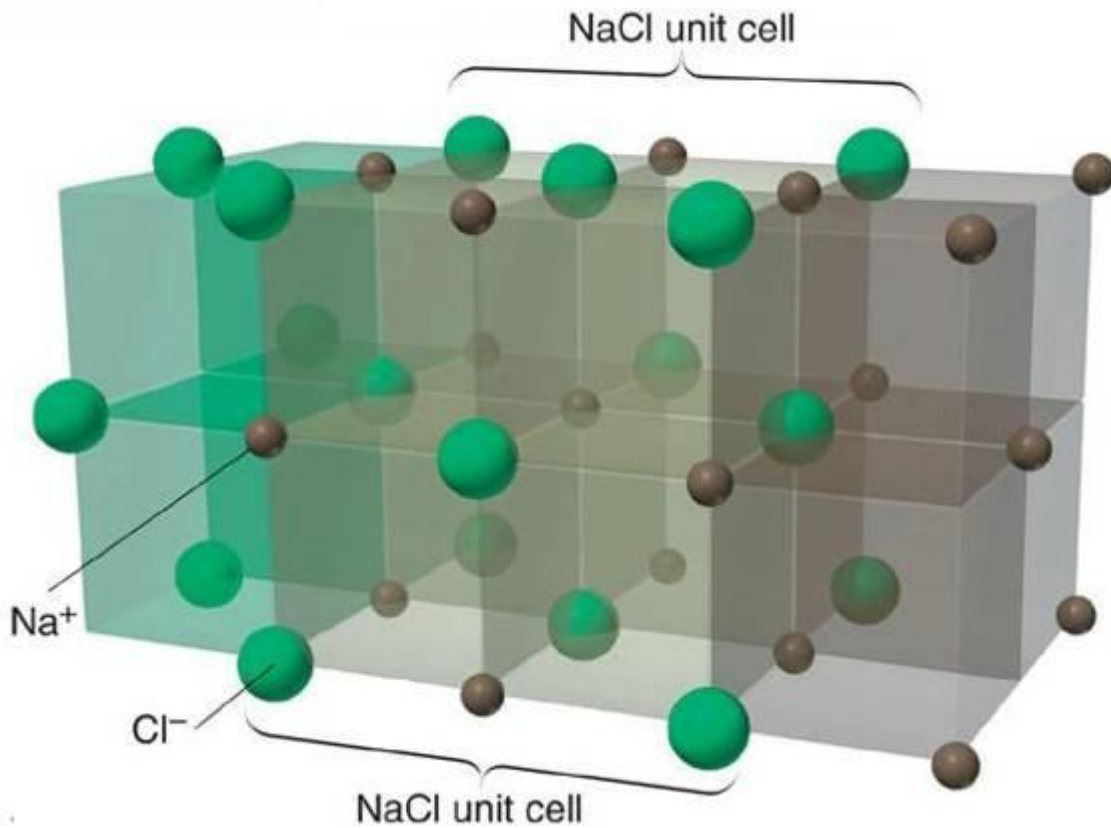
NC = 6



NC=8



Exemplo de cristal iônico: NaCl - Na entre 6 ânions Cl ( $NC = 6$ )



**Cristais Iônicos: ligação entre as partículas constituintes (íons: cátions e ânions) predominantemente iônica.**

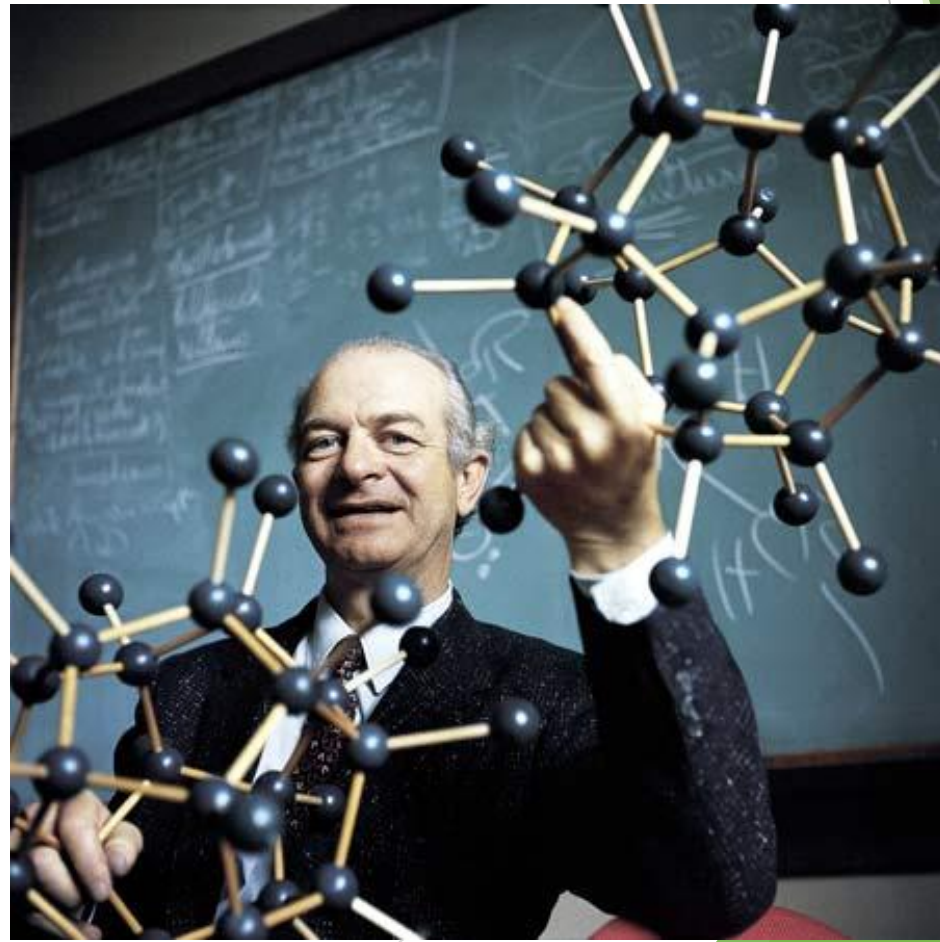
**Ligação iônica: atração eletrostática entre cátions (tamanho menor, carga positiva) e ânions (tamanho maior, carga negativa). É uma ligação não-direcional, que se desenvolve caracteristicamente entre elementos com grande diferença de eletronegatividade.**

**Exemplos típicos: elementos da coluna IA (metais alcalinos) ou IIA (metais alcalinos terrosos) como cátions e elementos das colunas VIIA (halogêneos) ou VIA como ânions – NaCl, KCl, CsCl, CaF<sub>2</sub>, CdI<sub>2</sub>, CdCl<sub>2</sub>, etc.**

**As estruturas dos cristais com forte caráter iônico podem ser descritas com boa aproximação através das**

**Regras de Pauling,**

**elaboradas pelo químico Linus Pauling (1901 – 1994), prêmio Nobel de Química em 1954 e da Paz em 1962.**



**Estas regras funcionam melhor para retículos cristalinos com amplo predomínio da ligação iônica, mas podem ser utilizadas, com as devidas precauções, também para retículos cristalinos com ligações intermediárias entre iônicas e covalentes (exemplo: silicatos).**

**De maneira simplista, cátions e ânions são considerados como esferas rígidas de tamanho variável, com seu tamanho proporcional ao raio iônico de cada um. Estas esferas podem ser empacotadas, tangenciando-se em padrões os mais simétricos e mais compactos possíveis.**

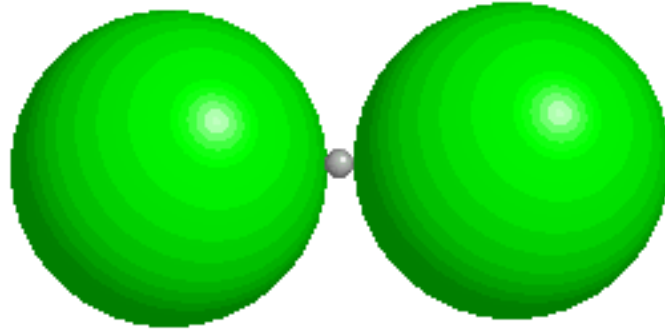
## 1ª Regra de Pauling:

**“Um poliedro de coordenação de ânions se forma ao redor de cada cátion, com a distância ânion-cátion equivalente à soma de seus raios de empacotamento característicos, e a razão de seus raios (raio do cátion / raio do ânion –  $R_A/R_X$ ) determina a natureza deste poliedro de coordenação e, conseqüentemente, seu número de coordenação”.**

**Ou seja: quando a diferença de tamanho entre cátion e ânion é grande (cátion muito pequeno, ânion grande), o número de ânions que poderá coordenar o cátion central será reduzido; quanto menor a diferença de tamanho, maior será o número de coordenação (NC - número de ânions tangenciando o cátion).**

Quando  $R_A/R_X < 0,15$ :

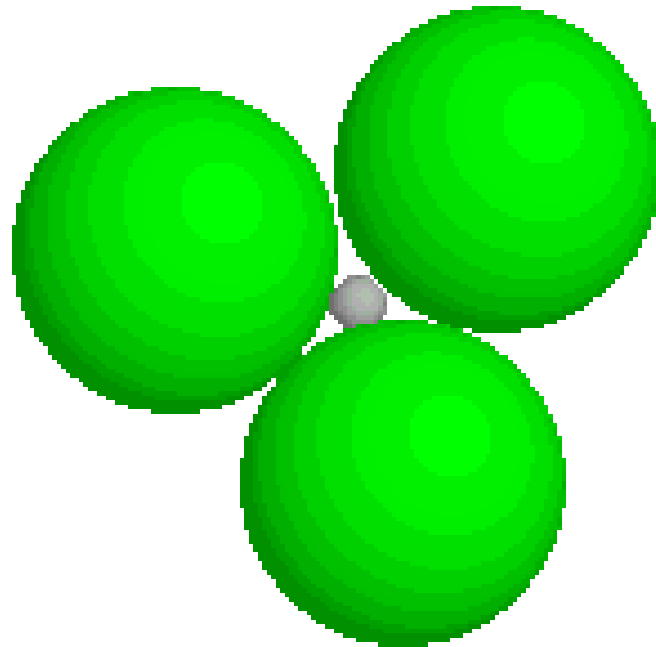
NC = 2



Quando  $0,15 < R_A/R_X < 0,22$ :

