



# Propriedades dos sólidos metálicos

- O caráter metálico refere-se às propriedades dos metais (brilhante ou lustroso, maleável e dúctil, os óxidos formam sólidos iônicos básicos e tendem a formar cátions em solução aquosa).
- O caráter metálico aumenta à medida que descemos em um grupo.
- O caráter metálico diminui ao longo do período.
- Os metais têm energias de ionização baixas.
- A maioria dos metais neutros sofre oxidação em vez de redução.

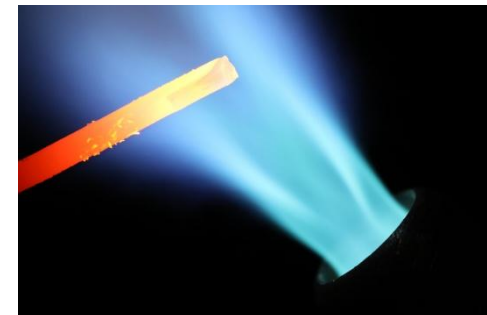
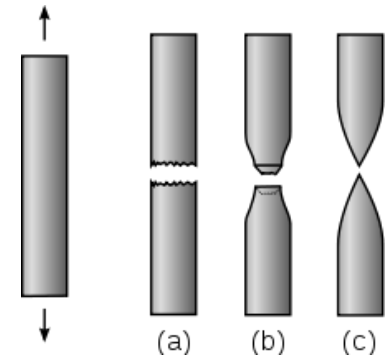
# Propriedades dos sólidos metálicos

- Quando os metais são oxidados, eles tendem a formar cátions característicos.
- Todos metais do grupo 1 formam íons  $M^+$ .
- Todos metais do grupo 2 formam íons  $M^{2+}$ .
- A maioria dos metais de transição têm cargas variáveis.
- Metais reagem com não metais para formarem compostos iônicos

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Propriedades Gerais dos Metais

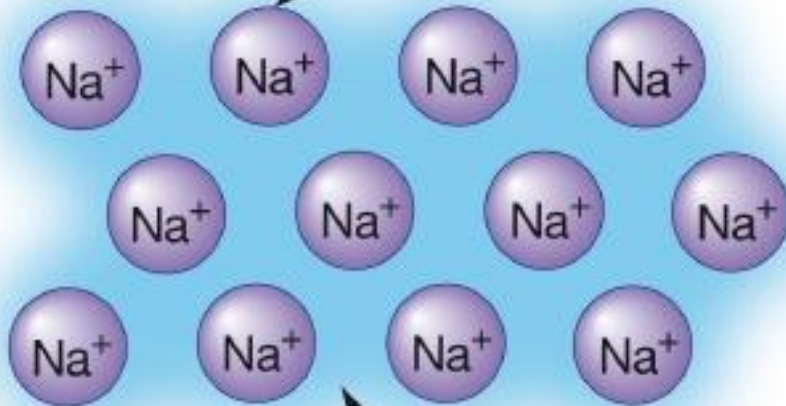
- São maleáveis e dúcteis;
- São excelentes condutores de eletricidade e calor;
- Apresentam brilho metálico característico;
- Têm altos índices de reflexão;
- Suas estruturas cristalinas são do tipo *cúbico de face centrada*, *cúbico de corpo centrado* ou *hexagonal compacto*;
- Formam ligas com facilidade;



# Propriedades dos sólidos metálicos

## A ligação metálica: *mar de elétrons*

Os cátions ocupam posições fixas na rede cristalina



Elétrons deslocalizados

- Na:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
- Na<sup>+</sup>:  $1s^2 2s^2 2p^6 + e^-$
- Cada átomo de sódio fornece seu **único elétron** de valência para formar um “*mar*” de elétrons deslocalizados.
- Ligação metálica: atração eletrostática entre os cátions positivos e elétrons *deslocalizados*

# Propriedades dos sólidos metálicos

## A ligação metálica: *mar de elétrons*

Os elétrons se movem livremente para:

- Unir os cátions na rede cristalina;  
(mas de forma fraca e não direcional, possibilitando a deformação do metal com relativa facilidade – um metal em geral é *maleável* e *dúctil*)
- conduzir corrente elétrica;
- conduzir calor;
- absorver e emitir qualquer quantidade de energia luminosa;  
(de forma não quantizada, o que o torna muito reflexivo e brilhante)

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Condutividade elétrica de alguns sólidos

Substância	Tipo de Ligação	Condutividade (ohm. cm <sup>-1</sup> )
Prata	Metálica	$6,3 \times 10^5$
Cobre	Metálica	$6,0 \times 10^5$
Sódio	Metálica	$2,4 \times 10^5$
Zinco	Metálica	$1,7 \times 10^5$
Cloreto de sódio	Iônica	$1,0 \times 10^{-7}$
Diamante	Covalente	$1,0 \times 10^{-14}$
Quartzo	Covalente	$1,0 \times 10^{-14}$

\* A condutividade elétrica dos metais diminui com o aumento da temperatura

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Tipos de ligações

Elemento eletropositivo + Elemento eletronegativo → ligação iônica

Elemento eletronegativo + Elemento eletronegativo → ligação covalente

**Elemento eletropositivo + Elemento eletropositivo → ligação metálica**



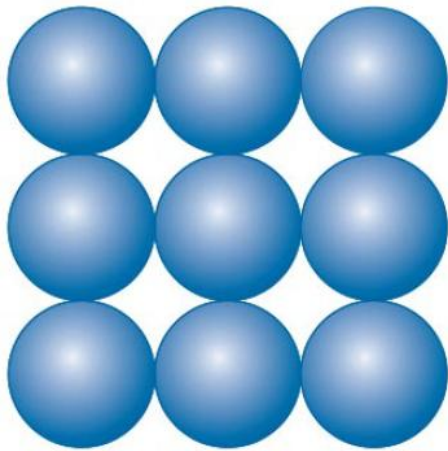
# Propriedades dos sólidos metálicos

## Estrutura dos sólidos metálicos (e iônicos)

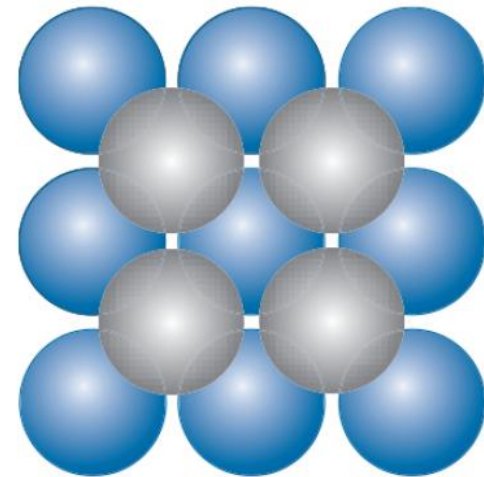
- Estruturas em *rede*: se repetem periodicamente nas três dimensões
  - Agrupamento de átomos (ou íons) esféricos
- Os diferentes tipos de ligações resultam em propriedades diferentes para os compostos iônicos e metálicos
  - Nos metais as estruturas são geralmente:
    - cúbico de face centrada (cfc)*
    - cúbico de corpo centrado (ccc)*
    - agrupamento hexagonal compacto (ahc)*

