

[5] Estruturas cristalinas: índices de Miller

➤ **Cristais:** átomos ocupam posições pré-estabelecidas, de acordo com o sistema cristalino utilizado.

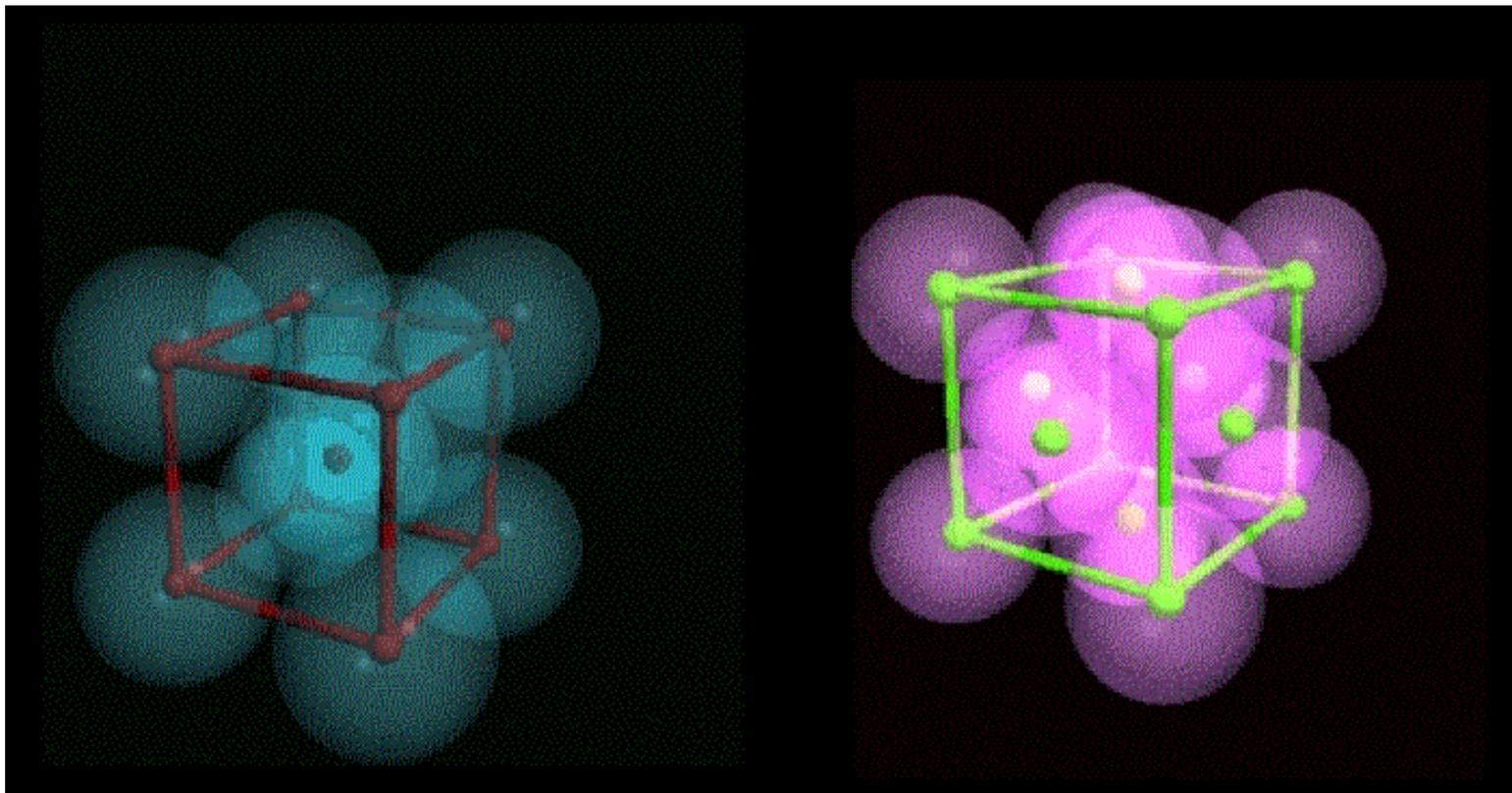
➤ **Propriedades**  dependem da orientação

Exemplos: permeabilidade magnética – CCC: {100}<001>
deformação plástica – CFC: {111}<110>
fratura frágil – HC: {0001}
módulo de elasticidade – Fe <111>

➤ **Orientação cristalográfica**  **direções cristalinas**
planos cristalinos

Estruturas cristalinas: índices de Miller

- **Índices de Miller:** notação utilizada para identificar direções e planos cristalinos.
- **Simbologia:** direções cristalinas – $[hkl]$ ou $\langle hkl \rangle$

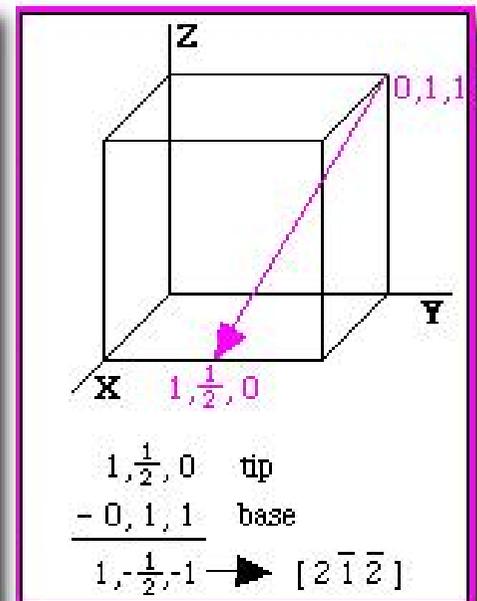
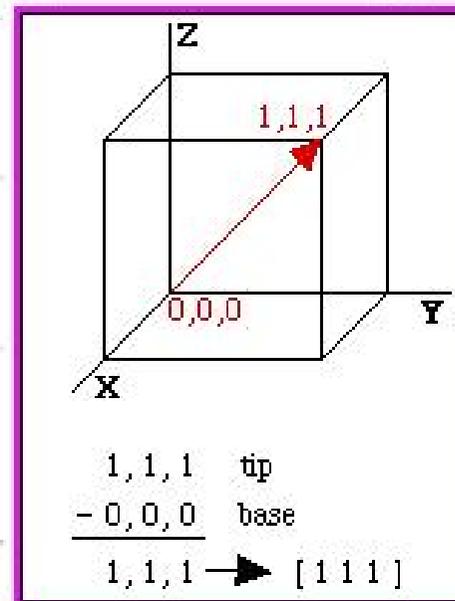
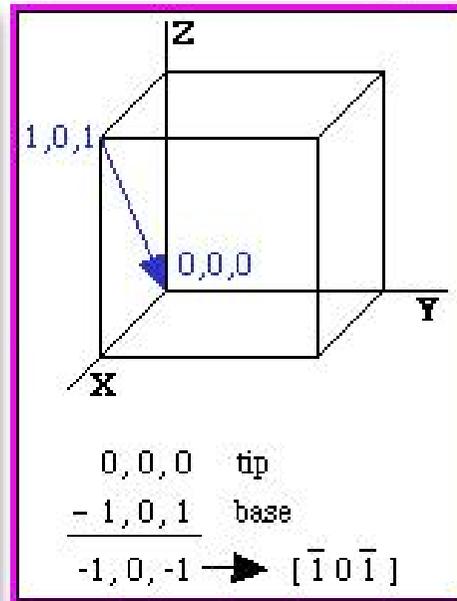
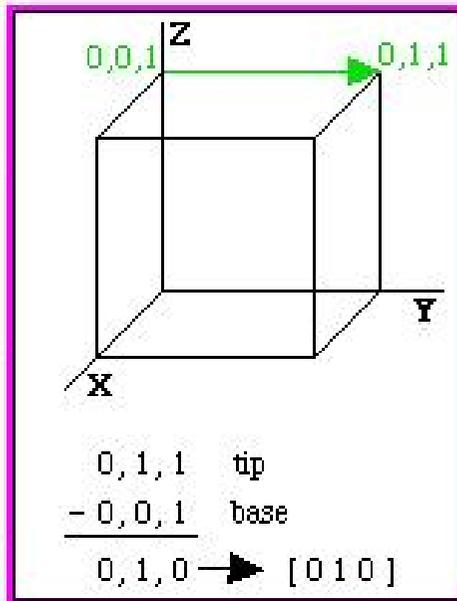