NC = 3

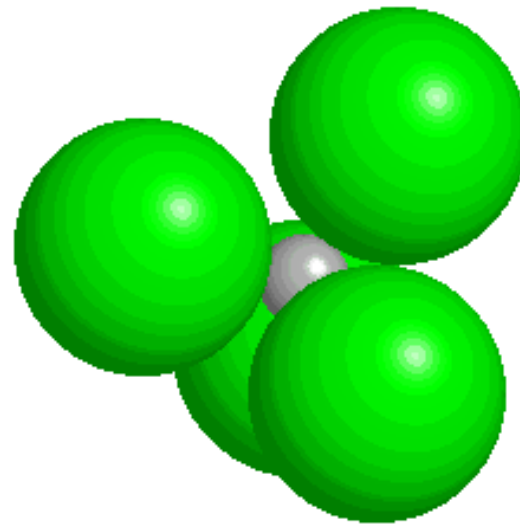
Poliedro: triângulo plano



**Quando  $0,22 < R_A/R_X < 0,41$ :**

**NC = 4**

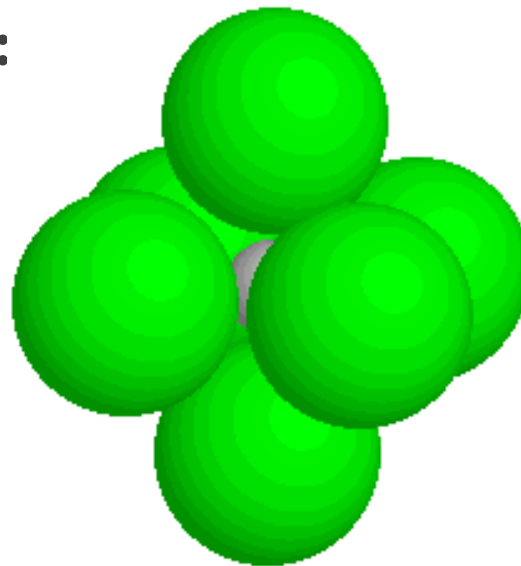
**Poliedro: tetraedro**



**Quando  $0,41 < R_A/R_X < 0,73$ :**

**NC = 6**

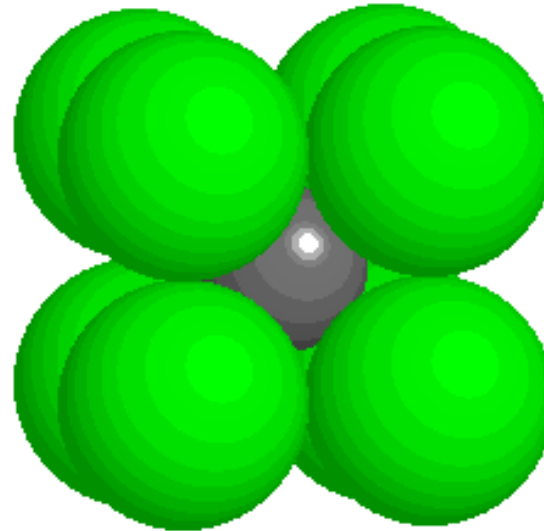
**Poliedro: octaedro**



**Quando  $0,73 < R_A/R_X < 1,00$ :**

**NC = 8**

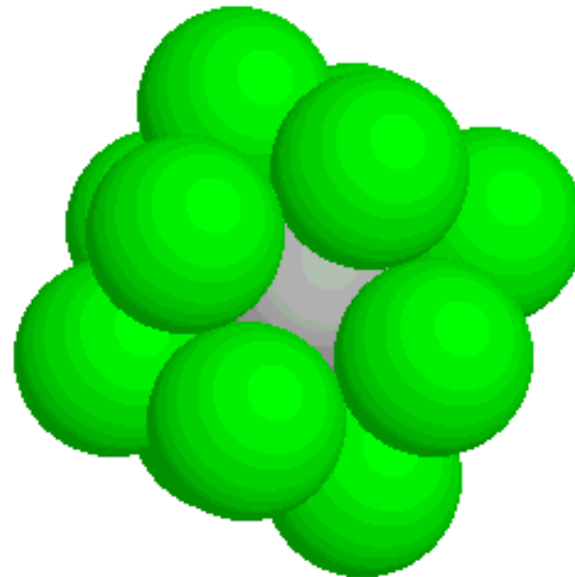
**Poliedro: cubo**



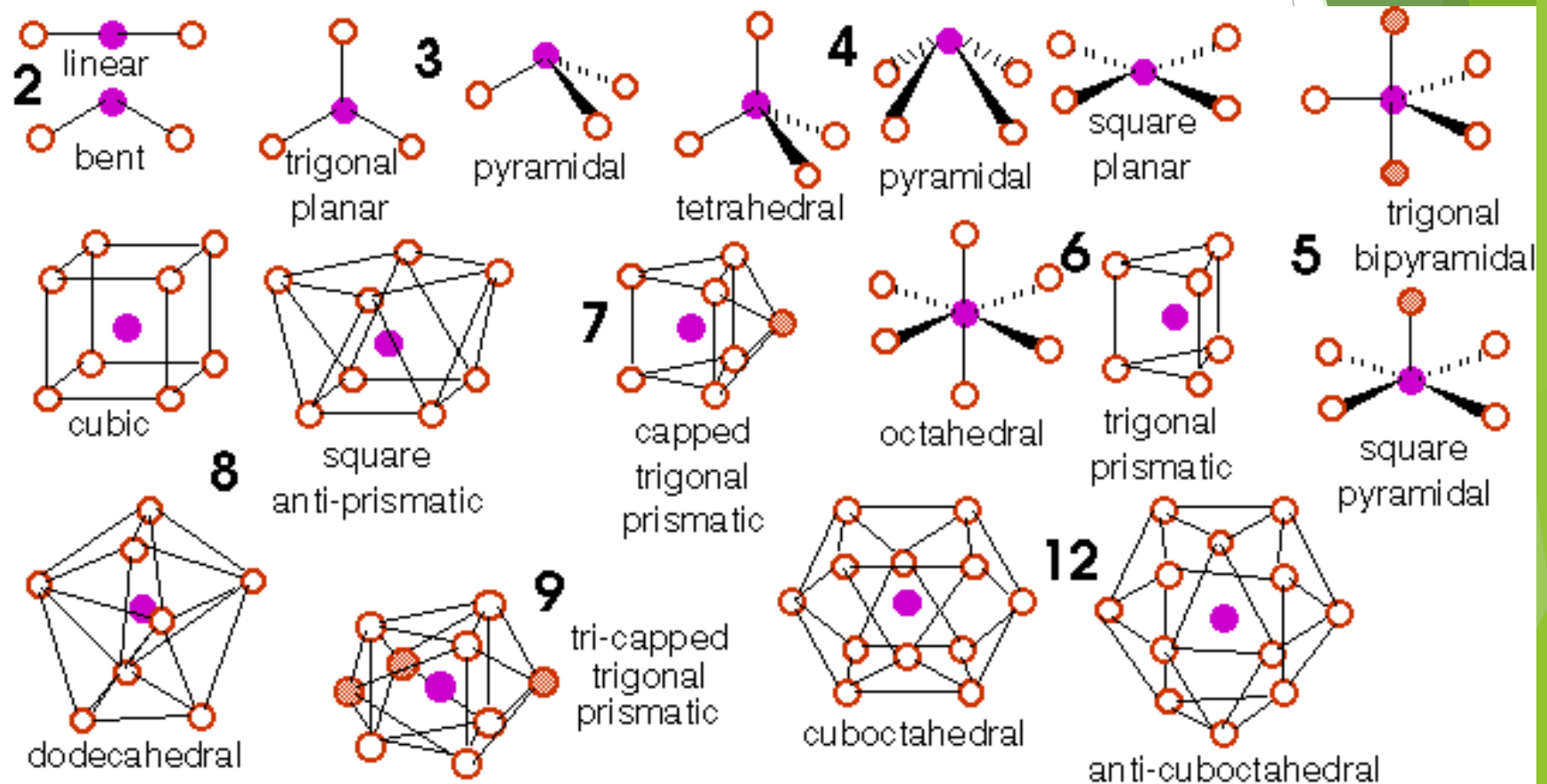
**Quando  $R_A/R_X \simeq 1,00$ :**

**NC = 12**

**Poliedro: cuboctaedro**



Estes são os poliedros regulares, presentes em estruturas iônicas simples: em estruturas mais complexas, pode ocorrer uma variedade maior de poliedros:



## 2ª Regra de Pauling – princípio da valência eletrostática (v.e.):

**“Em uma estrutura cristalina estável, a força total das ligações de valência que chegam a um ânion de todos os cátions vizinhos é igual à carga do ânion - e vice-versa”.**

**Ou seja: a carga de um determinado íon deve ser totalmente neutralizada pelos íons de carga oposta que o coordenam (cátion pelos ânions, ânion pelos cátions). Isto resulta na neutralidade eletrônica do retículo como um todo.**

**Esta regra explica a existência dos radicais aniônicos, que são unidades destacadas, com uma “forte personalidade própria” nos retículos cristalinos.**

**Exemplos:  $[\text{CO}_3]^{2-}$ ,  $[\text{NO}_3]^{1-}$ ,  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ,  $[\text{SO}_4]^{2-}$ ,  $[\text{WO}_4]^{2-}$ , etc**

**Exemplo: NaCl:  $R_{\text{Na}^{1+}} = 0,97\text{\AA}$  ,  $R_{\text{Cl}^{1-}} = 1,81\text{\AA}$**

**$R_{\text{Na}^{1+}} / R_{\text{Cl}^{1-}} = 0,54$ , logo:  $\text{NC} = 6$ , o poliedro é octaédrico**

**Em torno de cada  $\text{Na}^{1+}$  haverá 6  $\text{Cl}^{1-}$ , sendo que cada um gastará  $1/6$  de sua carga para neutralizar a carga do cátion central;**

**De modo similar, cada  $\text{Cl}^{1-}$  será coordenado por 6  $\text{Na}^{1+}$ , onde cada qual gastará  $1/6$  de sua carga para neutralizar a carga do ânion central.**