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Empacotamentos cúbicos



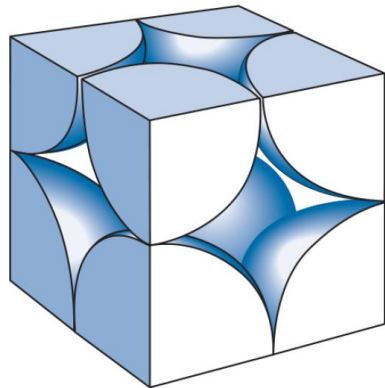
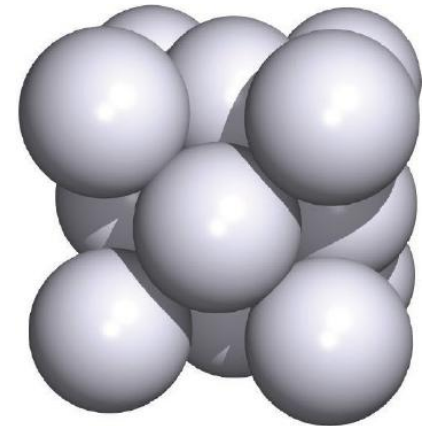
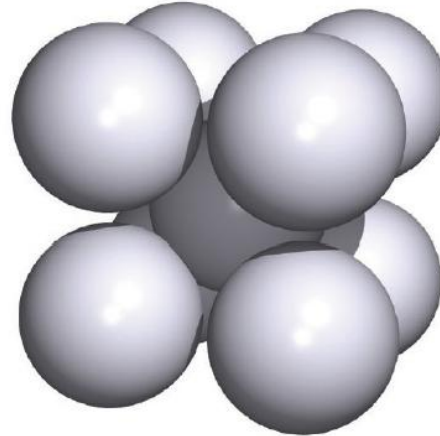
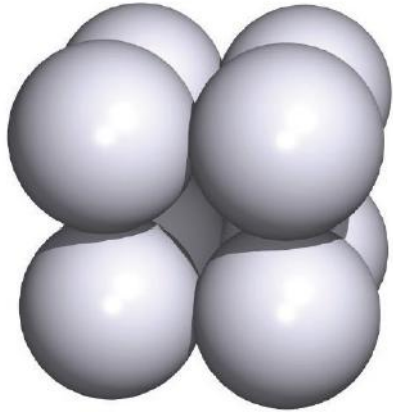
Empacotamento **cúbico simples** (cs):  
camadas sucessivas são sobrepostas  
sobre o primeiro conjunto



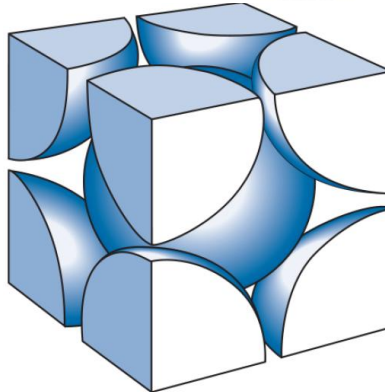
Empacotamento **cúbico de corpo centrado** (ccc): a segunda camada é colocada sobre espaços vazios da primeira e assim sucessivamente.

# Propriedades dos sólidos metálicos

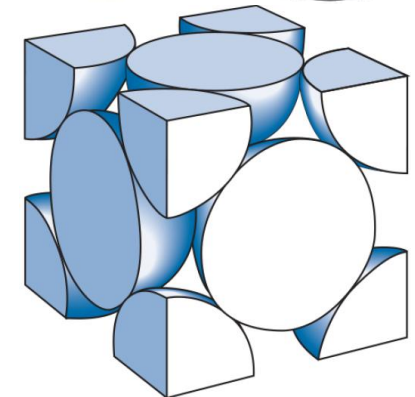
## Empacotamentos cúbicos



Célula unitária  
cúbica simples  
(*cs*)



Célula unitária  
cúbica de corpo centrado  
(*ccc*)



Célula unitária  
cúbica de face centrada  
(*cfc*)

# Propriedades dos sólidos metálicos

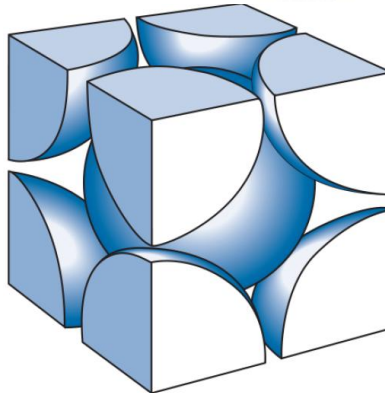
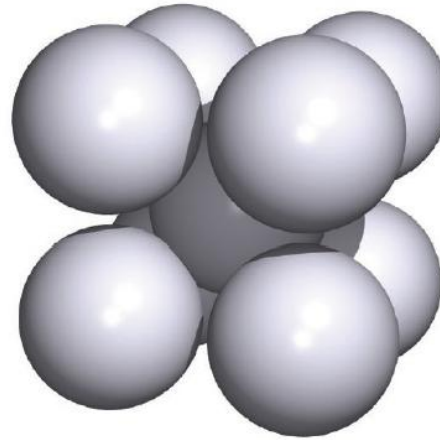
## Empacotamentos cúbicos

Mais comuns nos metais que adotam uma rede cristalina cúbica:  
*ccc e cfc*

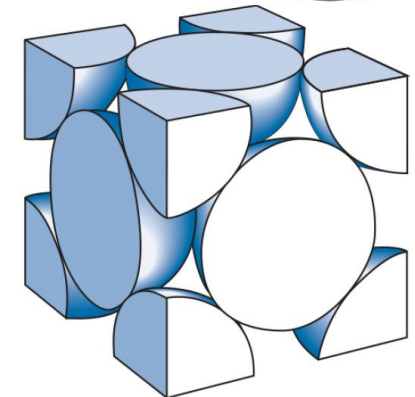
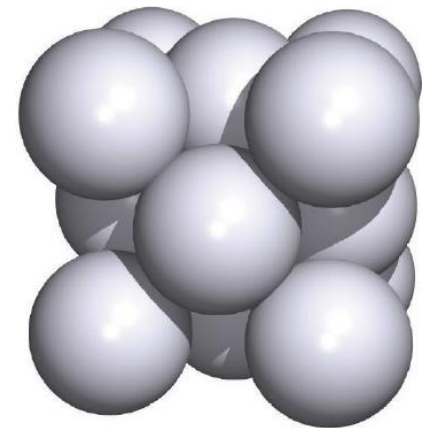
*Ex:*

*Metais alcalinos  
(Grupo 1) são todos  
ccc;*

*Ni, Pd, Pt (Grupo 11)  
Cu, Ag, Au (Grupo 12)  
são todos cfc.*



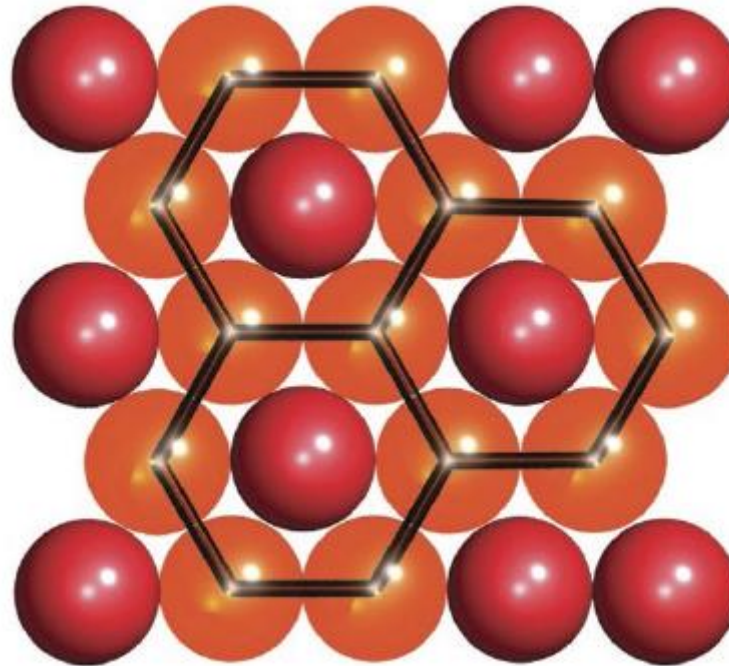
Célula unitária  
cúbica de corpo centrado  
(*ccc*)