CCC

CFC

Estruturas cristalinas: índices de Miller

- Direções cristalinas em estruturas cúbicas – $[hkl]$ ou $\langle hkl \rangle$

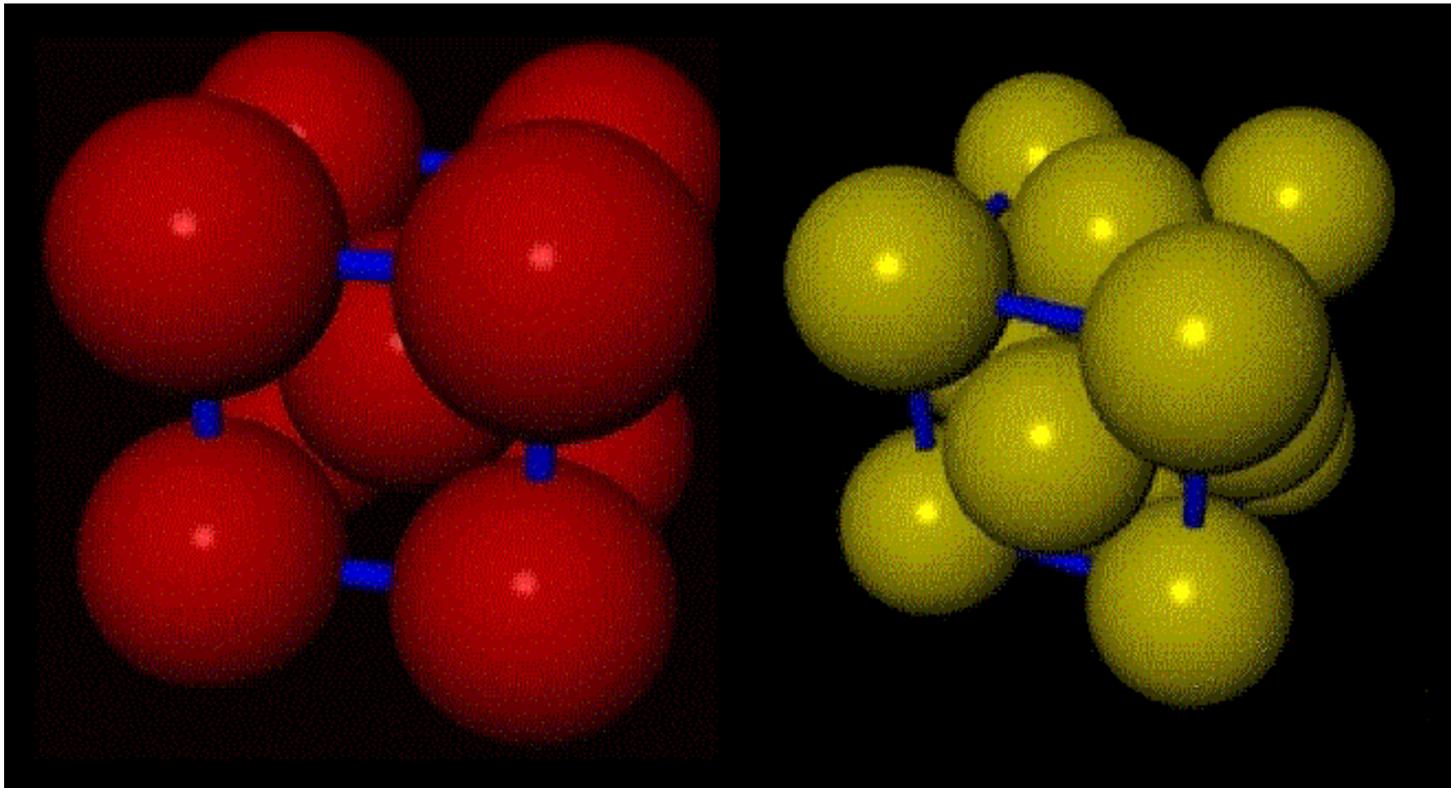


Regras:

- Estabeleça a origem do sistema de coordenadas
- Determine as coordenadas da base do “vetor”
- Determine as coordenadas da ponta do “vetor”
- Subtraia as coordenadas
- Caso necessário racionalize os índices $[hkl]$ para números inteiros

Estruturas cristalinas: índices de Miller

- **Índices de Miller:** notação utilizada para identificar direções e planos cristalinos.
- **Simbologia:** planos cristalinos – (hkl) ou $\{hkl\}$