**Na estrutura do NaCl, todas as ligações são de mesma intensidade: trata-se de uma estrutura isodésmica.**

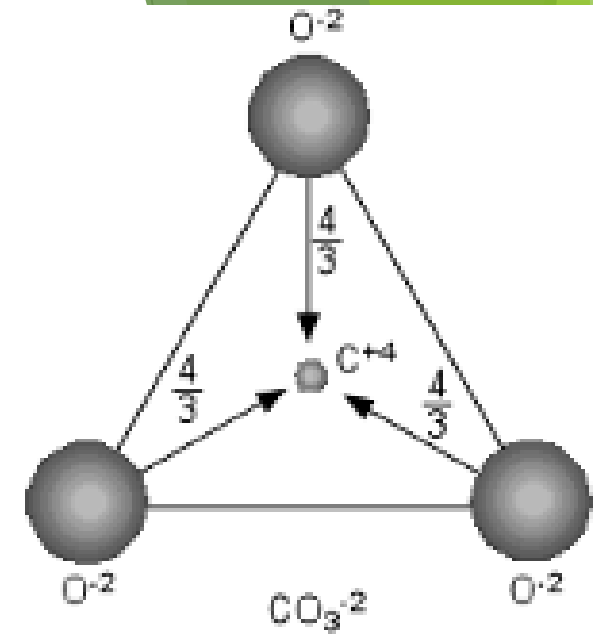
No caso dos carbonatos (radical  $[\text{CO}_3]^{2-}$ ):

C:  $R_{\text{C}^{4+}} = 0,20\text{\AA}$       O:  $R_{\text{O}^{2-}} = 1,40\text{\AA}$

$R_{\text{C}^{4+}} / R_{\text{O}^{2-}} = 0,16$ , ou seja:  $\text{NC} = 3$  (atenção: ligação covalente!)

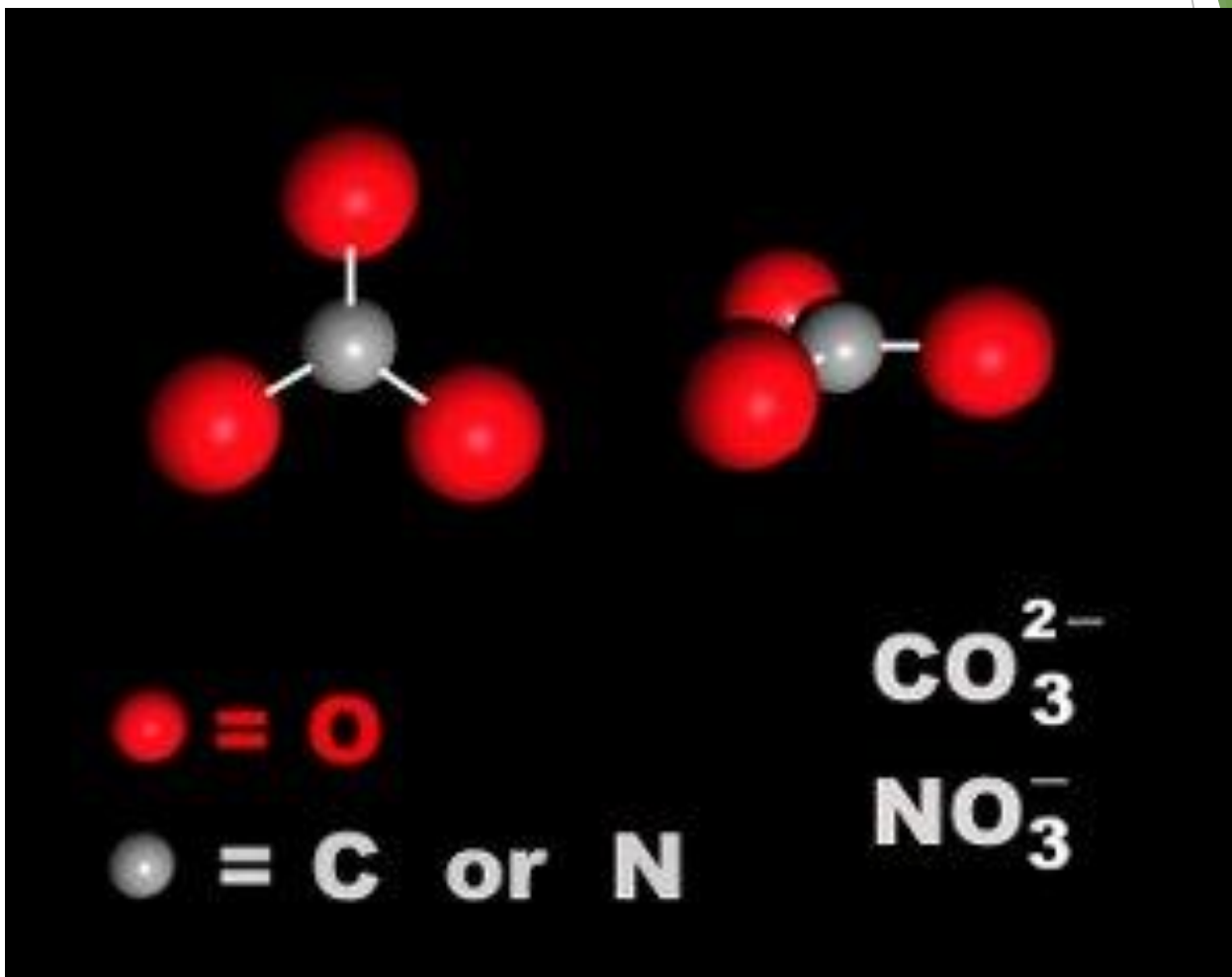
Cada  $\text{O}^{2-}$  irá neutralizar  $1 + 1/3$  da carga do  $\text{C}^{4+}$  central, ou seja: sobram  $2/3$  de sua carga, menos da metade da carga total. Portanto, estes ânions de oxigênio não terão carga suficiente para participar de outro poliedro  $[\text{CO}_3]^{2-}$ .

Neste caso, haverá ligações com intensidade distinta no retículo: as ligações entre C e O (covalentes, mais intensas) e entre a carga residual dos ânions O, neutralizando outros cátions com NC maior, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , etc – a estrutura será anisodésmica, i.e. terá ligações de intensidades diferentes.



## GMG-106 – Cristalografia Fundamental

Exemplos ilustrados: radicais aniônicos  $[\text{CO}_3]^{2-}$  e  $[\text{NO}_3]^{1-}$



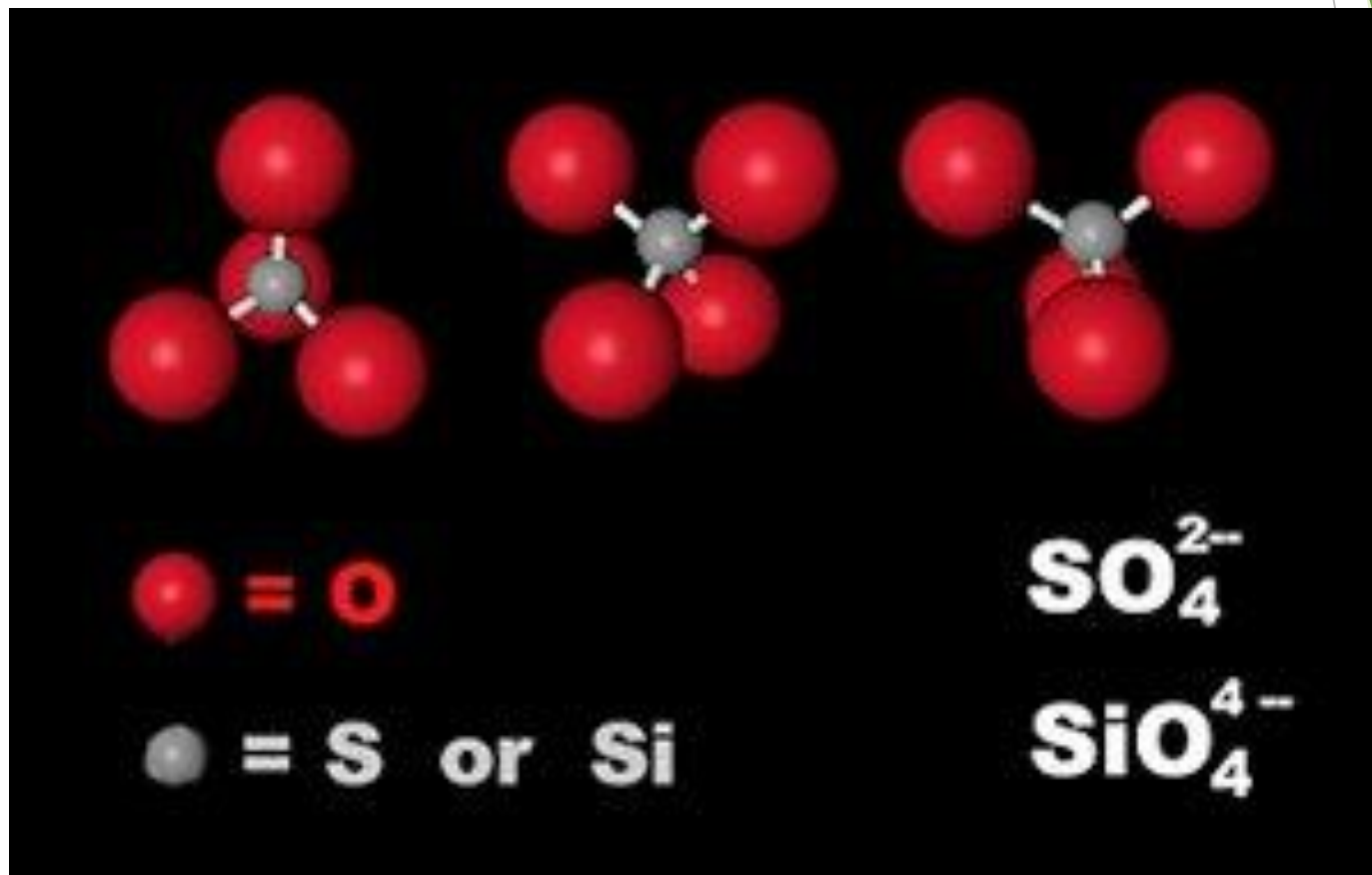
Em alguns casos, os ânions que coordenam um cátion central gastam exatamente metade de sua carga para neutralizar este cátion; este é o caso do  $[\text{BO}_3]^{3-}$  e, principalmente, do radical aniônico  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , que controla as estruturas cristalinas dos silicatos.

$$R_{\text{Si}}^{4+} = 0,42\text{\AA} \quad e: R_{\text{O}}^{2-} = 1,40\text{\AA} \quad R_{\text{Si}}^{4+} / R_{\text{O}}^{2-} = 0,30, \text{NC} = 4$$

Cada um dos 4 íons oxigênio que coordenam o Si central gastará metade da sua carga para neutralizar este cátion; ou seja, poderá utilizar a metade restante de sua carga para participar de um radical aniônico semelhante, unido ao anterior pelo vértice; isto permitirá o desenvolvimento de estruturas extensas de tetraedros de Si-O, ou seja, haverá polimerização; a estrutura será mesodésmica.