Célula unitária  
cúbica de face centrada  
(*cfc*)

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Arranjos compactos

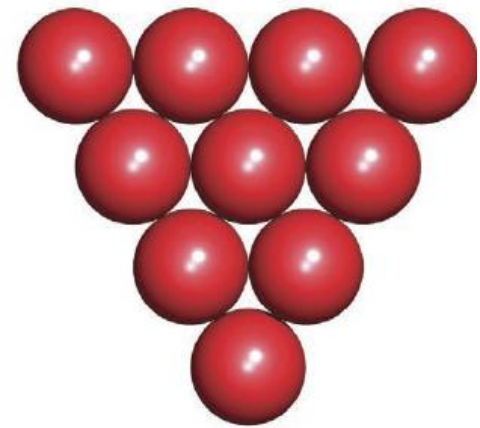


Agrupamento mais compacto de esferas do mesmo tamanho:  
motivos hexagonais

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Arranjos compactos

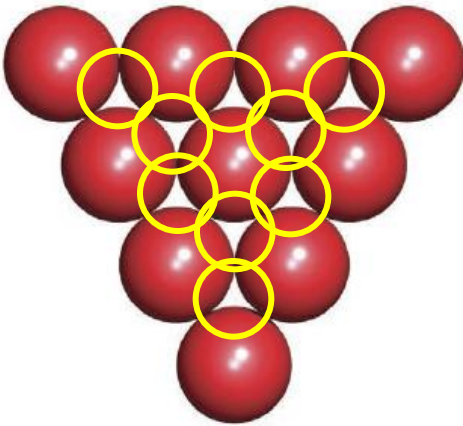
Camada A



# Propriedades dos sólidos metálicos

## Arranjos compactos

Camada A



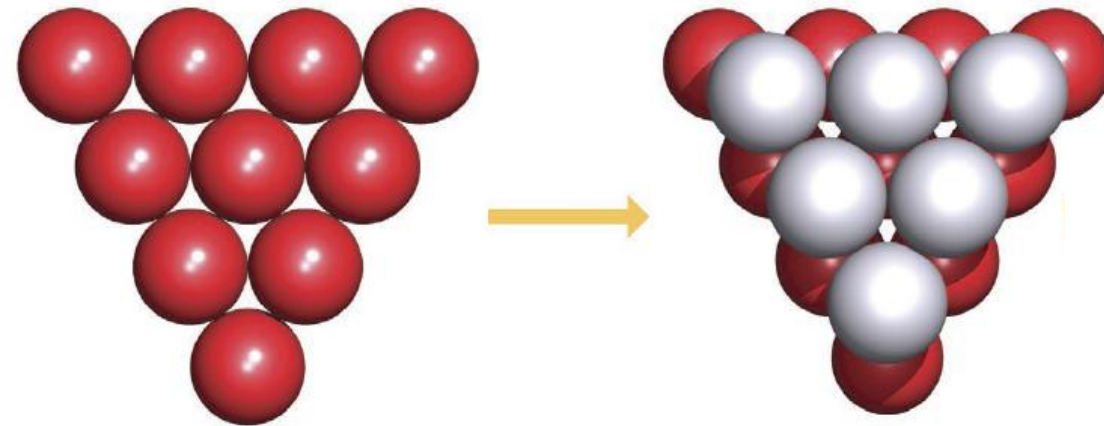
Contém vazios que  
apresentam um  
arranjo regular