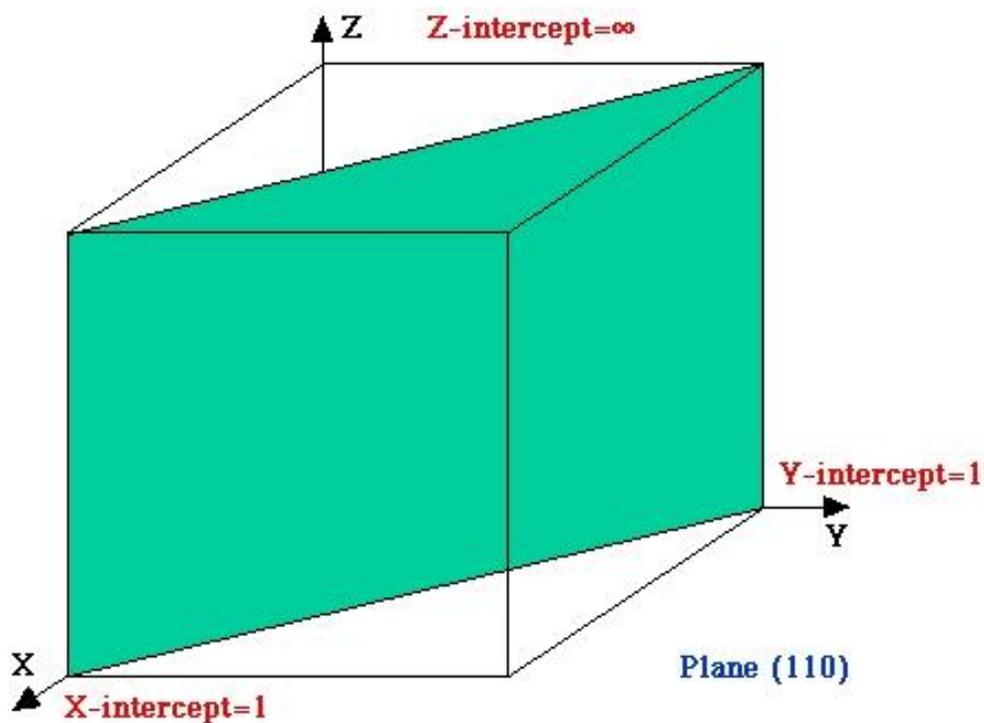


CCC

CFC

Estruturas cristalinas: índices de Miller

- Planos cristalinos em estruturas cúbicas – (hkl) ou $\{hkl\}$



X	Y	Z
1	1	∞
$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{\infty}$
1	1	0

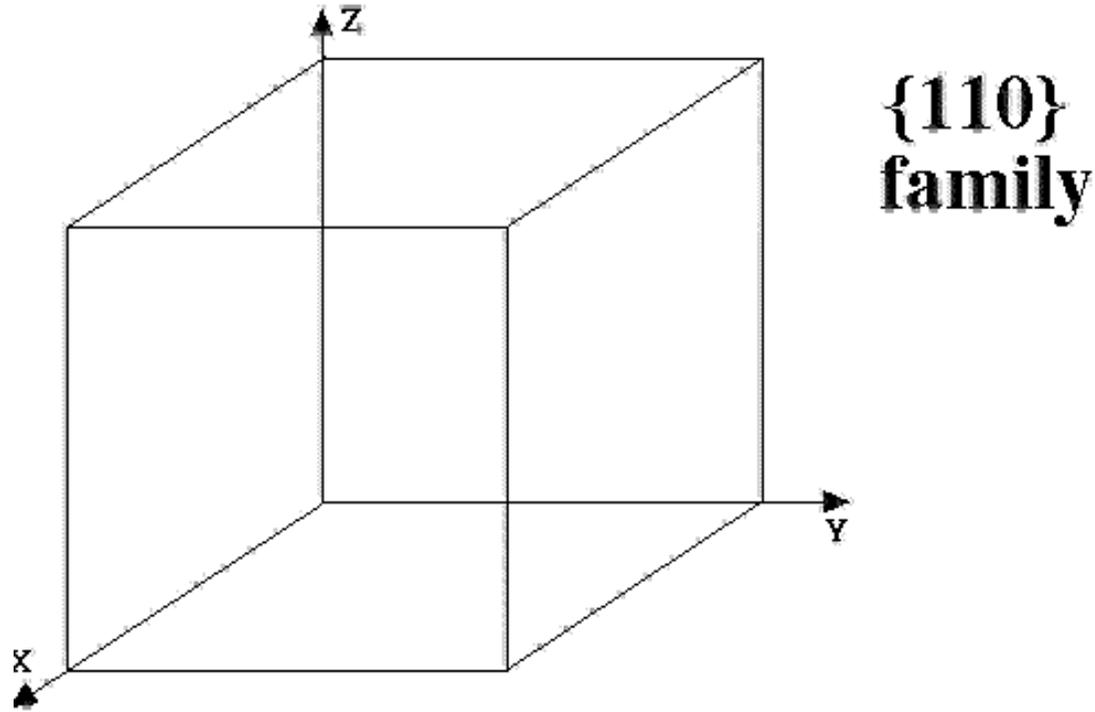
Plano (110)

Regras:

- Estabeleça a origem do sistema de coordenadas
- Determine as coordenadas dos pontos de interseção do plano
- Determine os valores recíprocos
- Caso necessário racionalize os índices (hkl) para números inteiros

Estruturas cristalinas: índices de Miller

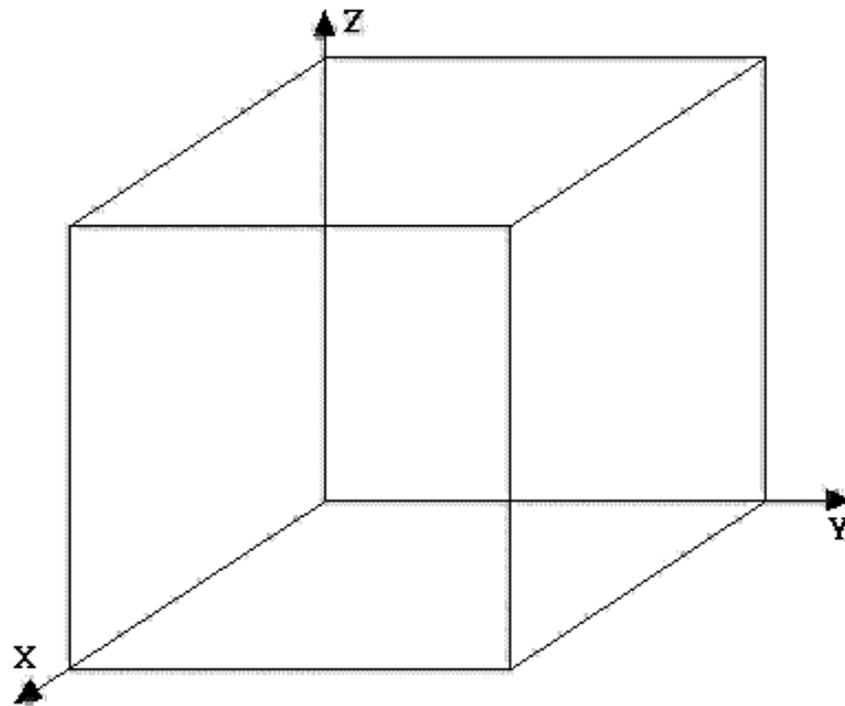
- Família de planos $\{110\}$:



Multiplicidade: 12

Estruturas cristalinas: índices de Miller

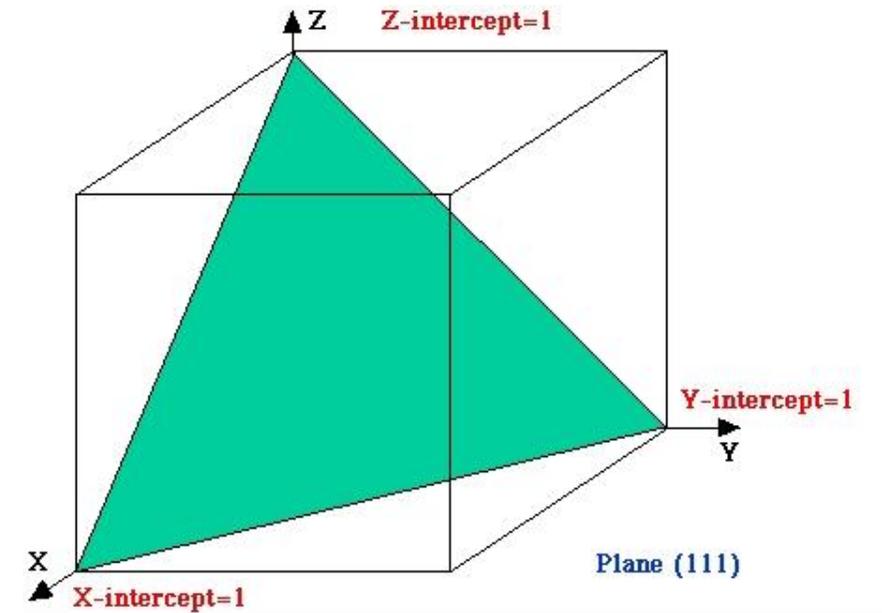
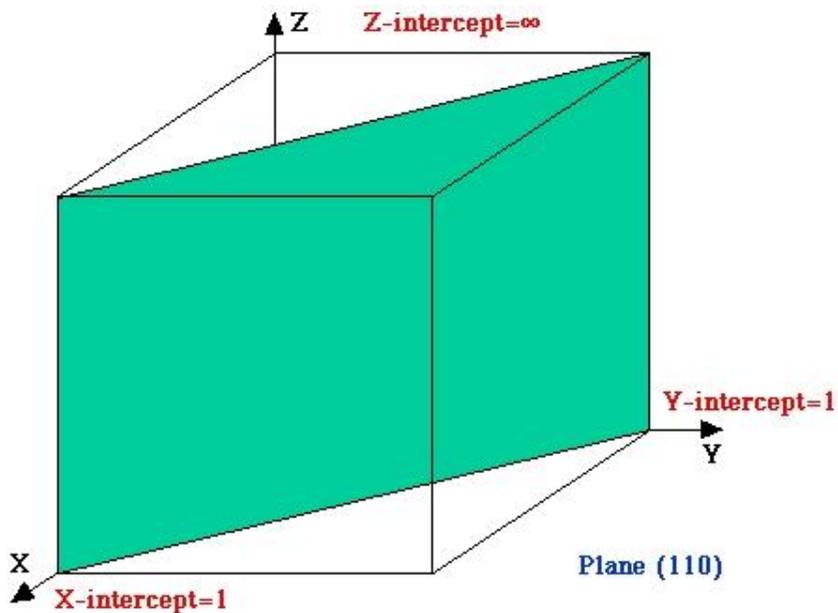
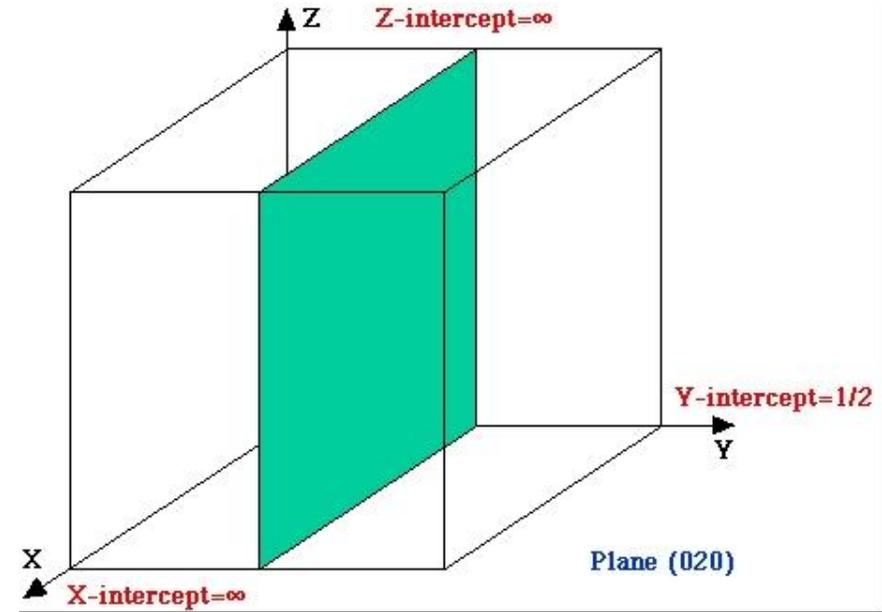
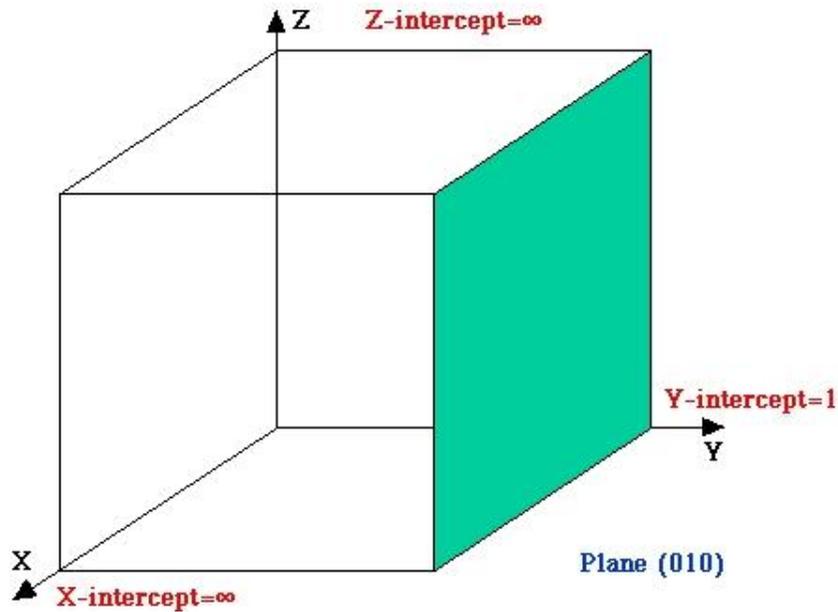
- Família de planos $\{111\}$:



Multiplicidade: 8

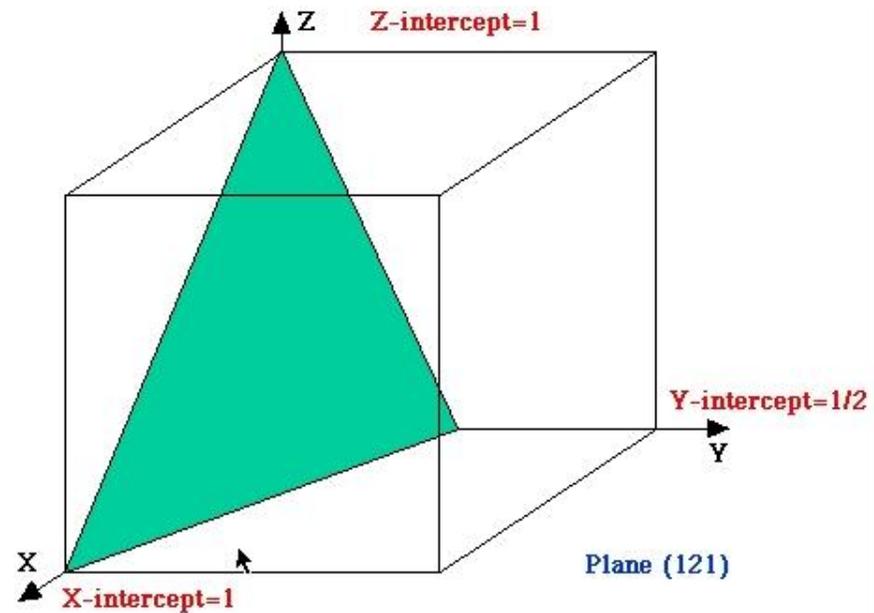
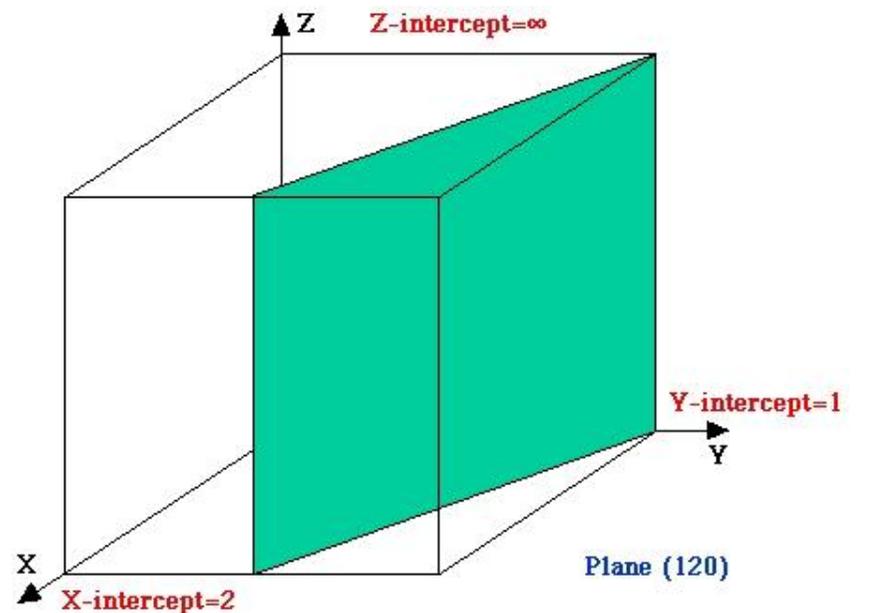
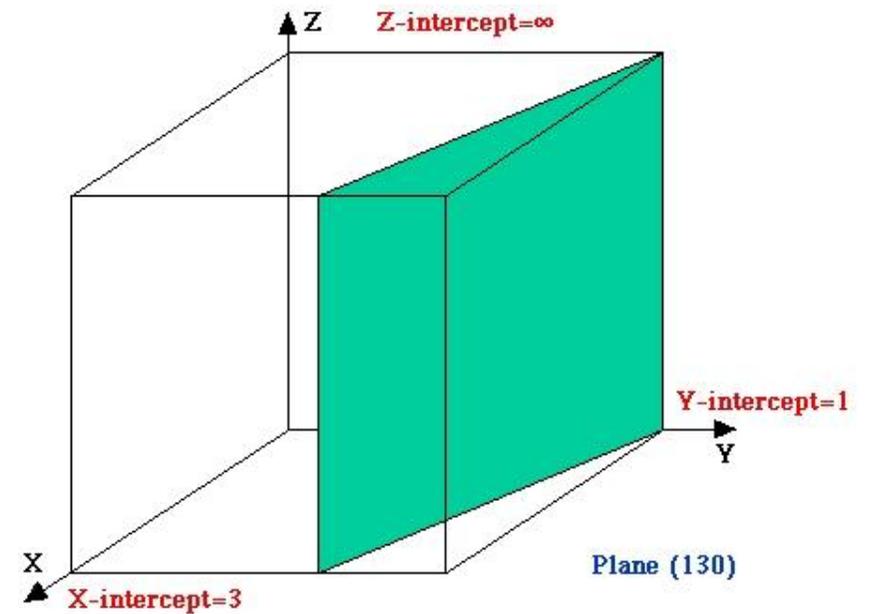
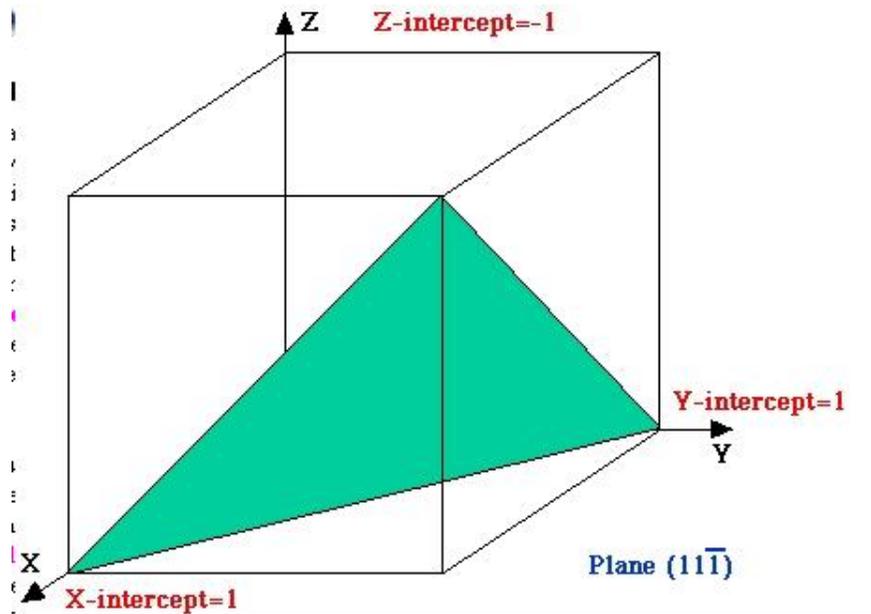
Estruturas cristalinas: índices de Miller