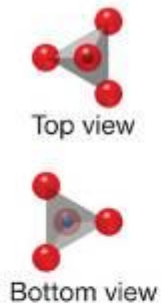
## Exemplos de radicais aniônicos tetraédricos:

$[\text{SiO}_4]^{4-}$  (poderá polimerizar-se, formando estruturas extensas), e  $[\text{SO}_4]^{2-}$  (formará radicais isolados na estrutura anisodésmica)

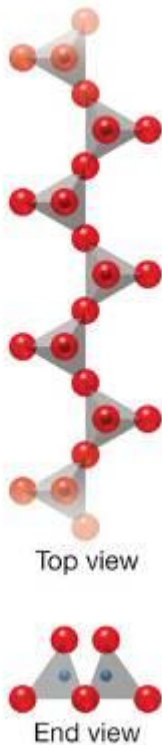


## Padrões de polimerização dos tetraedros $[\text{SiO}_4]^{-4}$

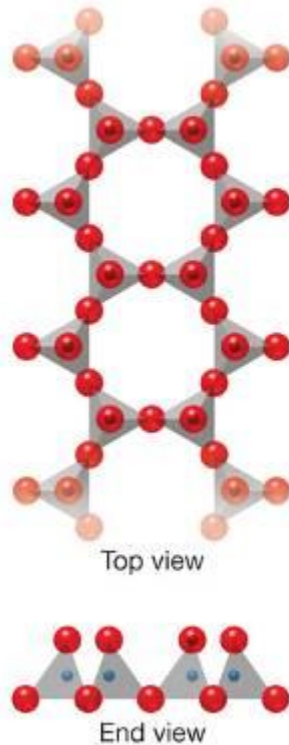
Independent tetrahedra



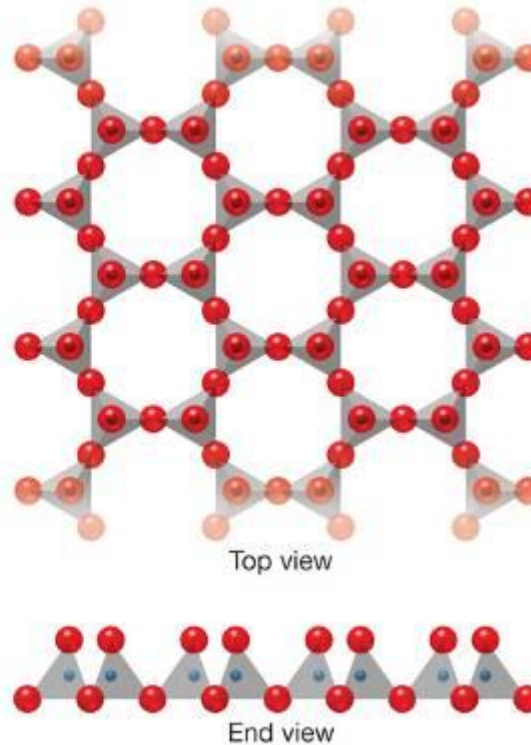
Single chain



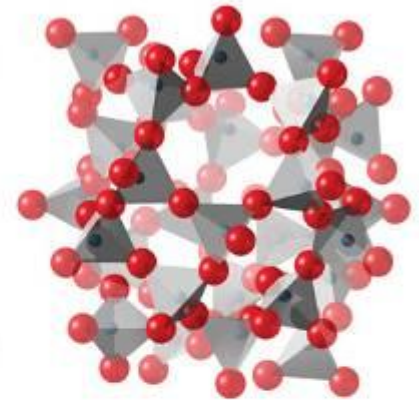
Double chain



Sheet structure



Three-dimensional framework



### **3ª Regra de Pauling:**

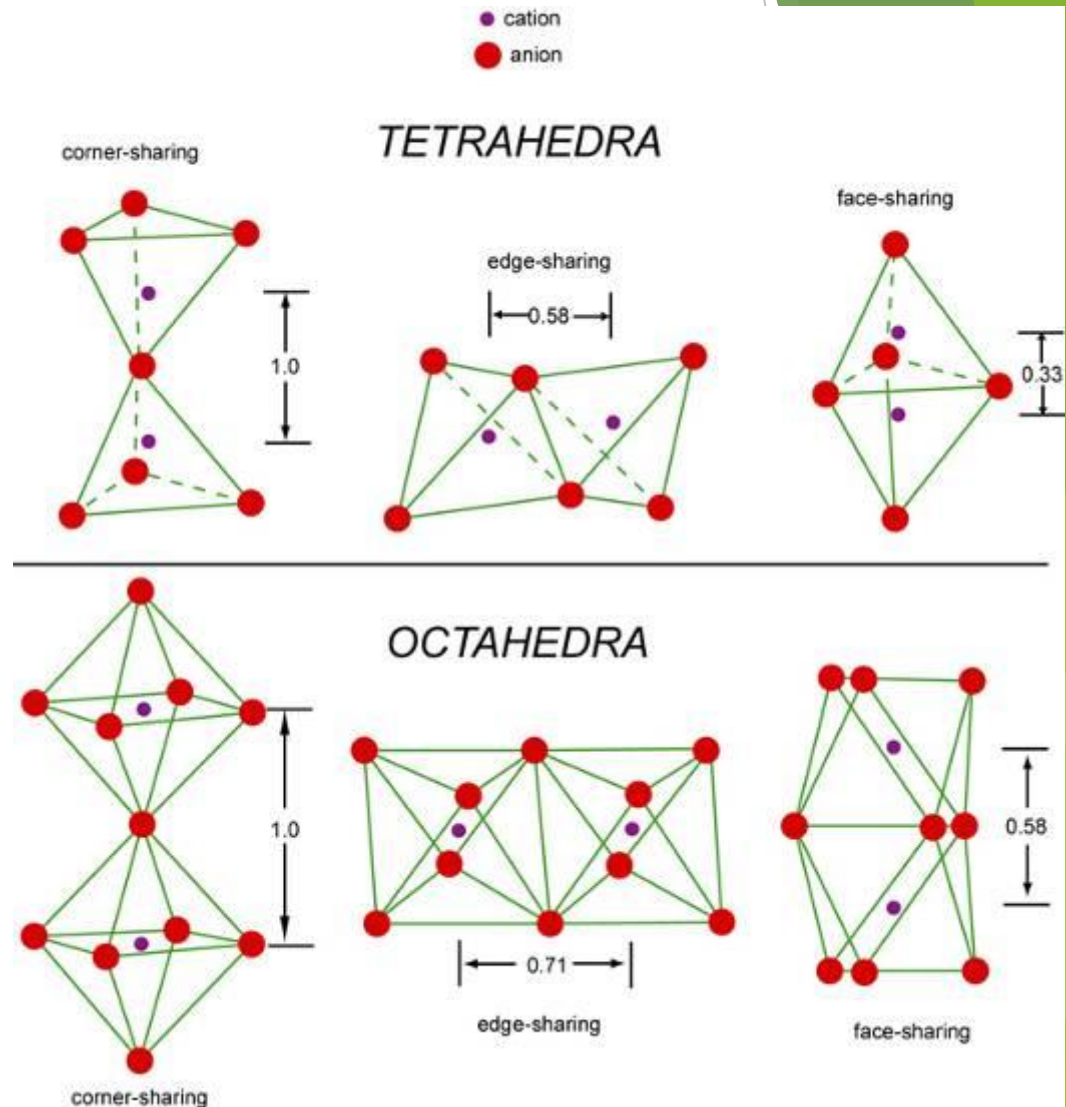
**“A estabilidade de uma estrutura cristalina iônica diminui quando poliedros aniônicos compartilham arestas, e mais ainda quando compartilham faces”.**

**Isto se deve à maior proximidade dos núcleos dos átomos, que se repelem com intensidade exponencial inversa à distância entre eles.**

**Este efeito é mais intenso quando o cátion central dos poliedros considerados for pequeno (NC reduzido) e tiver carga alta.**

## GMG-106 – Cristalografia Fundamental

No caso de poliedros tetraédricos, quando compartilham arestas, a distância entre os cátions diminui para 58% da distância que havia entre eles quando os poliedros compartilhavam vértices, e esta distância diminui para 33% quando compartilham faces. Nos octaédricos, estes valores são 71% e 58%, respectivamente.