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Arranjos compactos

Camada A

Camada A  
Camada B



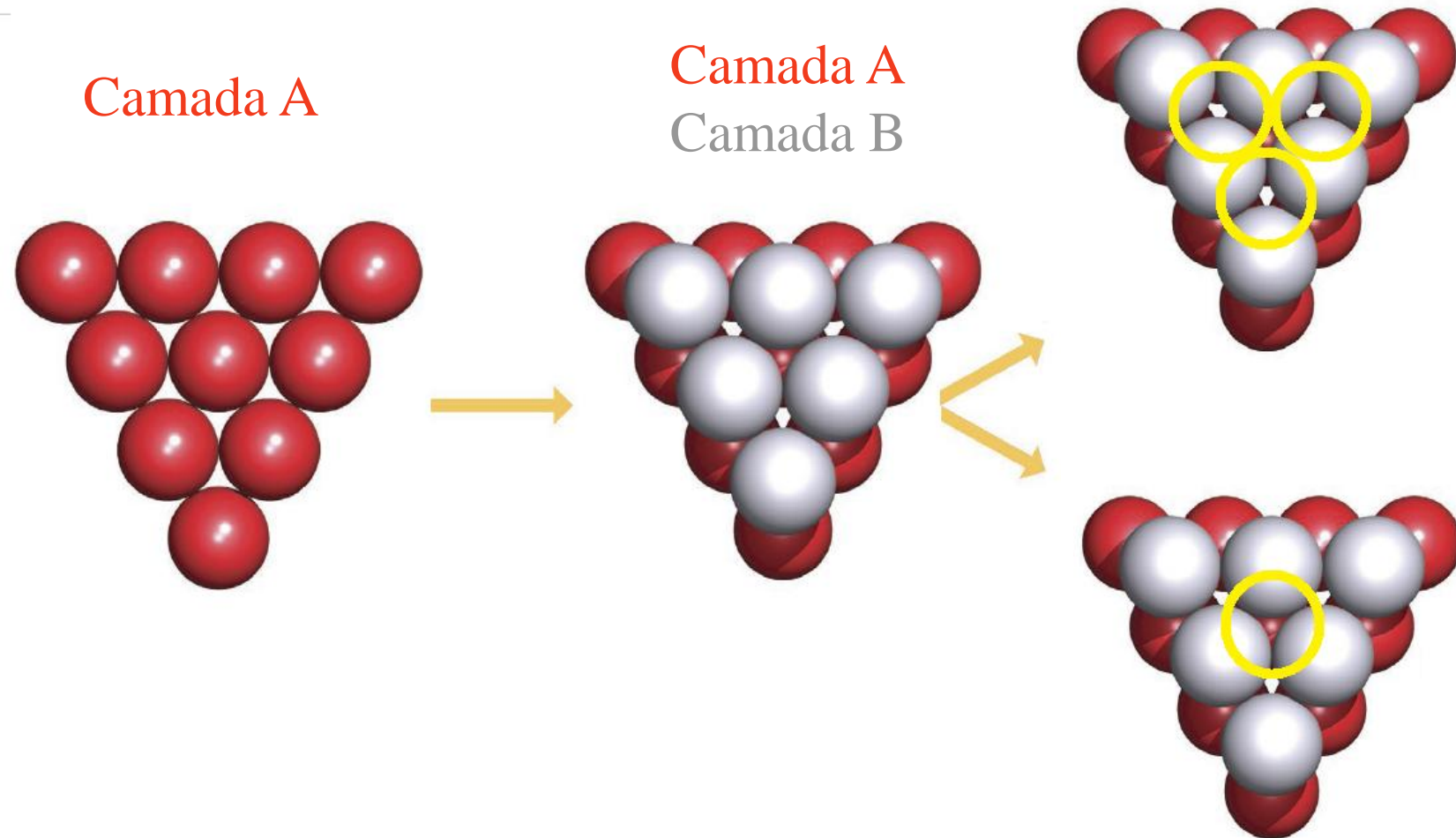


# Propriedades dos sólidos metálicos

## Arranjos compactos

Camada A

Camada A  
Camada B



# Propriedades dos sólidos metálicos

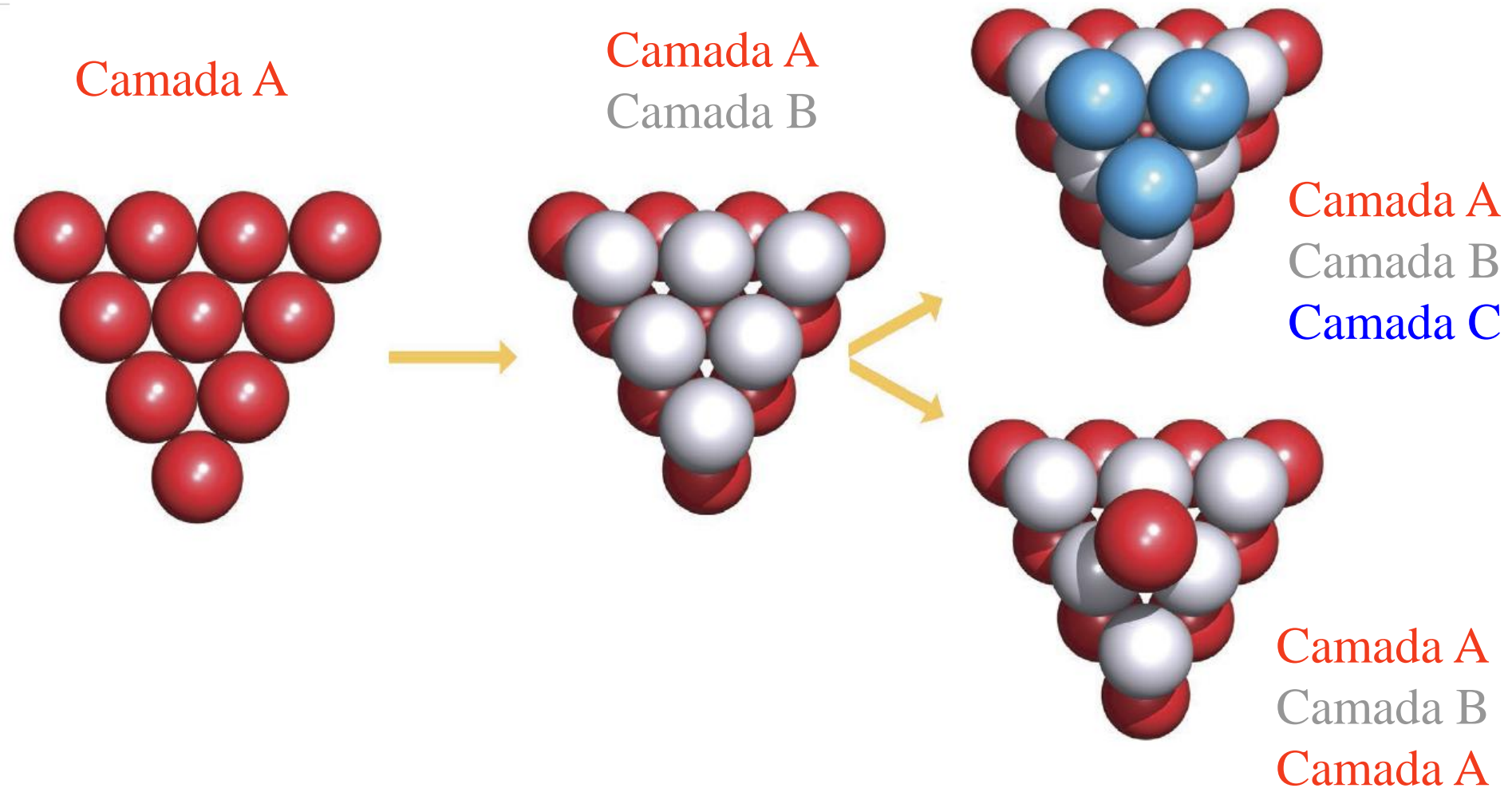
## Arranjos compactos

Camada A

Camada A  
Camada B

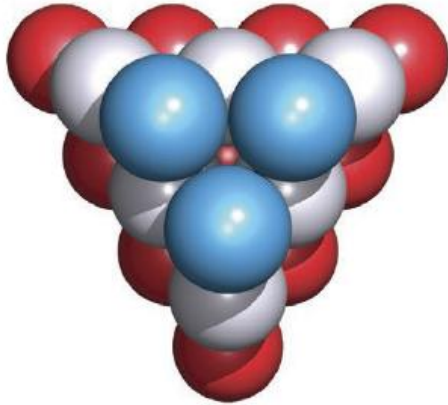
Camada A  
Camada B  
Camada C

Camada A  
Camada B  
Camada A

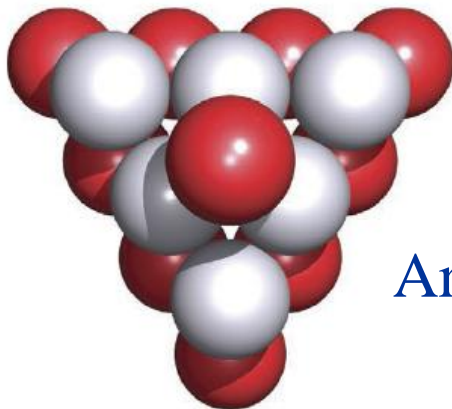


# Propriedades dos sólidos metálicos

## Arranjos compactos



Arranjo ABCABC: agrupamento compacto cúbico

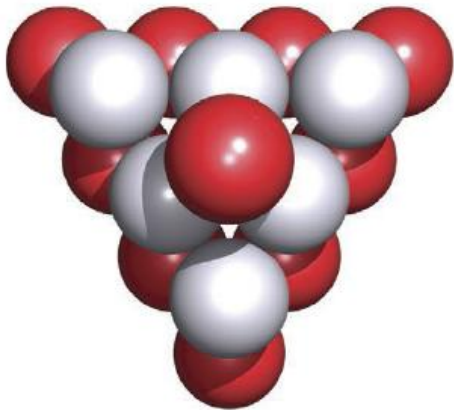


Arranjo ABAB: agrupamento compacto hexagonal

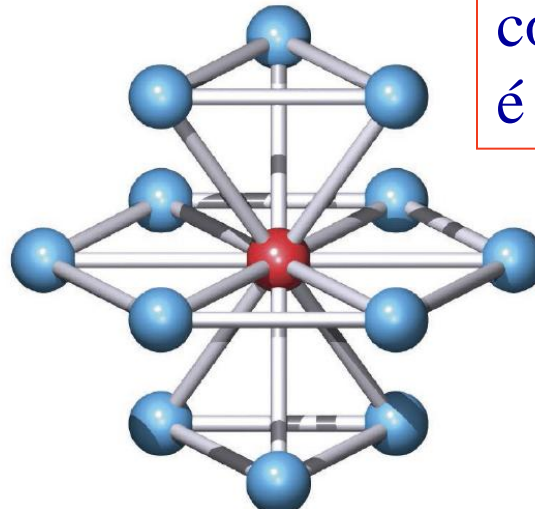
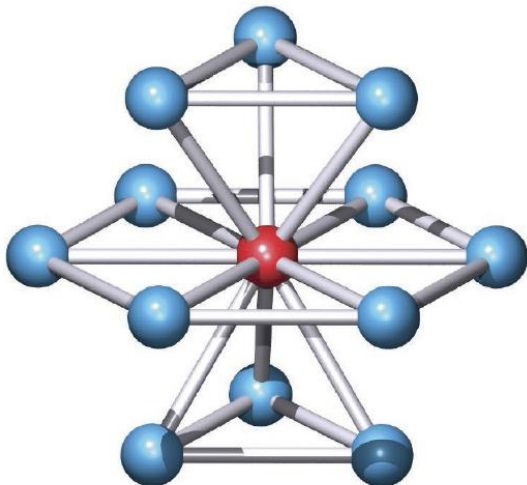
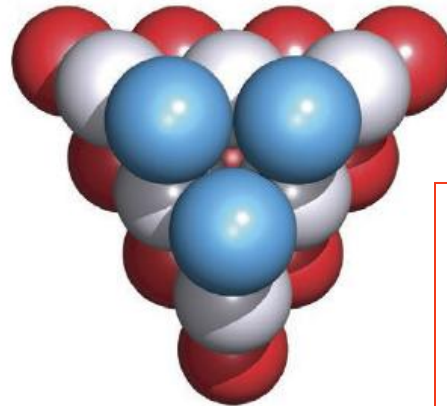
# Propriedades dos sólidos metálicos