▶ Planos (hkl):



Estruturas cristalinas: índices de Miller

▶ Planos (hkl):



Estruturas cristalinas: índices de Miller

➤ Cristais hexagonais HC:

Parâmetros de rede – **a** e **c**

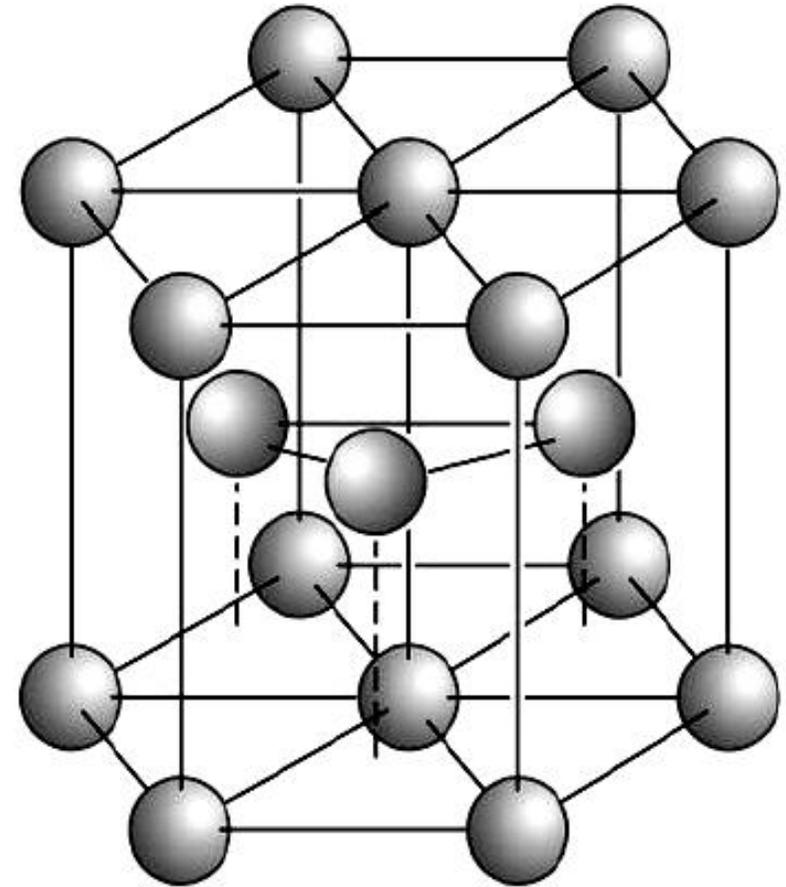
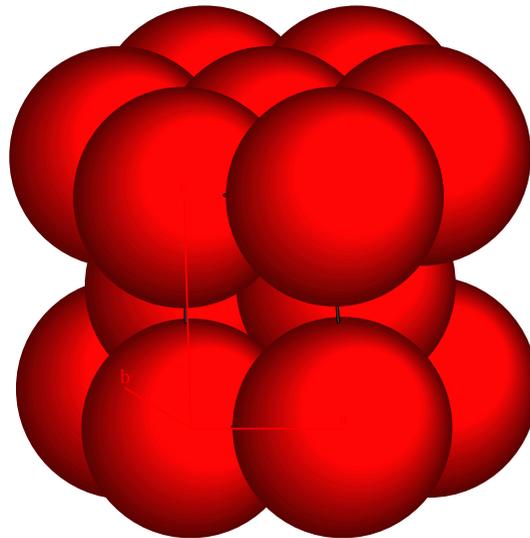
1/6 de átomo por vértice da base