## 4ª Regra de Pauling:

**“Em uma estrutura contendo tipos diversos de cátions, aqueles com valência elevada e número de coordenação pequeno tendem a não compartilhar arestas, vértices e muito menos faces de seus poliedros entre si. Quando o fazem, as arestas ou faces compartilhadas se contraem, e os cátions se deslocam do centro do poliedro, afastando-se do elemento compartilhado, procurando aumentar a distância e colocando maior carga negativa entre eles, minimizando a repulsão”.**

**Esta regra explica porque determinados sítios catiónicos de pequeno número de coordenação não podem ser ocupados na sua totalidade no retículo cristalino: quando os cátions se aproximam demais, a estrutura se torna instável.**

## 5ª Regra de Pauling:

**“O número de constituintes de tipo essencialmente diferente tende a ser pequeno em retículos cristalinos”**

**Em estruturas cristalinas, há poucos tipos de posições catiônicas (poliedros de coordenação) e aniônicas essencialmente contrastadas. Em estruturas de composição variada, íons diversos, de tamanho não muito diferente entre si, tendem a ocupar o mesmo tipo de sítio estrutural, e assim podem ser considerados, para alguns efeitos, como um mesmo tipo de constituinte.**

**Exemplo:  $\text{Mg}^{2+}$  (0,72Å),  $\text{Fe}^{2+}$  (0,74Å) e  $\text{Zn}^{2+}$  (0,74Å) podem substituir-se facilmente nos mesmos sítios catiônicos.**

**A estrutura de cristais iônicos pode ser descrita como um empacotamento compacto de ânions, com os cátions ocupando os interstícios entre estes ânions.**

**Neste modelo, de Lima-de-Faria, os ânions podem estar empacotados segundo padrões semelhantes aos das estruturas metálicas:**

- Empacotamento Cúbico Compacto – CCP**
- Empacotamento hexagonal Compacto – HCP e**
- Empacotamento Cúbico Simples - SCP**

# JOSÉ LIMA-DE-FARIA (1925-2018)

 SHARE

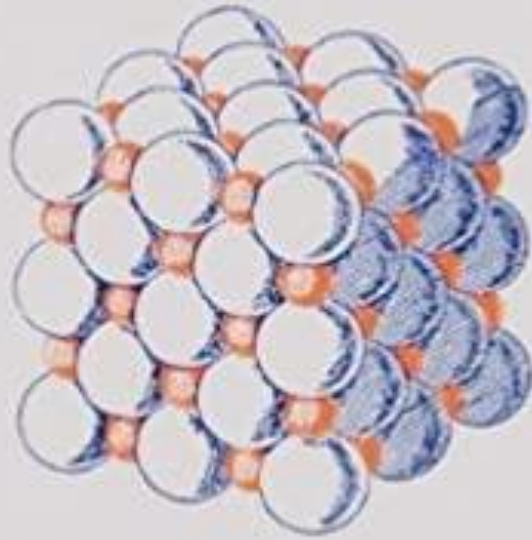
Giovanni Ferraris



J. Lima-de-Faria

# Structural Classification of Minerals

Volume 1:  
Minerals with  
 $A$ ,  $A_m B_n$  and  $A_p B_q C_r$   
general chemical formulas



SOLID EARTH SCIENCES LIBRARY

SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V.

**Nos empacotamentos tipo CCP e HCP (símbolo:  $X^c$  e  $X^h$ ), ocorrem os sítios catiônicos tetraédricos (símbolo:  $A^t$  –  $NC = 4$ ), octaédricos (símbolo:  $A^o$  –  $NC = 6$ ), além de sítios triangulares.**

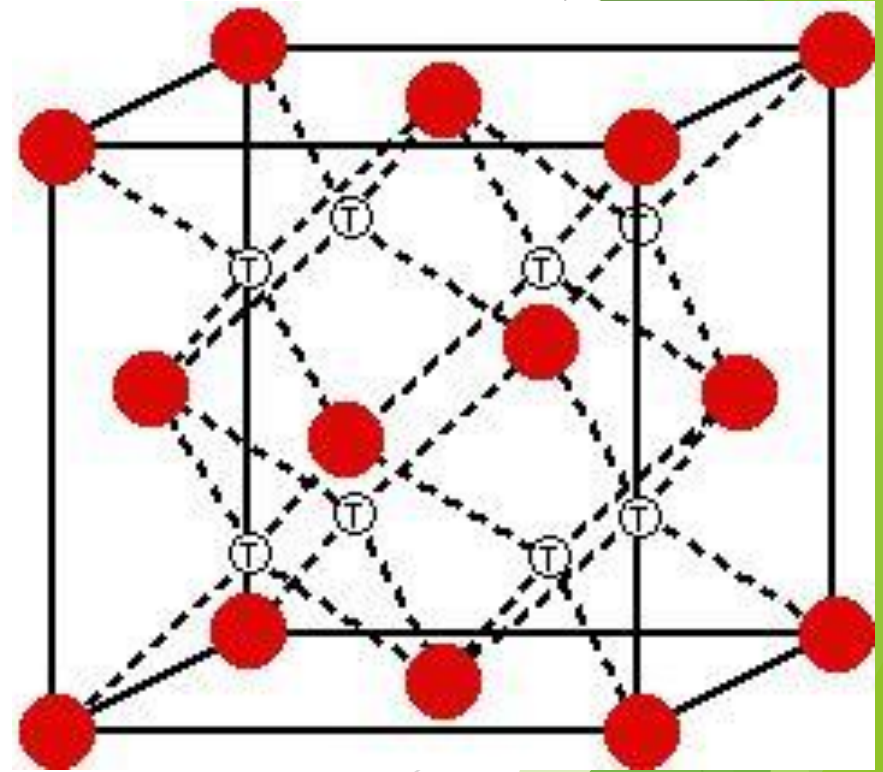
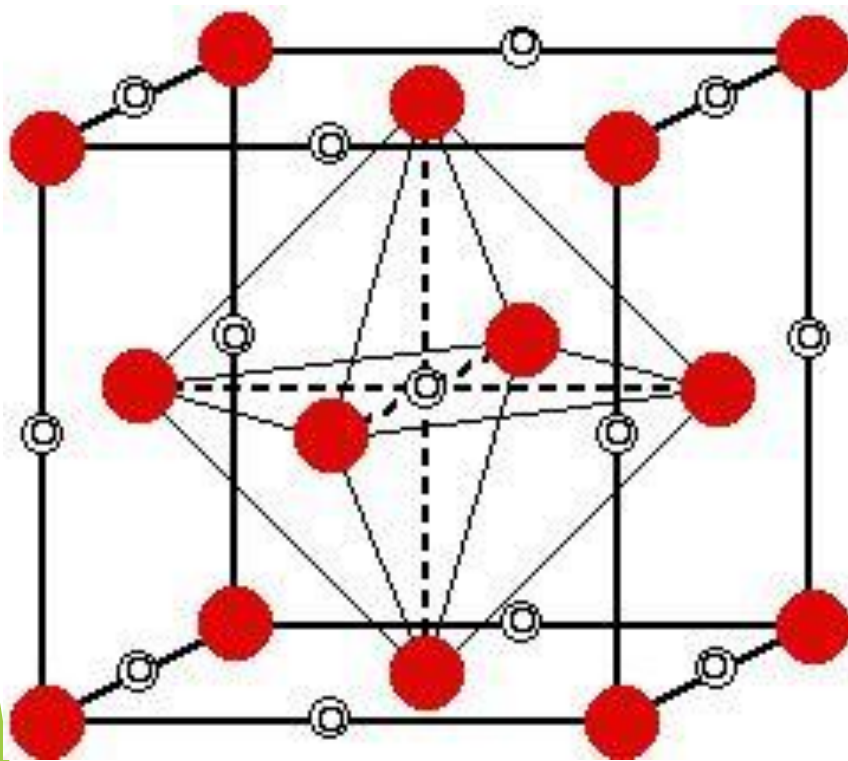
**Cristais com forte caráter iônico e composição simples irão apresentar predominantemente simetria cúbica, quando os ânions estiverem empacotados segundo o padrão CCP ( $X^c$ ), ou hexagonal-trigonal, quando o padrão de empacotamento for HCP ( $X^h$ ).**

**Quando o empacotamento for Cúbico Simples (SCP – símbolo:  $X^{sc}$ ), haverá apenas sítios cúbicos ( $A^{cb}$ ) disponíveis na estrutura.**

**As proporções de sítios tetraédricos, octaédricos e cúbicos disponíveis por ânion nas diversas estruturas são os seguintes:**

| <b>Empacotamento:</b> | <b>Sítio t</b> | <b>Sítio o</b> | <b>sítio cb</b> |
|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|
| <b>CCP</b>            | <b>2:1X</b>    | <b>1:1X</b>    | <b>não há</b>   |
| <b>HCP</b>            | <b>2:1X</b>    | <b>1:1X</b>    | <b>não há</b>   |
| <b>SCP</b>            | <b>não há</b>  | <b>não há</b>  | <b>1:1X</b>     |

Sítios octaédricos (O) e tetraédricos (T) no empacotamento de ânions com padrão CCP



**Exemplo: no caso do NaCl (Grupo Espacial:  $Fm\bar{3}m$ , sistema cristalino cúbico), o cátion (Na) ocupa os sítios octaédricos ( $NC = 6$ ); logo, o ânion (Cl) só pode estar em padrão de empacotamento tipo CCP.**