## Arranjos compactos

*ABA*



*ABC*

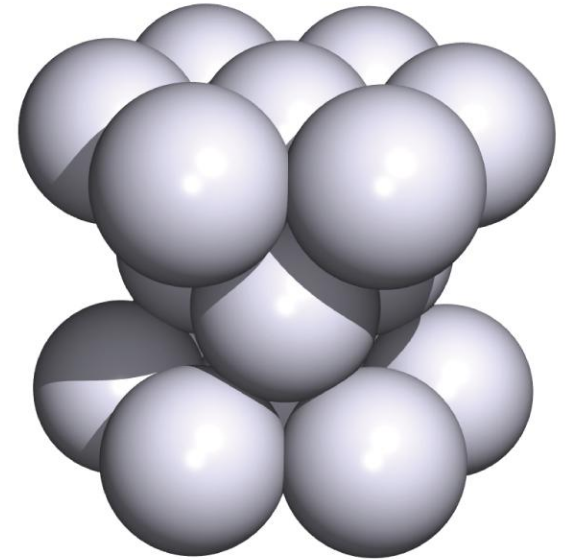
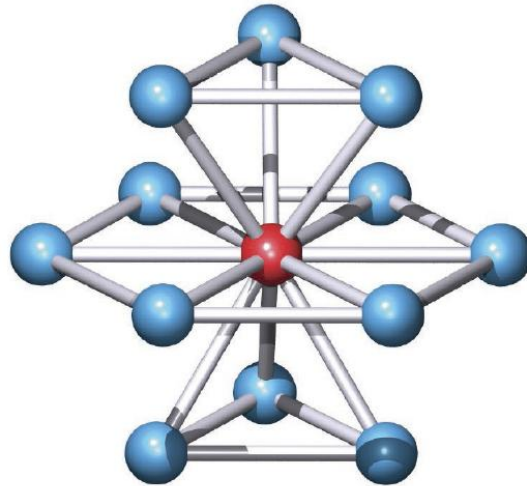
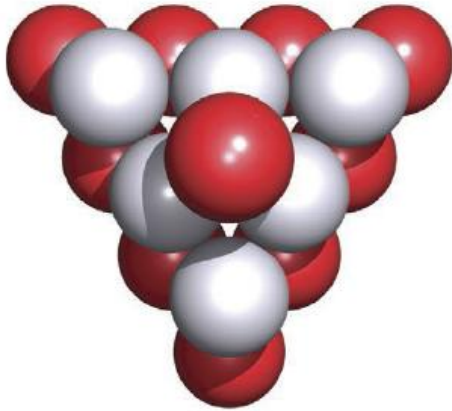


Em ambos os arranjos compactos, ABA e ABC, o número de coordenação dos átomos é 12

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Arranjos compactos hexagonais

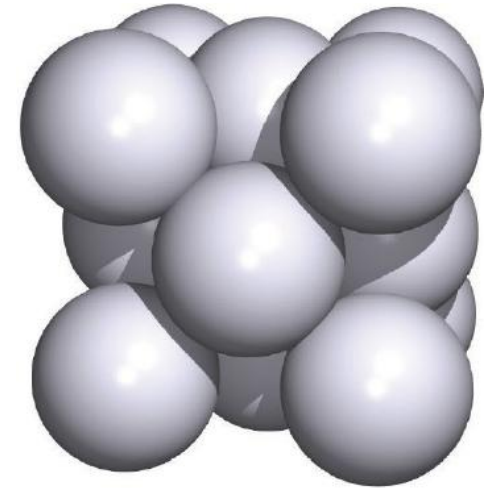
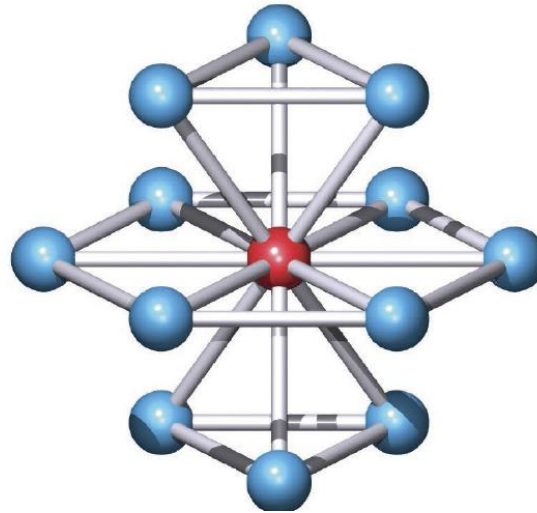
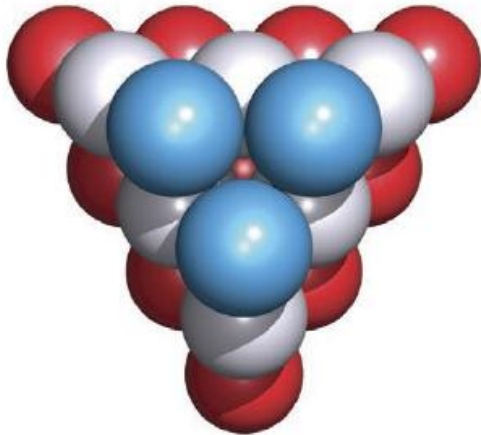
*ABA (agrupamento compacto hexagonal, ach)*