+

1/2 átomo em base hexagonal

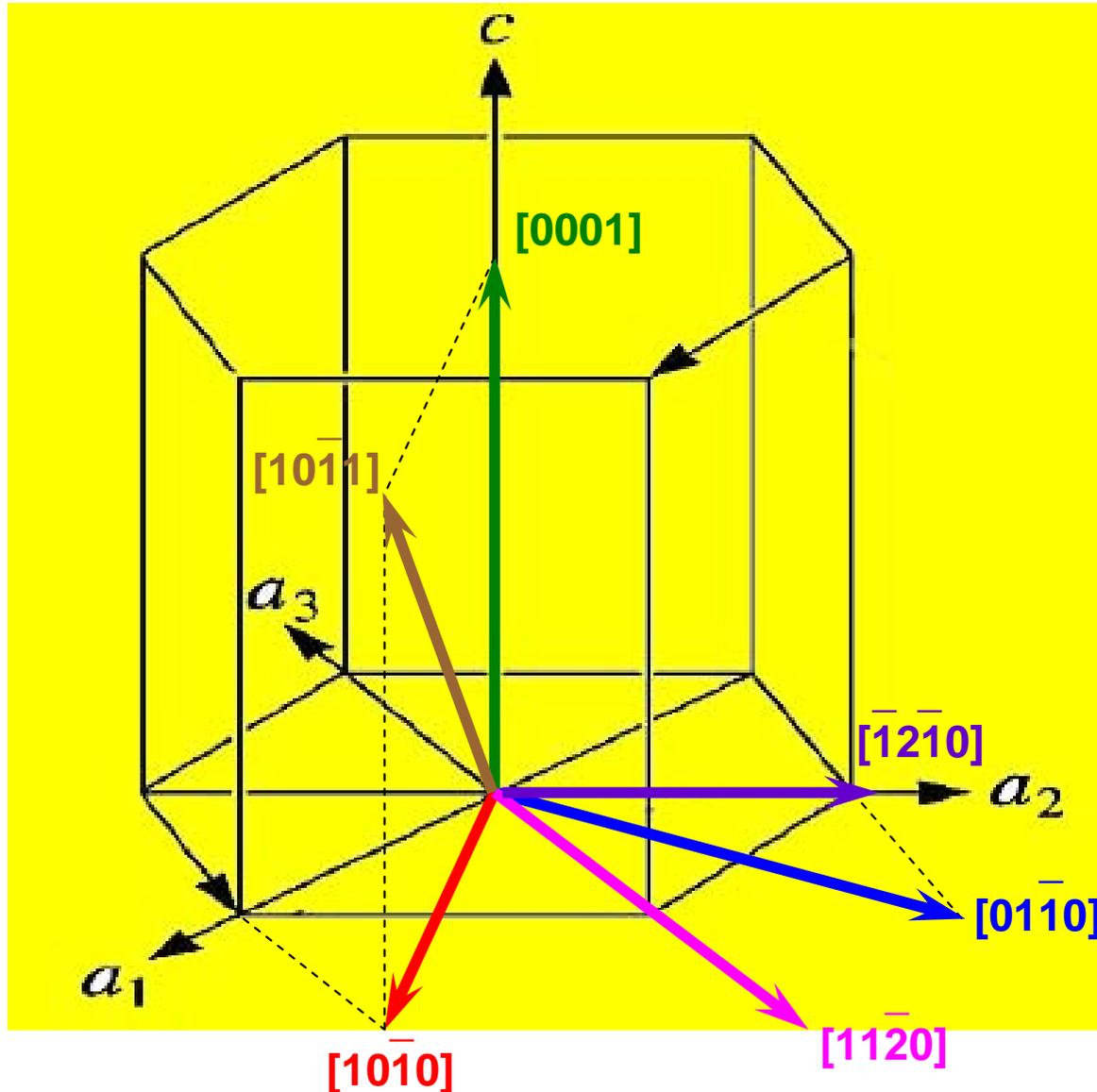
+

3 átomos no interior da célula



Estruturas cristalinas: índices de Miller

➤ Cristais hexagonais:



Índices de Miller:

Direções cristalinas
[hkil] ou [hk·l]

$$i = -(h + k)$$

$[10\bar{1}0]$

$[01\bar{1}0]$

$[0001]$

$[10\bar{1}1]$

$[11\bar{2}0]$

$[1\bar{2}10]$

Estructuras cristalinas: índices de Miller

➤ Índices de Miller:

Planos cristalinos
(hki) ou (hk·l)

$$i = -(h + k)$$

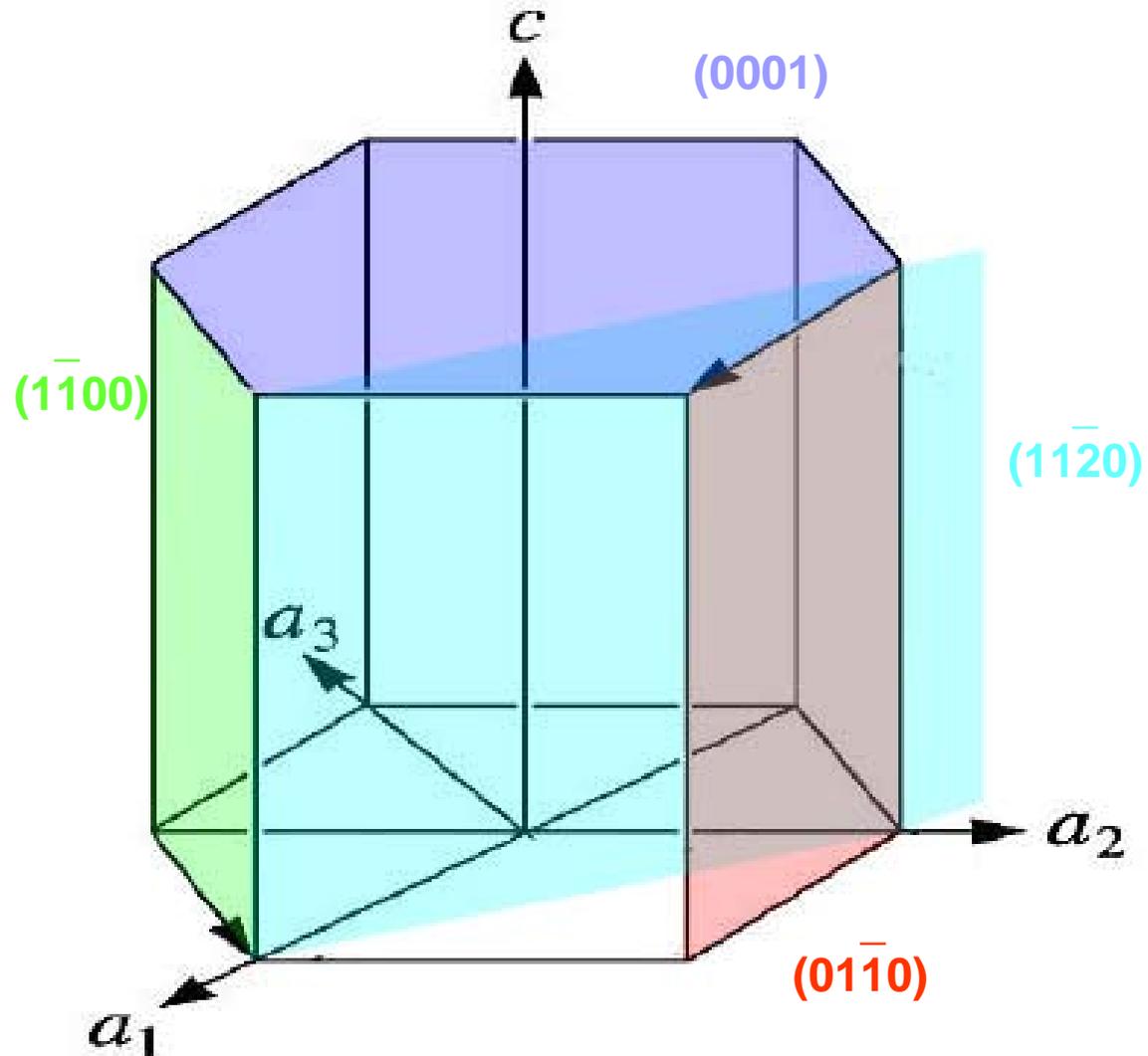
Cristal hexagonal

(0001)

(01 $\bar{1}$ 0)

(1 $\bar{1}$ 00)

(11 $\bar{2}$ 0)



Estruturas cristalinas: índices de Miller

➤ Espaçamento interplanar:

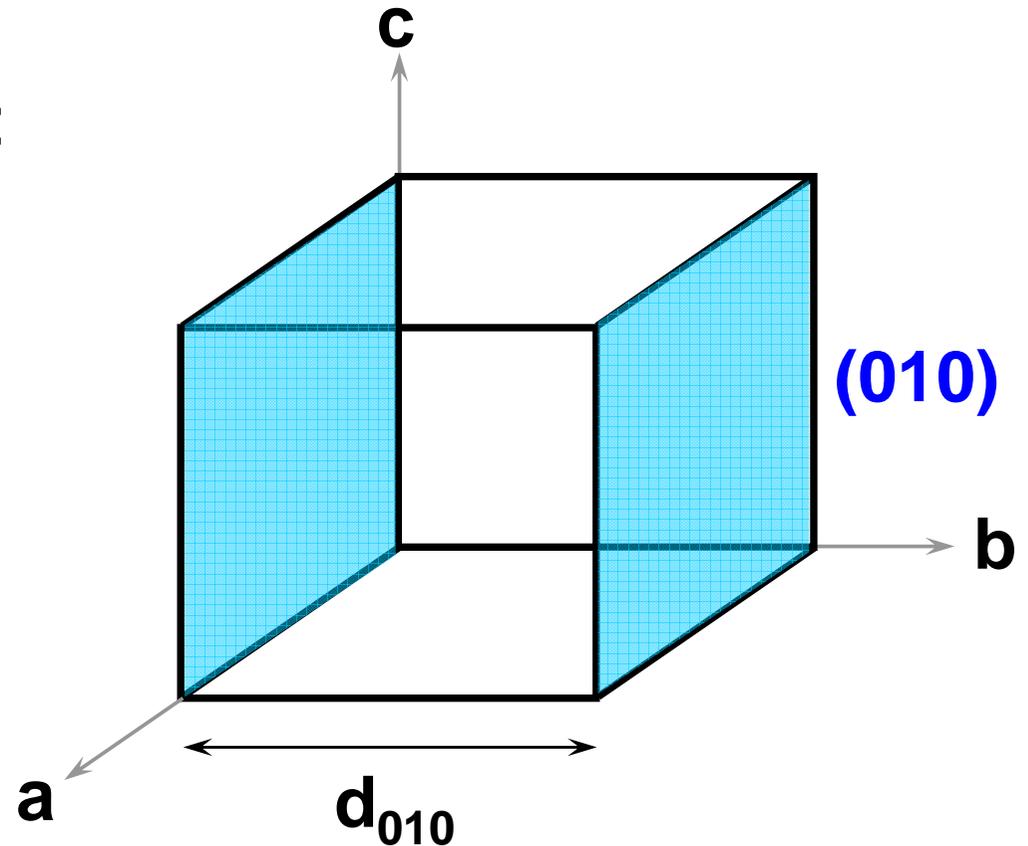
$$d_{hkl}$$

➤ metais cúbicos:

$$d_{hkl} = \frac{a_0}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

➤ metais hexagonais:

$$d_{hkl} = \sqrt{\left(\frac{3 \cdot a_0^2}{h^2 + h \cdot k + k^2} + \frac{c^2}{l^2} \right)}$$



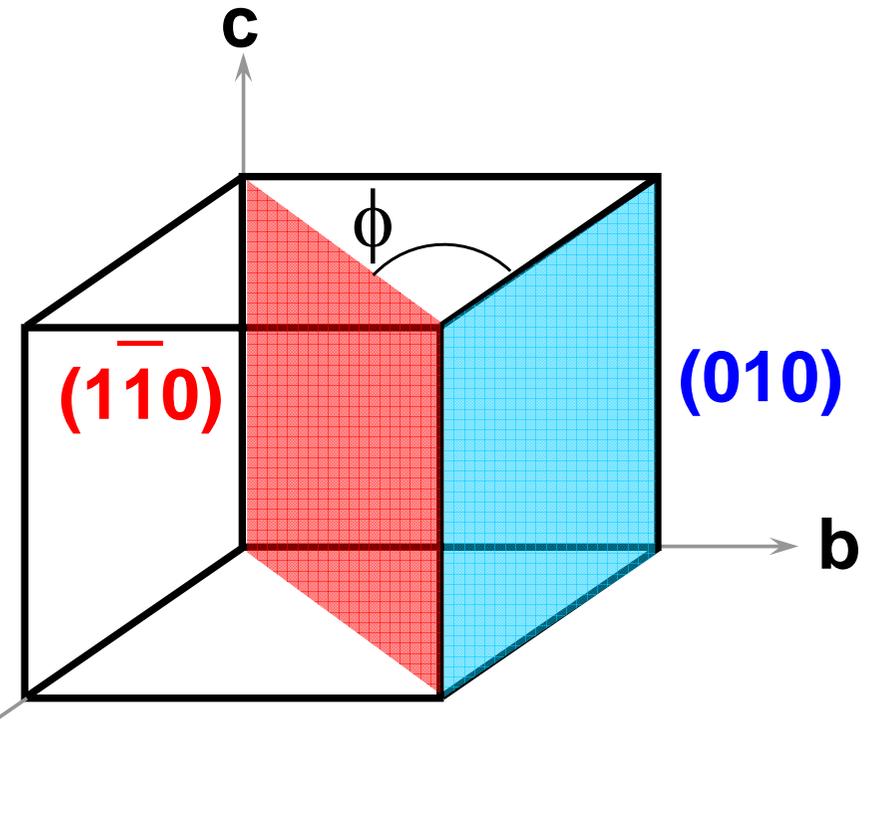
Estruturas cristalinas: índices de Miller

➤ Ângulo interplanar ϕ :

➤ metais cúbicos:

$$\cos \phi = \frac{h_1 \cdot h_2 + k_1 \cdot k_2 + l_1 \cdot l_2}{\sqrt{(h_1^2 + k_1^2 + l_1^2) \cdot (h_2^2 + k_2^2 + l_2^2)}}$$

a



➤ metais hexagonais:

$$\cos \phi = \frac{h_1 \cdot h_2 + k_1 \cdot k_2 + \frac{1}{2}(h_1 \cdot k_2 + k_1 \cdot h_2) + \frac{3a^2}{4c^2} \cdot l_1 \cdot l_2}{\sqrt{(h_1^2 + k_1^2 + h_1 \cdot k_1 + \frac{3a^2}{4c^2} l_1^2) \cdot (h_2^2 + k_2^2 + h_2 \cdot k_2 + \frac{3a^2}{4c^2} l_2^2)}}$$

Estruturas cristalinas: índices de Miller

Bibliografia:

- Van Vlack, L. H. Princípios de Ciência dos Materiais. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1970, pp. 53-66.
- Guy, A. G. Ciência dos Materiais. LTC/Edusp, São Paulo, 1980, pp. 20-33.
- Reed-Hill, R. E. Princípios de Metalurgia Física. Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1982, pp. 4-21.
- Cullity, B. D. Elements of X-Ray Diffraction. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, 1978, pp. 33-58.