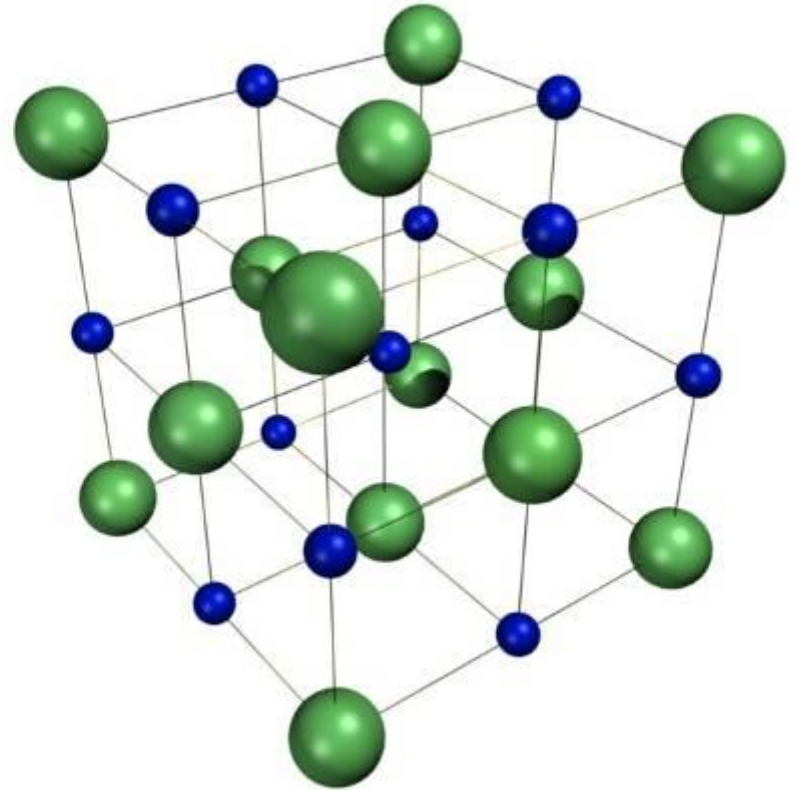
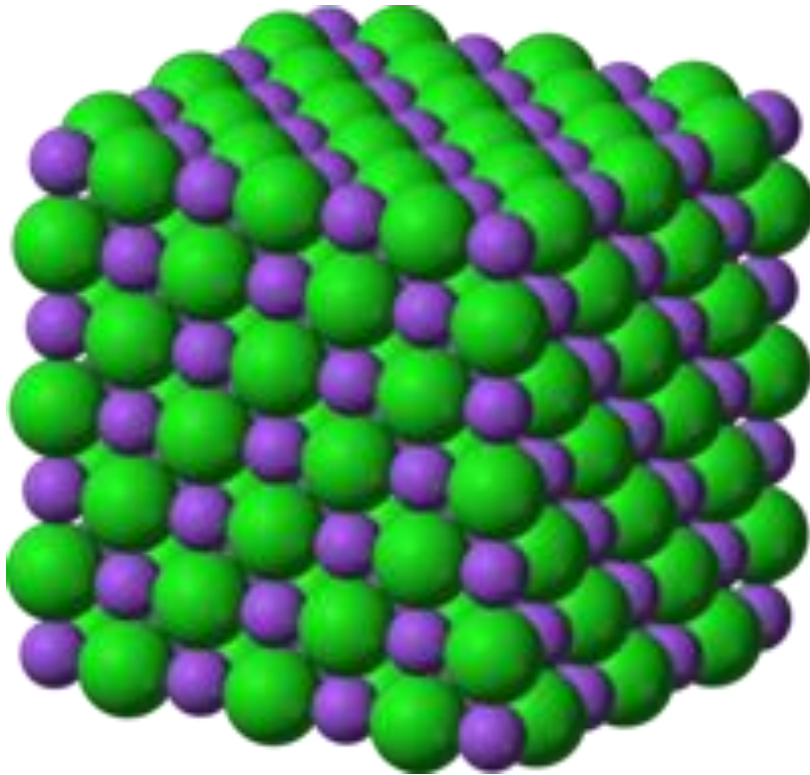
**A representação desta estrutura, segundo Lima-de-Faria:**

**$A^{\circ}X^c$ , com ocupação catiônica de 100%**

**(1 sítio octaédrico por ânion; proporção cátion:ânion = 1:1; logo, todos os sítios octaédricos estarão ocupados).**

**Outros compostos tipo  $A^{\circ}X^c$  com 100% de ocupação: MgO (periclásio), PbS (galena), FeO (wustita), KF, NaF, AgCl (cloargirita), KCl (silvita), CaO, NiO, LiF, LiCl.**

Estrutura do NaCl, destacando empacotamento dos ânions e cátions e a cela unitária:



## Estruturas tipo $A^oX^c$ – exemplo: $CdCl_2$ ( $A^oX^c_2$ )

—

Grupo espacial:  $R\bar{3}2/m$

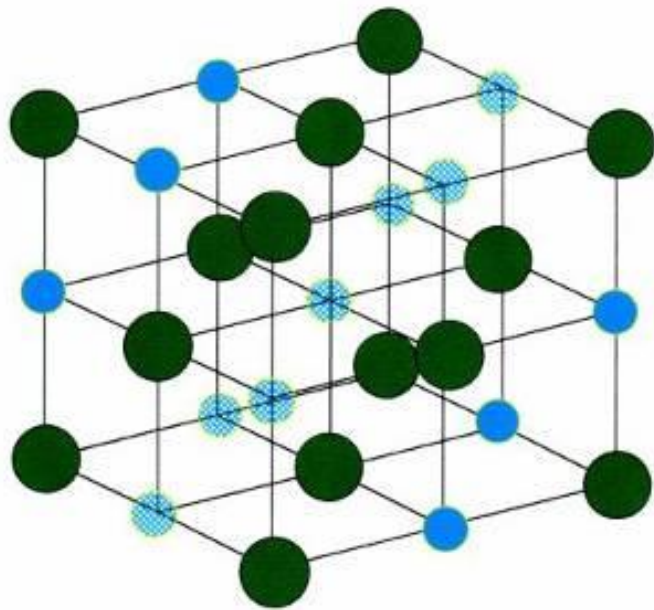
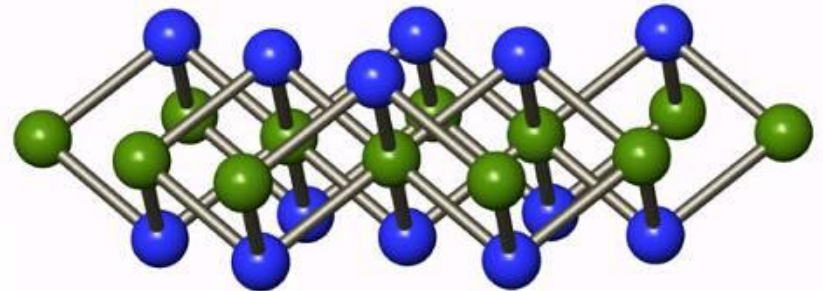
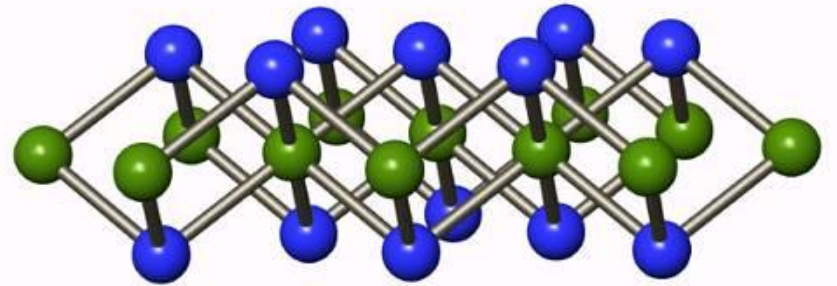
NC = 6 (sítio ocupado pelo Cd entre ânions de Cl: octaédrico)

Ocupação catiônica: 50%

Os sítios octaédricos (= poliedros de coordenação) são ocupados pela metade mas, em vez disto ocorrer de maneira regularmente distribuída pela estrutura, formam-se planos de sítios ocupados alternados com planos de sítios vazios. Isto resulta em que, apesar do empacotamento padrão CCP do Cl, a simetria diminui para trigonal, com eixo impróprio 3 perpendicular ao empilhamento dos planos. Nesta direção (eixo  $[0001]$ ), há alto coeficiente de expansividade térmica e desenvolve-se clivagem  $\{0001\}$ , paralela ao empilhamento.

## GMG-106 – Cristalografia Fundamental

Estrutura do  $\text{CdCl}_2$ : verde – Cd; azul: Cl



The cadmium chloride crystal structure. The structure is identical to the NaCl structure, but with half of the cations removed as a sheet (shown with hatched lines).

Solid light blue =  $\text{Cd}^{2+}$   
Hatched light blue = no ion  
Dark green =  $\text{Cl}^-$

**Estruturas tipo  $A^oX^h$  – exemplo: niquelina, NiAs**

**Grupo espacial:  $P6_3/m2/m2/c$**

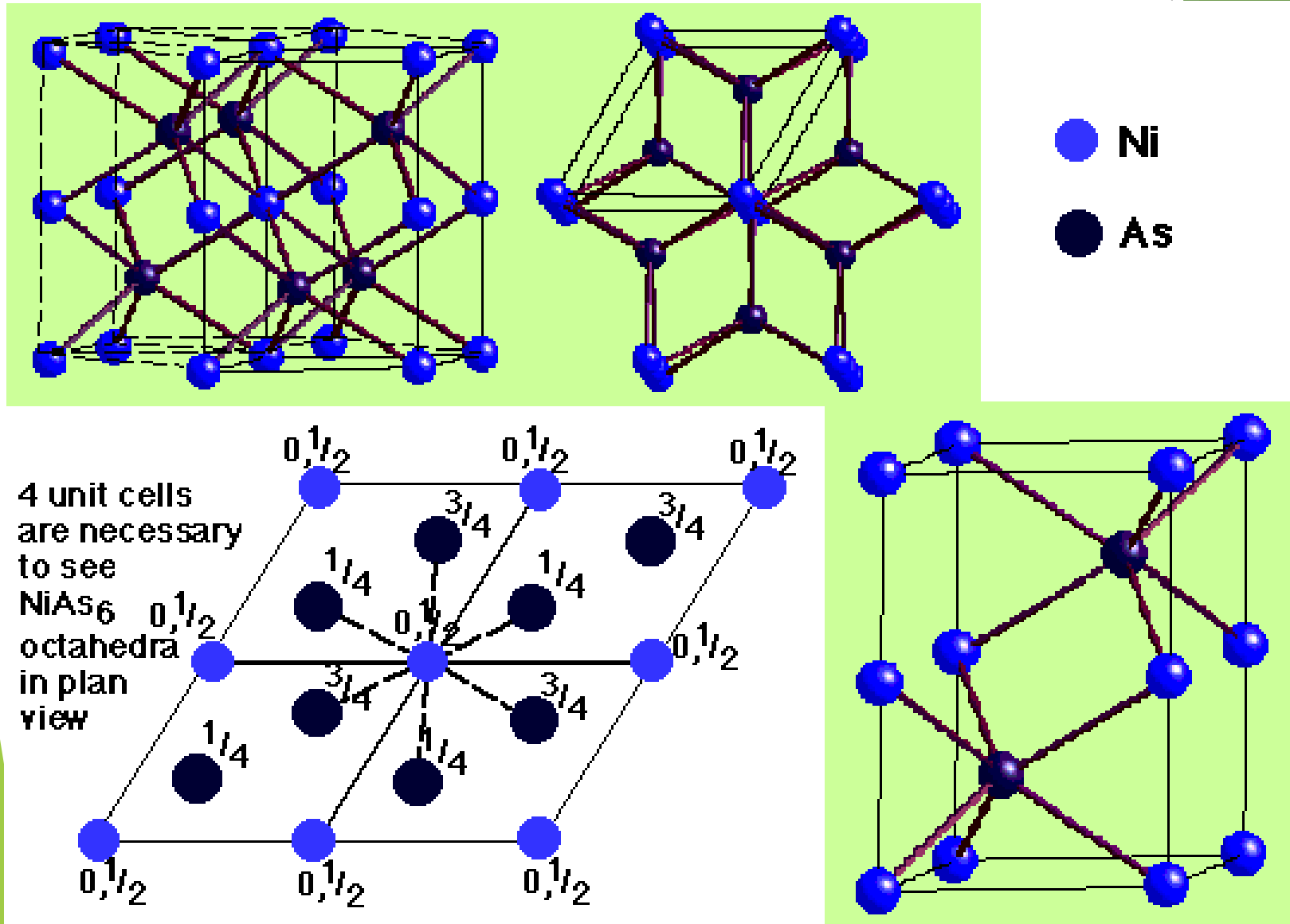
**NC = 6 (sítio ocupado pelo Ni entre ânions de As: octaédrico)**