# Propriedades dos sólidos metálicos

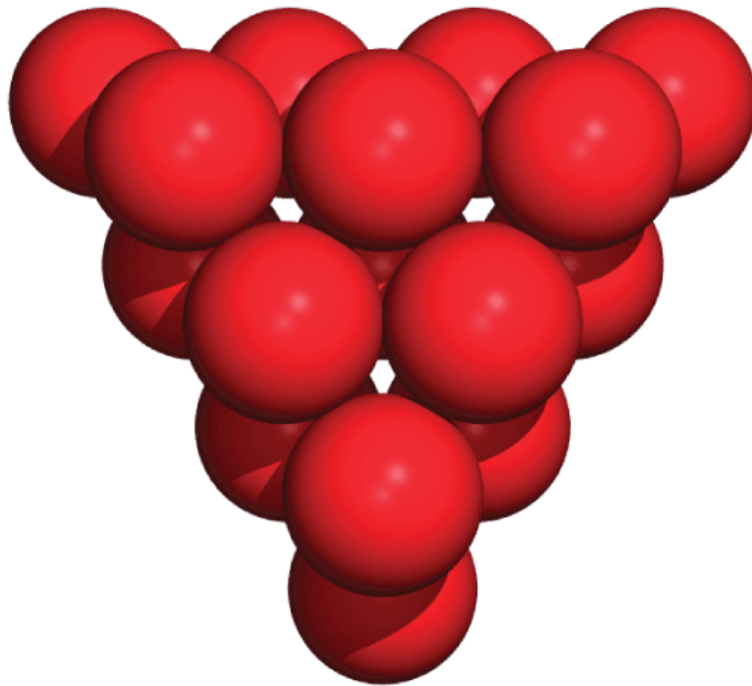
## Arranjos compactos hexagonais

*ABC (cúbico de face centrada, cfc)*

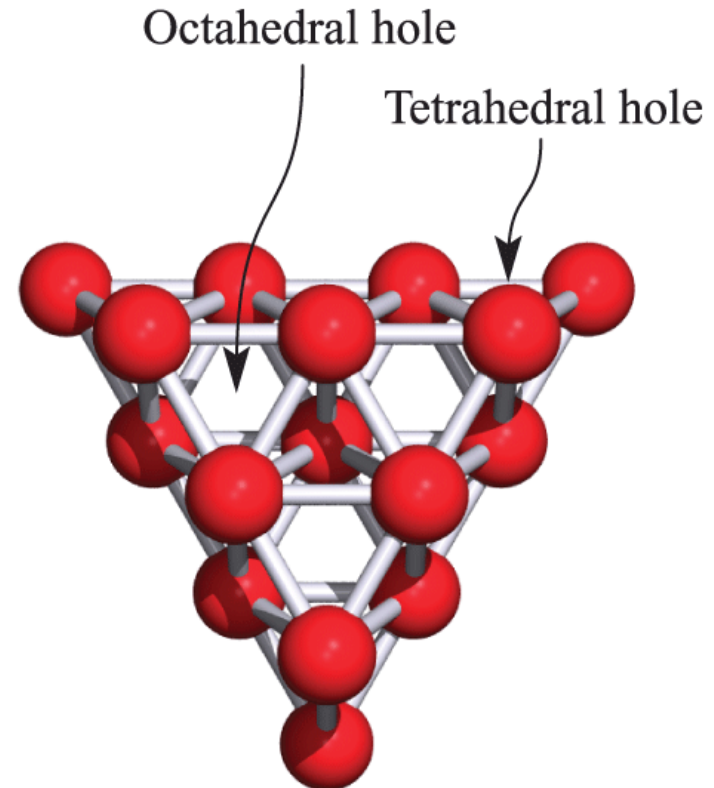


# Propriedades dos sólidos metálicos

## Buracos no arranjo compacto



(a)






(b)

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Estrutura dos sólidos metálicos

Li	Be									
Na	Mg									
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au
Fr	Ra									

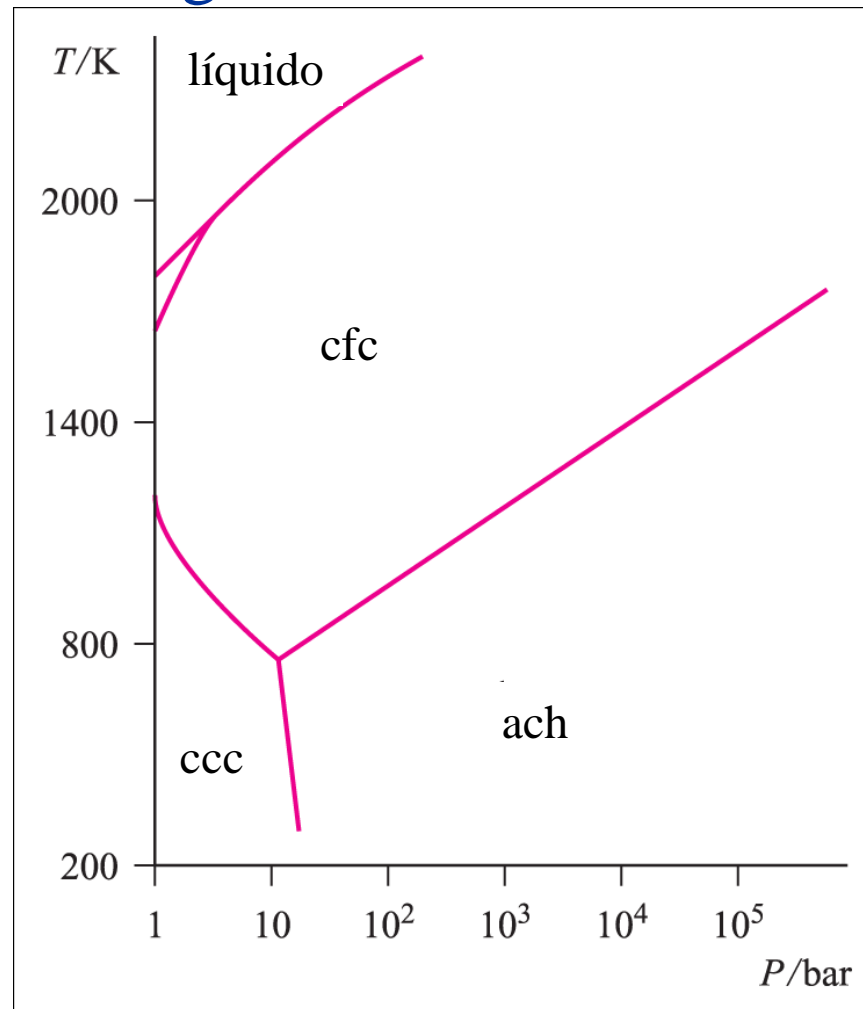
-  Cúbico de corpo centrado (ccc)
-  Empacotamento compacto hexagonal (*ech*)
-  Cúbico de face centrada (*cfc*)



# Propriedades dos sólidos metálicos

## Polimorfismo em metais

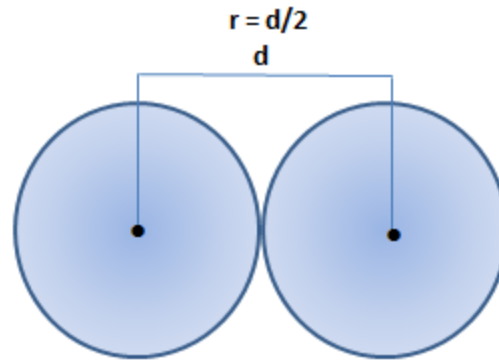
### Diagrama de fases do Fe



# Propriedades dos sólidos metálicos

## Raios metálicos

- Definido como a metade da distância entre os átomos vizinhos mais próximos em uma rede metálica no estado sólido;



- Varia com o número de coordenação:

Número de coordenação:	12	8	6	4
Raio relativo:	1,00	0,97	0,96	0,88

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Pontos de fusão

- Variam de  $-39^{\circ}\text{C}$  para o Hg (é líquido em temperatura ambiente), Cs e Ga ( $28^{\circ}\text{C}$  e  $30^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, sólidos em “temperatura ambiente” –  $25^{\circ}\text{C}$  – mas líquidos em dias quentes), até  $3422^{\circ}\text{C}$  para o W.
  - Menores pontos de fusão para os metais alcalinos:  
 $\text{Li} > \text{Na} > \text{K} > \text{Rb} > \text{Cs} > \text{Fr}$
  - Maiores pontos de fusão para os metais de transição localizados no meio do bloco *d*  
(mas com mais elétrons para as ligações, não era para ficar cada vez mais difícil a separação dos átomos – maior  $T_f$  – ao longo de todo o período??)

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Pontos de fusão, $\Delta H_{\text{sub}}^{\circ}$ , raios metálicos e estrutura cristalina

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Li ● 454 161 157	Be ◆ 1560 324 112													
Na ● 371 108 191	Mg ◆ 923 146 160													
												Al ● 933 330 143		
K ● 337 90 235	Ca ◆ 1115 178 197	Sc ◆ 1814 378 164	Ti ◆ 1941 470 147	V ● 2183 514 135	Cr ● 2180 397 129	Mn ver texto 1519 283 137	Fe ● 1811 418 126	Co ◆ 1768 428 125	Ni ● 1728 430 125	Cu ● 1358 338 128	Zn ver texto 693 130 137	Ga ver texto 303 277 153		
Rb ● 312 82 250	Sr ◆ 1040 164 215	Y ◆ 1799 423 182	Zr ◆ 2128 609 160	Nb ● 2750 721 147	Mo ● 2896 658 140	Tc ◆ 2430 677 135	Ru ◆ 2607 651 134	Rh ● 2237 556 134	Pd ● 1828 377 137	Ag ● 1235 285 144	Cd ver texto 594 112 152	In ver texto 430 243 167	Sn ver texto 505 302 158	
Cs ● 301 78 272	Ba ● 1000 178 224	La ◆ 1193 423 188	Hf ◆ 2506 619 159	Ta ● 3290 782 147	W ● 3695 850 141	Re ◆ 3459 774 137	Os ◆ 3306 787 135	Ir ● 2719 669 136	Pt ● 2041 566 139	Au ● 1337 368 144	Hg ver texto 234 61 155	Tl ◆ 577 182 171	Pb ● 600 195 175	Bi † 544 210 182

← Tipo de rede metálica  
 ← Ponto de fusão (K)  
 ← Entalpia-padrão de atomização (kJ mol<sup>-1</sup>)  
 ← Raio metálico para estrutura com número de coordenação 12 (pm)

● = ccc    ◆ = ach    ● = acc (cfc)

**Maiores pontos de fusão**

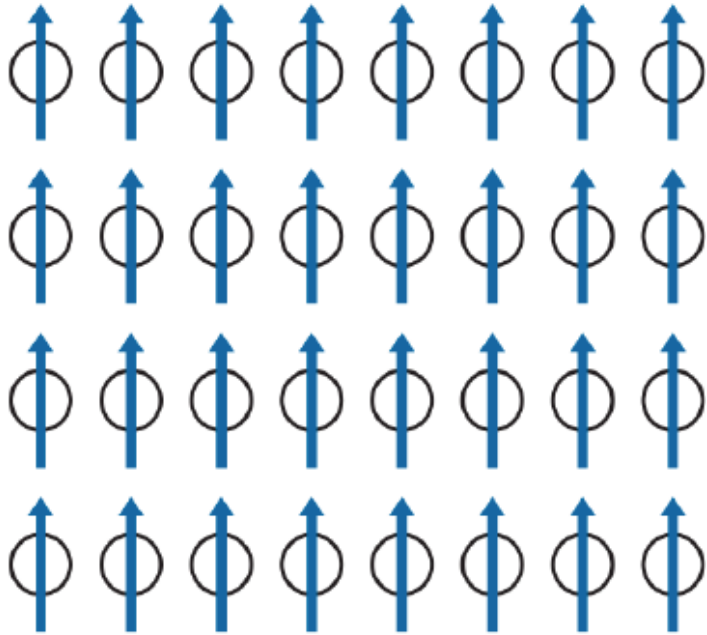
# Propriedades dos sólidos metálicos

## Magnetismo

- Paramagnetismo (presença de elétrons desemparelhados) e diamagnetismo (ausência de elétrons desemparelhados) ocorrem em átomos ou moléculas discretas
- Comportamentos magnéticos macroscópicos: ferromagnetismo, antiferromagnetismo e ferrimagnetismo;
- Nos materiais **ferromagnéticos** os elétrons não emparelhados são alinhados paralelamente aos seus vizinhos: *domínios magnéticos*,
- O alinhamento de todos os domínios magnéticos com um campo magnético externo é muito mais forte do que o do paramagnetismo e pode ser permanente.

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Ferromagnetismo



- Todos os domínios magnéticos dentro do metal se alinham com um campo magnético externo.

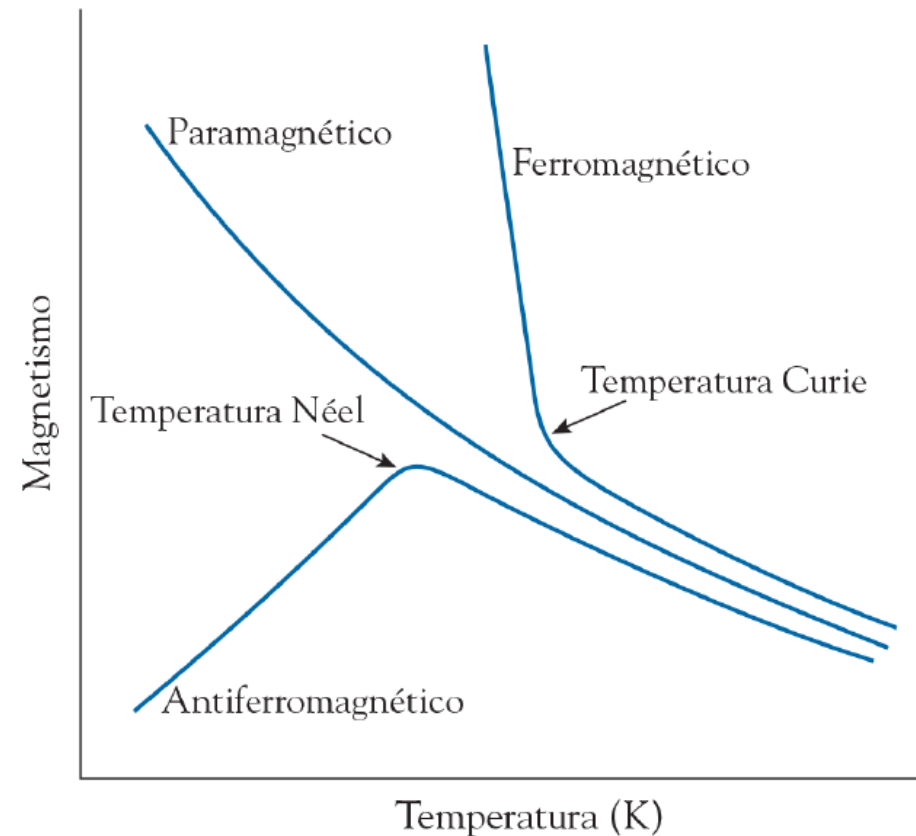
- É encontrado em metais que tem elétrons não emparelhados nos seus orbitais *d* e *f*.

- Acima da temperatura de Curie passam a ter comportamento paramagnético

- Apenas Fe, Co, Ni e Gd possuem temperatura de Curie acima de 0°C

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Ferromagnetismo



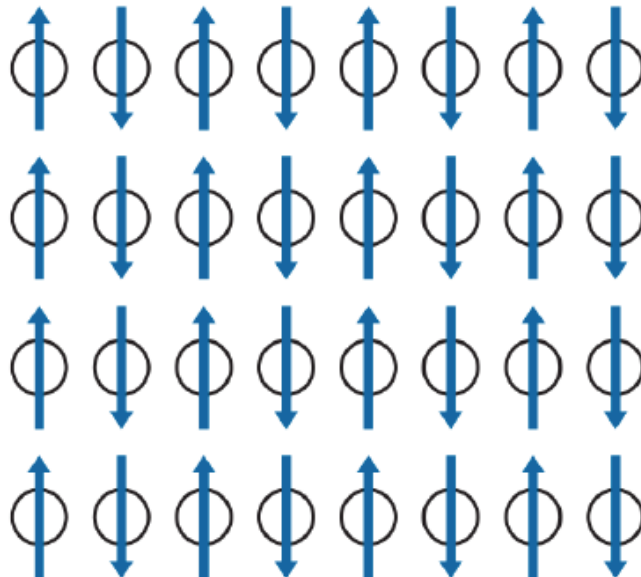
Acima da temperatura de Curie os domínios magnéticos colapsam e os metais passam a ter comportamento paramagnético

Apenas Fe, Co, Ni e Gd possuem temperatura de Curie acima de  $0^{\circ}\text{C}$

# Propriedades dos sólidos metálicos

## Antiferromagnetismo

- Nos materiais **ferromagnéticos** os elétrons não emparelhados são alinhados *paralelamente* aos seus vizinhos;
- Nos materiais **antiferromagnéticos** os elétrons não emparelhados são alinhados *antiparalelamente* aos seus vizinhos;