**Ocupação catiônica: 100%**

**Os sítios octaédricos (= poliedros de coordenação) compartilham faces: isto só é possível porque há forte componente metálico na ligação entre Ni e As. Se a ligação iônica fosse mais forte, a estrutura cúbica ( $A^oX^c$ ) seria preferida, onde os poliedros compartilham apenas arestas (v. 3ª Regra de Pauling!)**

**Outros compostos isoestruturais: NiS (millerita), FeS (pirrotita), CoS, VS, etc – sulfetos de metais de transição ou combinados com Te, Se, As, Sb, Bi, Sn e Pb.**

## Estrutura da niquelina – NiAs:



## Estruturas tipo $A^tX^c$ – exemplo: esfalerita, ZnS

—

**Grupo Espacial: F43m**

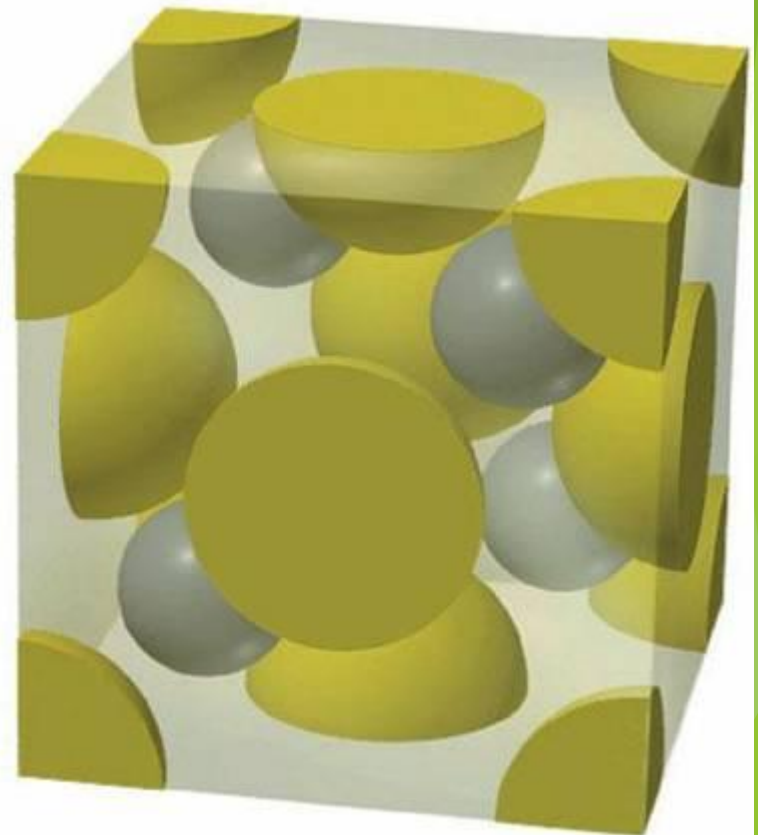
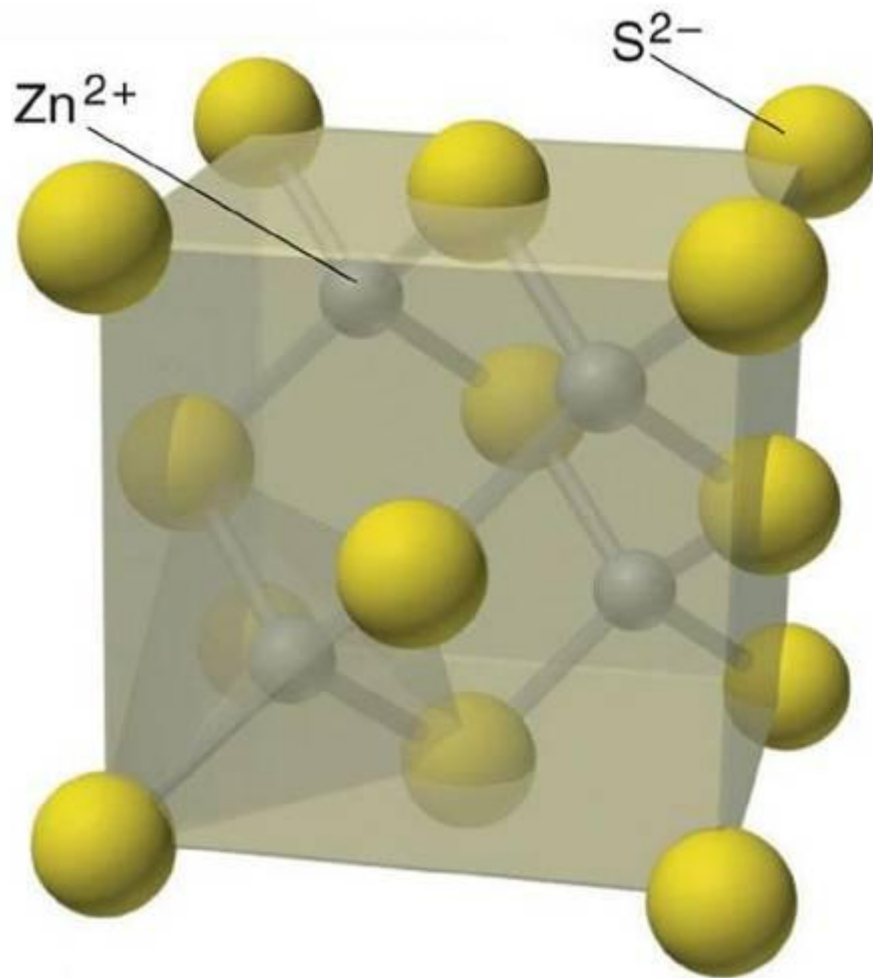
**NC = 4 (sítio ocupado pelo Zn entre os ânions de S: tetraédrico)**

**Ocupação catiônica: 50%**

**Ligação com forte componente covalente, com interpenetração de orbitais híbridos tipo  $sp^3$  – semelhante ao diamante.**

**Esta estrutura é adotada por compostos como CuCl, CdS, GaN, GaP, GaAs, AlP, AlAs, CuI, etc (combinações de elementos de colunas simetricamente dispostas à coluna IVA, do C).**

## Estrutura da esfalerita:



**Estruturas tipo  $A^tX^h$  – exemplo: wurtzita,  $ZnS$   
(mineral polimorfo da esfalerita)**

**Grupo Espacial:  $P6_3/m2/m2/c$**

**NC = 4 (sítio ocupado pelo Zn entre os ânions de S:  
tetraédrico)**

**Ocupação catiônica: 50%**

**A ligação, como na esfalerita, tem forte componente  
covalente.**

**Outros compostos que adotam esta estrutura:  $BeO$   
(bromelita),  $ZnO$  (zincita),  $CdS$  (greenockita),  
 $CdSc$ ,  $AlN$ ,  $GaN$ ,  $MgTe$ .**

**Obs: pela razão dos raios apenas,  $ZnO$  deveria  
adotar a estrutura  $A^oX^c$  (NC = 6): o caráter  
covalente, porém, diminui a distância  
interatômica entre Zn e O, favorecendo NC = 4.**

**Estruturas tipo  $A^{cb}X^{sc}$  – exemplo: fluorita,  $CaF_2$**

**Grupo Espacial:  $Fm\bar{3}m$  (=  $F4/m\bar{3}2/m$ )**

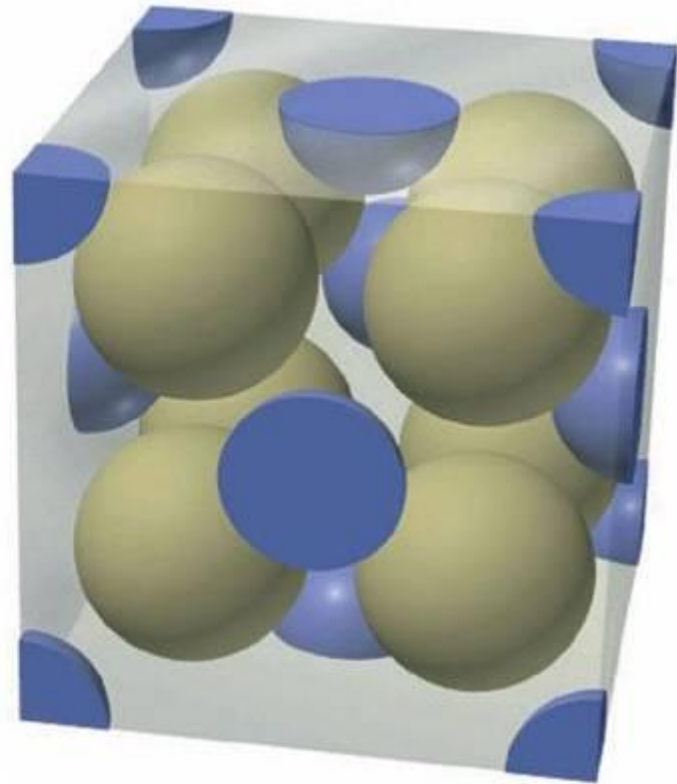
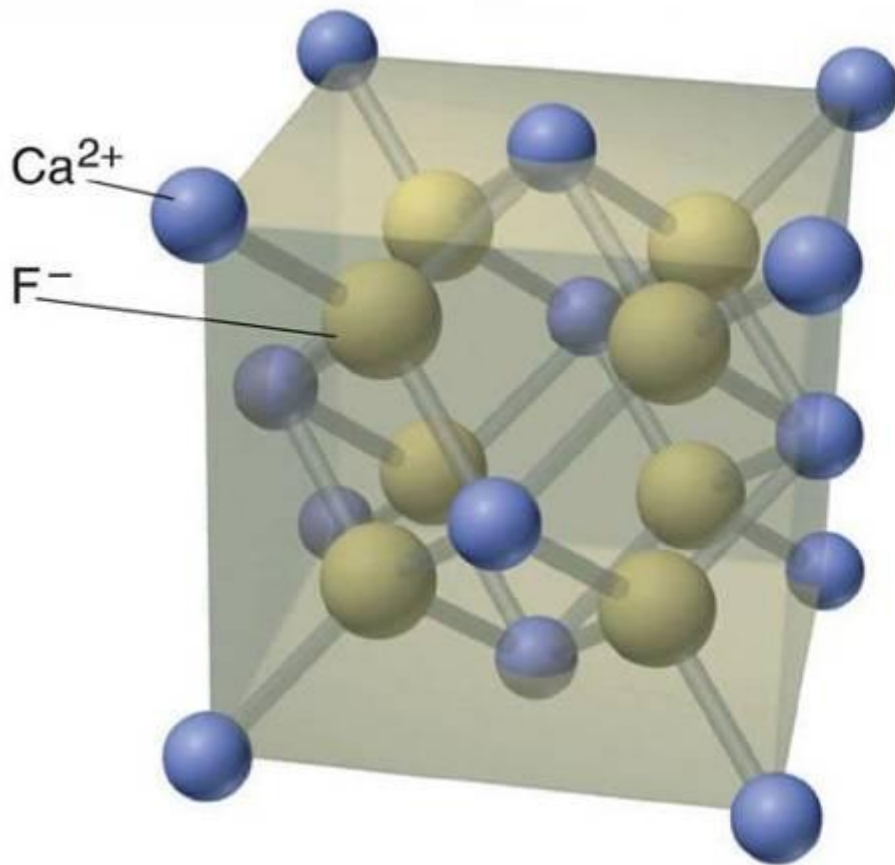
**NC = 8 (sítio ocupado pelo Ca entre os ânions de F: cúbico)**