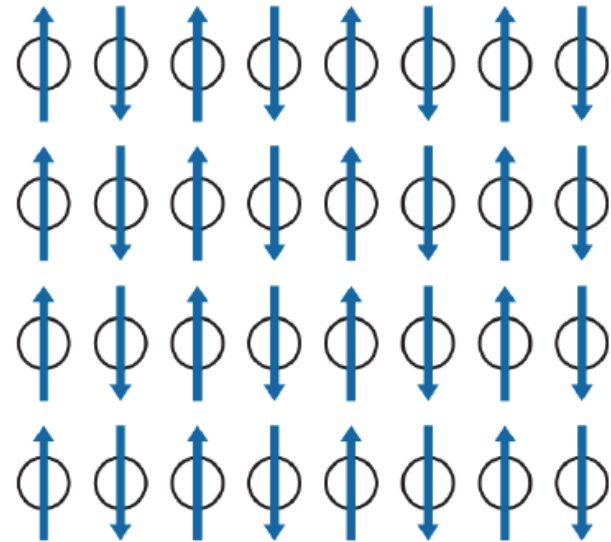
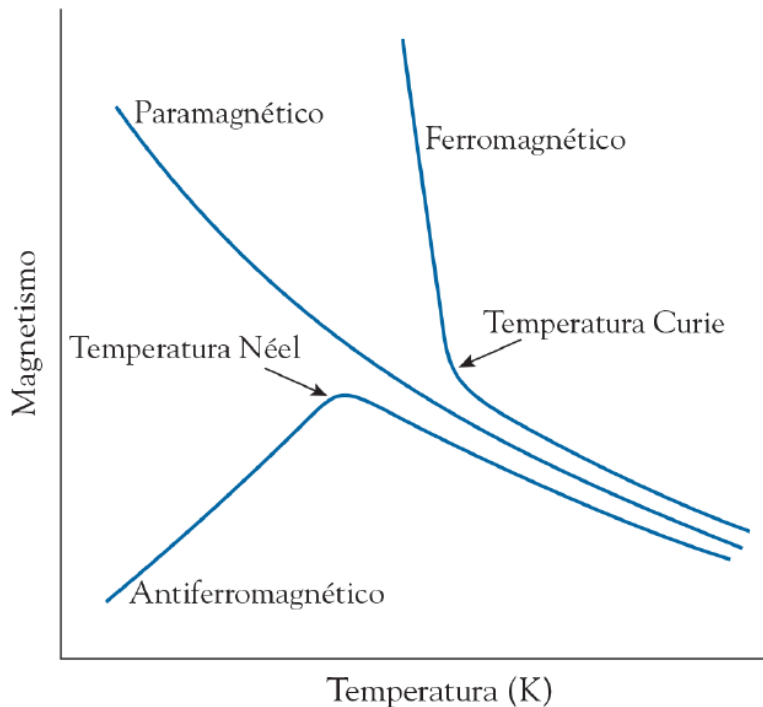




# Propriedades dos sólidos metálicos

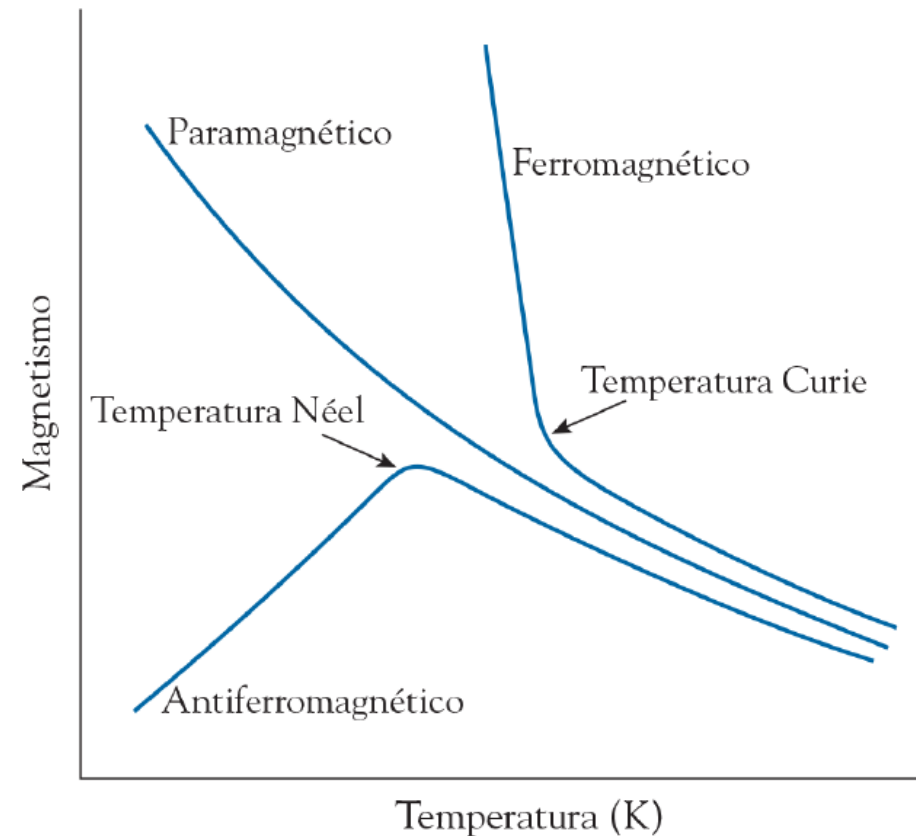
## Antiferromagnetismo

- Interação com um campo magnético externo mais fraca que o efeito paramagnético, mas apenas até a *temperatura de Néel*, após a qual o material antiferromagnético passa a ter um comportamento paramagnético.



# Propriedades dos sólidos metálicos

## Antiferromagnetismo



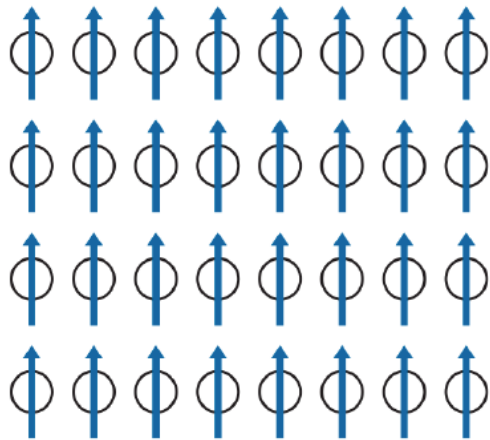
Acima da temperatura de Néel os domínios magnéticos antiparalelos colapsam e os metais antiferromagnéticos passam a ter comportamento paramagnético;

Apenas encontrado no Cr e nas ligas Fe-Mn.

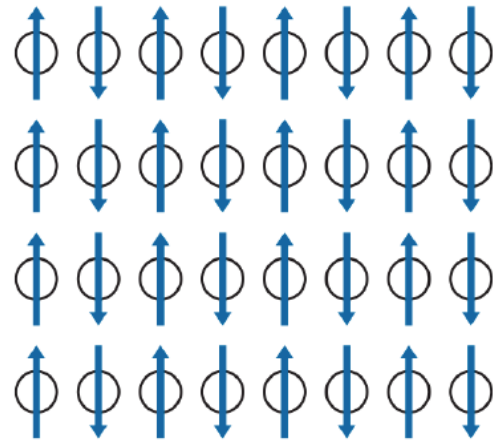
# Propriedades dos sólidos metálicos

## Ferrimagnetismo

- O número de spins opostos não é balanceado: magnetização líquida em uma direção.
- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (*magnetita*,  $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  composto de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ )



Ferromagnetismo



Antiferromagnetismo



Ferrimagnetismo