**Ocupação catiônica: 50%**

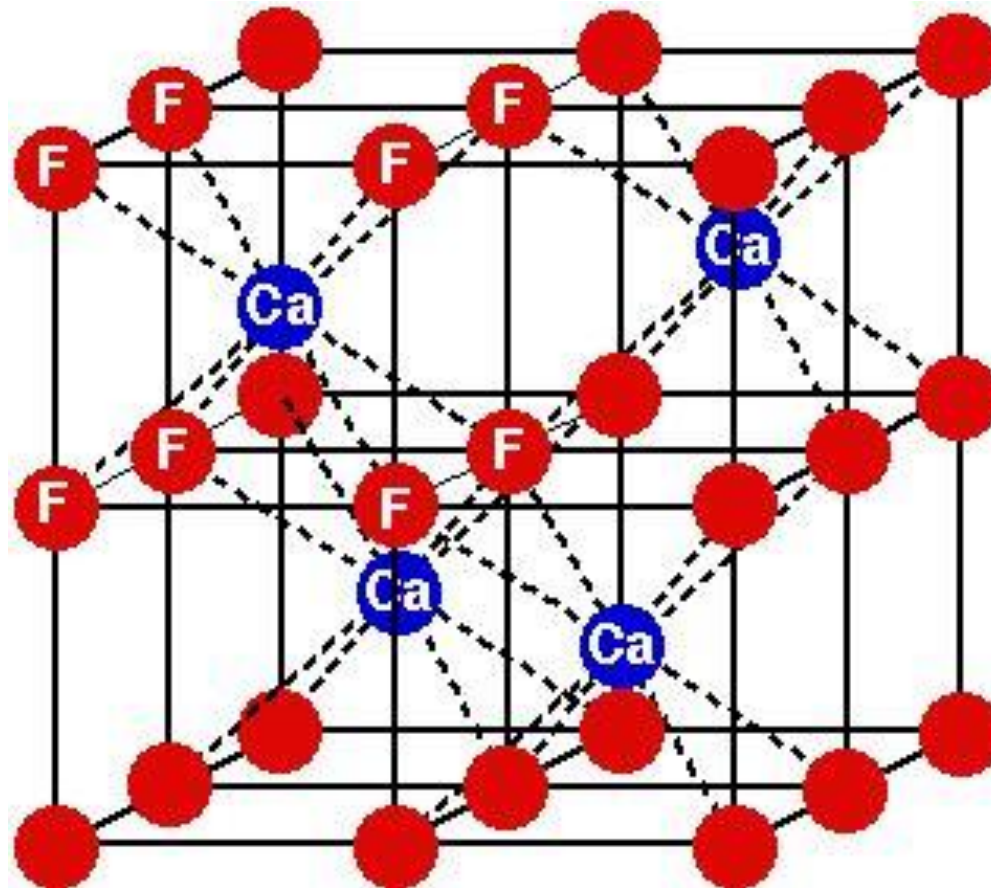
**A ligação é fortemente iônica ( $\Delta E = 3,0$ ); os sítios catiônicos cúbicos (= poliedros de coordenação) são ocupados alternados, diminuindo a repulsão entre os cátions de carga relativamente alta ( $Ca^{2+}$ ); esta disposição alternada dos sítios vazios resulta na clivagem octaédrica (forma  $\{111\}$ ) da fluorita.**

**A estrutura da fluorita é adotada por compostos de metais alcalino-terrosos e halógenos:  $SrF_2$ ,  $BaCl_2$ , e óxidos:  $ZrO_2$ ,  $UO_2$ ,  $CdO_2$ .**

**Cela unitária da fluorita: notar sítio cúbico vazio no centro (onde se localizam os demais sítios cúbicos vazios na cela?)**



**Estrutura da fluorita, do ponto de vista do empacotamento tipo SCP (cúbico simples) dos ânions:**



## Estruturas tipo $A^{cb}X^{sc}$ – exemplo: CsCl

Grupo Espacial:  $Fm\bar{3}m$  (=  $F4/m\bar{3}2/m$ )

NC = 8 (sítio ocupado pelo Cs entre os ânions de Cl: cúbico)

Ocupação catiônica: 100%

A ligação é fortemente iônica ( $\Delta E = 2,3$ ); os sítios catiônicos cúbicos (= poliedros de coordenação) estão todos ocupados, compartilhando faces (v. 3ª Regra de Pauling!). Isto só é possível porque o número de coordenação é alto e a carga do cátion, pequena: a nuvem eletrônica dos ânions de Cl separa com eficiência os cátions, diminuindo a repulsão entre eles.

Esta estrutura é adotada por compostos de metais alcalinos e halógenos: CsBr, CsI,  $NH_4Cl$ .

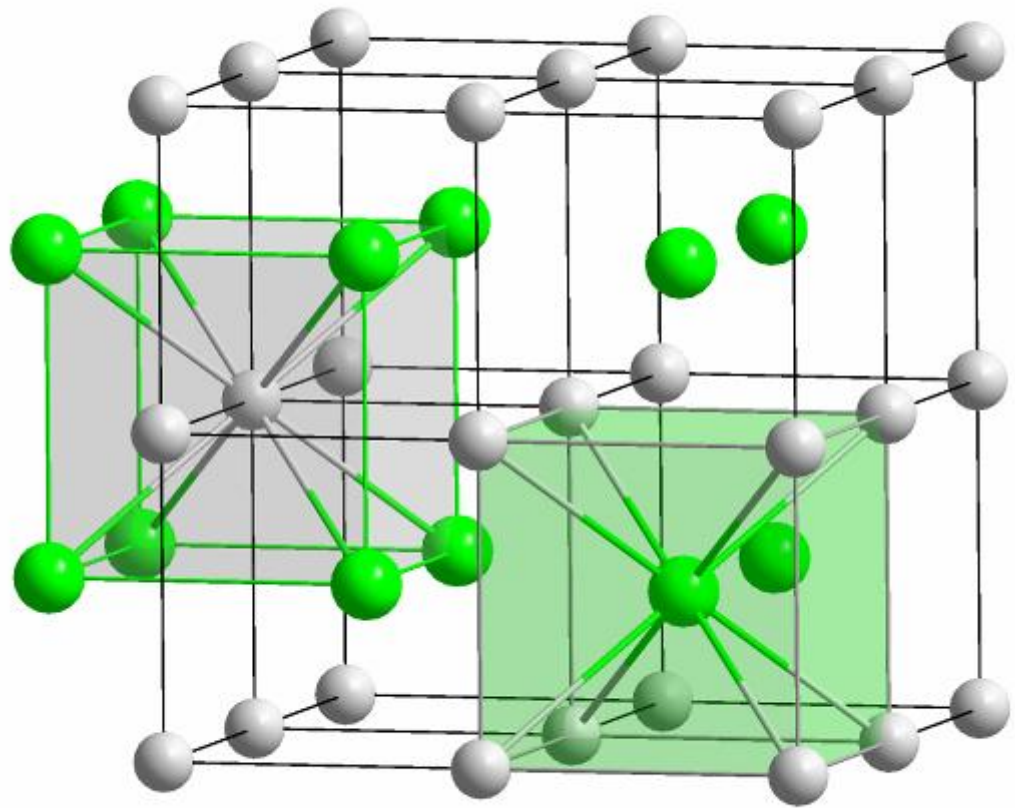
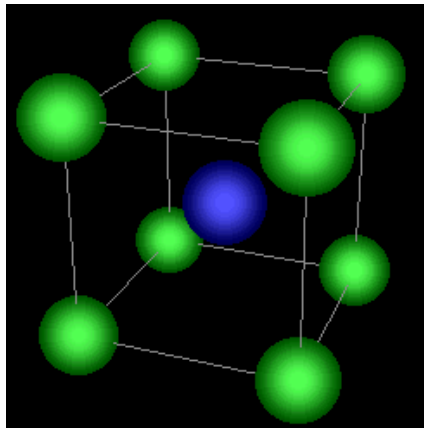
# Estrutura do CsCl:

verde: Cs

prata: Cl

Notar coordenação  
cúbica do Cl em  
relação ao Cs e  
vice-versa.

Cela unitária:



## Estrutura e cela unitária do CsCl:

