

# METAIS E LIGAS

Parte 1



Prof. Dr. Leonardo Eloy Rodrigues Filho

Química

Física

Mecânica

# METALURGIA



# Metalurgia Física

natureza  
estrutura  
propriedades



# Metalurgia Mecânica

## fundição

## cad/cam



# METAIS

## DEFINIÇÃO - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

- é um elemento, substância ou liga em que os átomos e suas ligações estão arranjados em forma muito ordenada.
- possuem núcleos iônicos na sua estrutura atômica, e um, dois ou no máximo três elétrons de valência.
- os elétrons de valência possuem certa liberdade por ser pouco atraído pelo núcleo do átomo, o que lhes confere certa liberdade, favorecendo a formação de cátions e a ligação iônica dos metais a elementos não-metálicos.
- são relativamente densos em comparação aos polímeros e as cerâmicas.



# METAIS

## DEFINIÇÃO - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

- estruturas tipicamente **cristalinas** ( os átomos estão posicionados em um arranjo repetitivo ou periódico ao longo de grandes distâncias atômicas )
- **bons condutores térmicos e de eletricidade devido a sua estrutura atômica e principalmente pelos elétrons de valência**



# METAIS

*“Metal é uma substância química opaca brilhante, boa condutora de calor e eletricidade e, quando polida, boa refletora de luz” (Metals Handbook, 1992).*



# METAIS

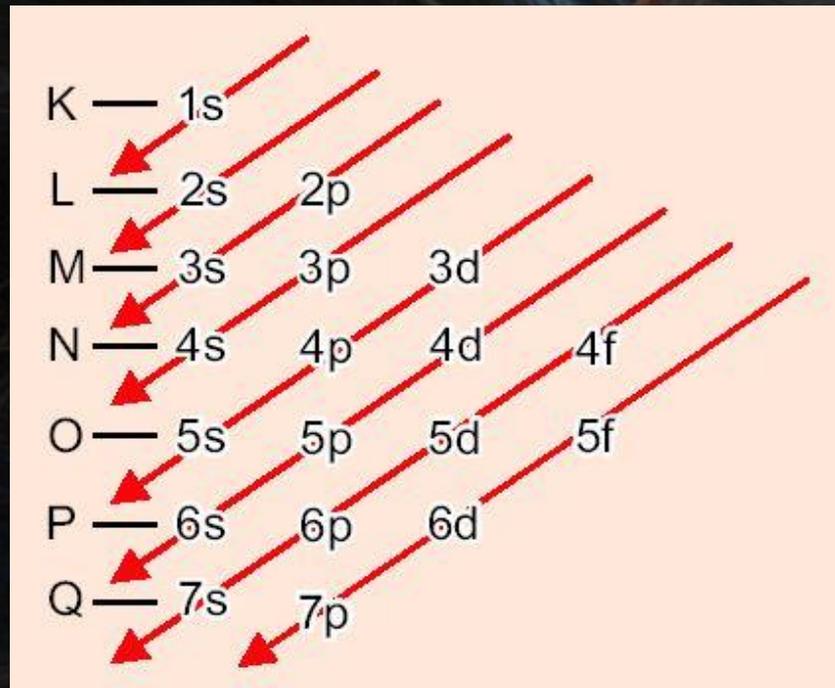
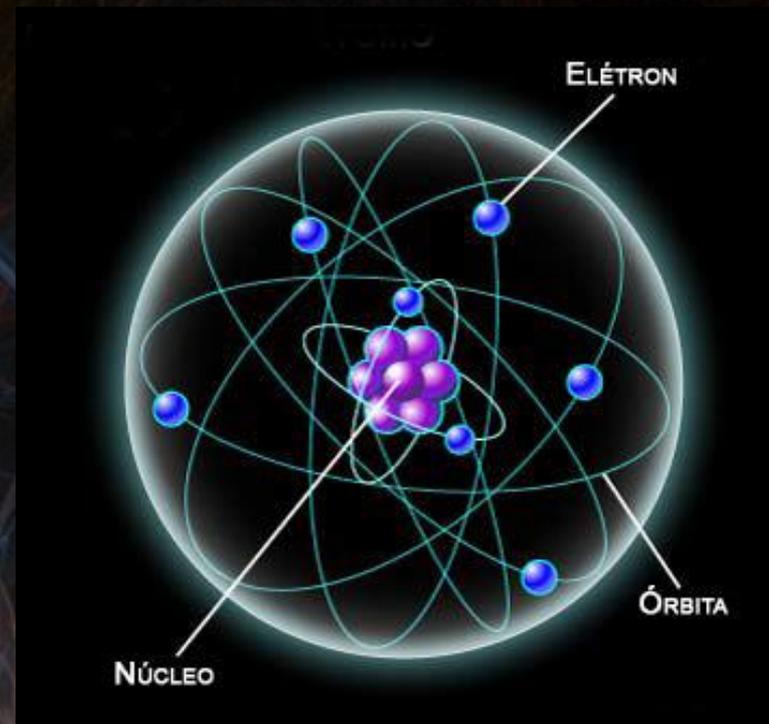
## DEFINIÇÃO (QUÍMICA):

“Todo elemento que em solução se ioniza positivamente”

*(Materiales Dentales, Macchi, 1980)*



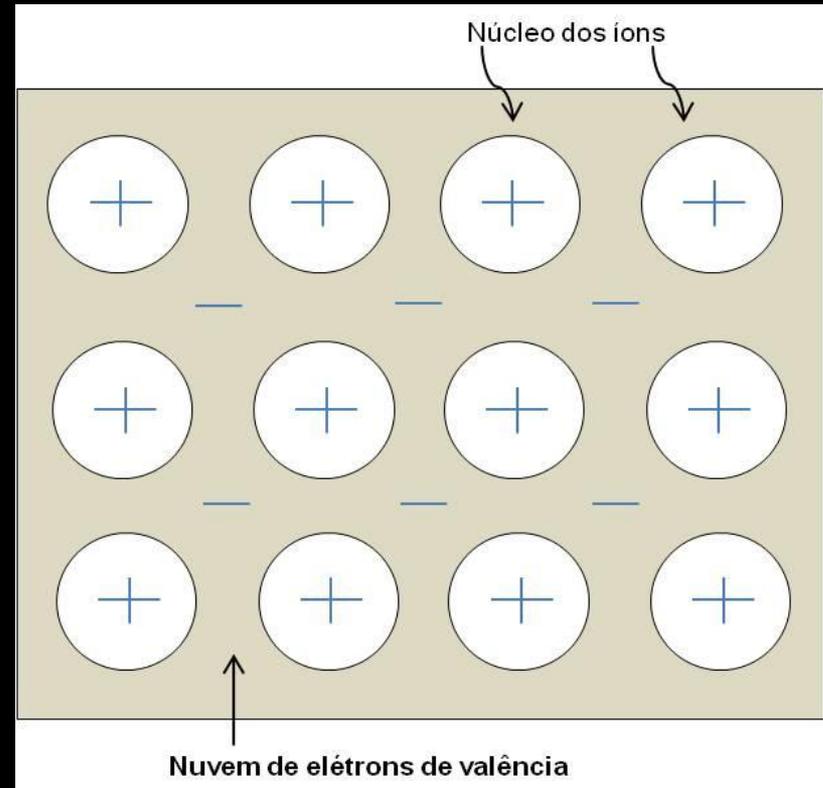
# ÁTOMO





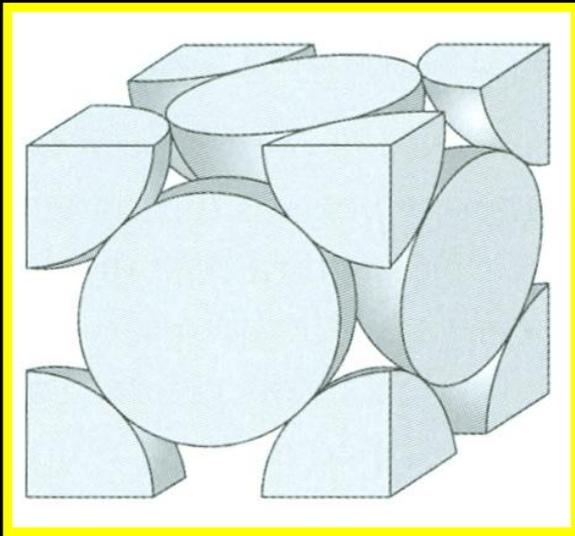
# LIGAÇÕES

- Ligações Primárias
- Liberdade dos Elétrons de Valência
- Superfície – Presença da Nuvem de Elétrons
- Demais Elétrons formam os Núcleos Iônicos

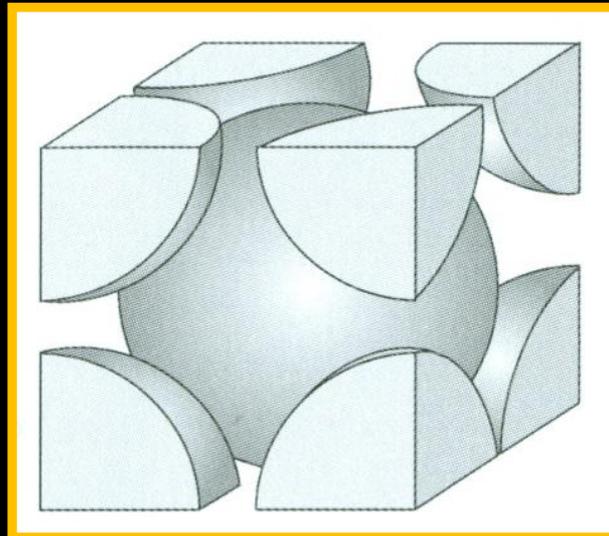


# Estruturas Cristalinas dos Metais

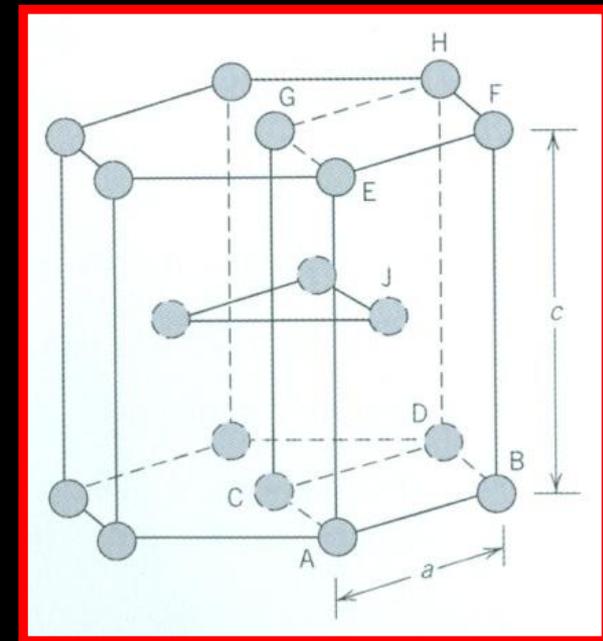
- Cúbica de Face Centrada
- Cúbica de Corpo Centrado
- Hexagonal Compacta



FEA = 0,74



FEA = 0,68

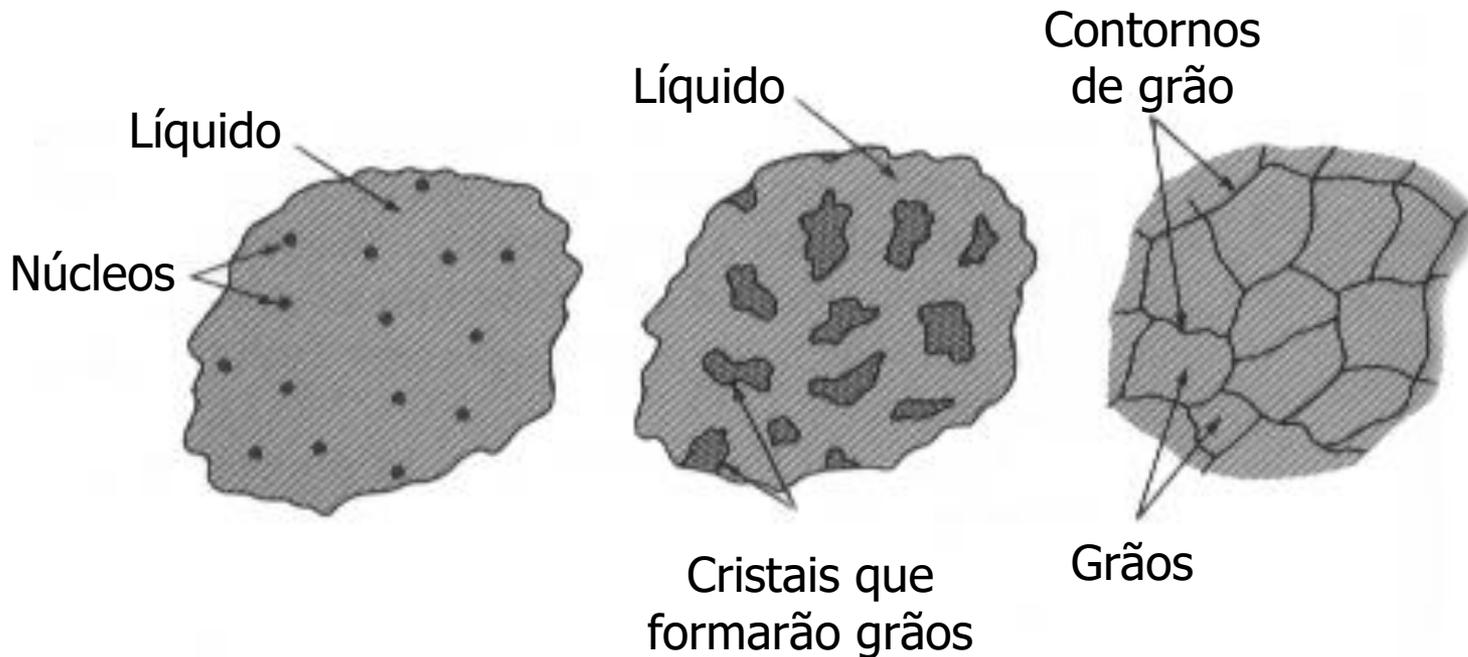


FEA = 0,74



# SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS

Processo de nucleação e crescimento



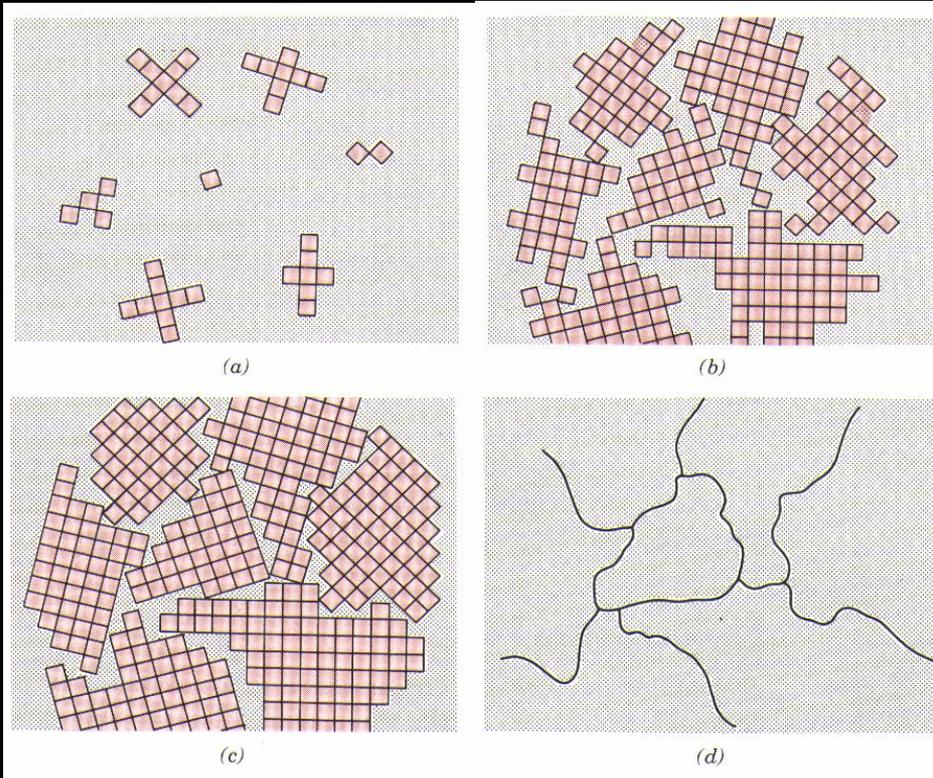


www.shutterstock.com · 1179263185

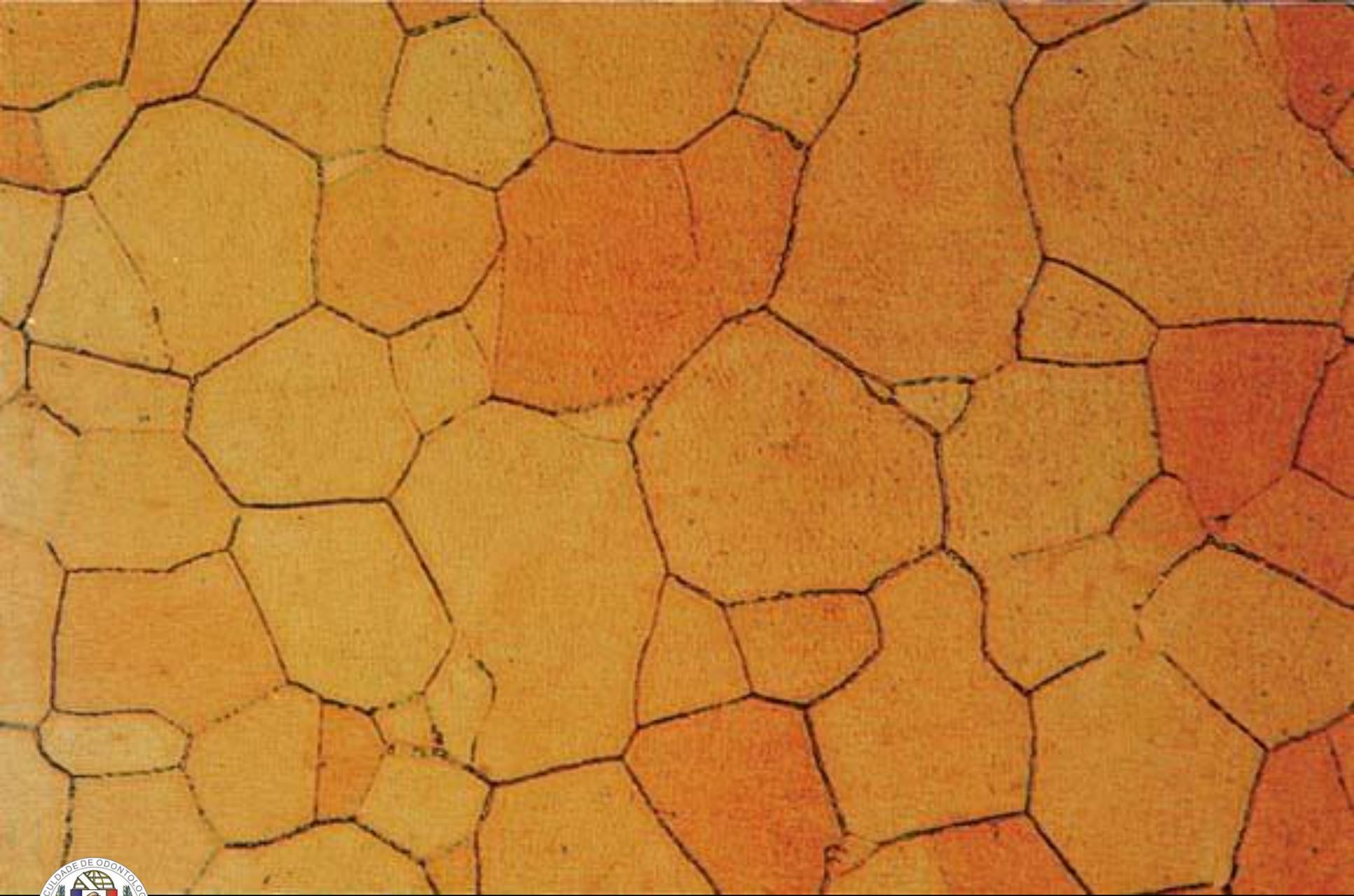


# SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS

## Formação dos grãos



- Os grãos são formados no início do processo de solidificação a partir de pequenos agrupamentos de átomos chamados de núcleos.
- Cada núcleo da origem à um grão com crescimento cristalográfico em direção diferente de seus vizinhos.
- Quando resta pouco líquido e os diferentes grãos começam a se encontrar, formam o contorno de grão.
- O contorno de grão é uma região de 2 a 10<sup>3</sup>Å, desordenada, sem uma estrutura cristalina definida, sendo portanto uma região de maior energia que a do interior do grão.



**John Wataha, J Prosthet Dent, 2002**



# METAIS E LIGAS

Parte 2



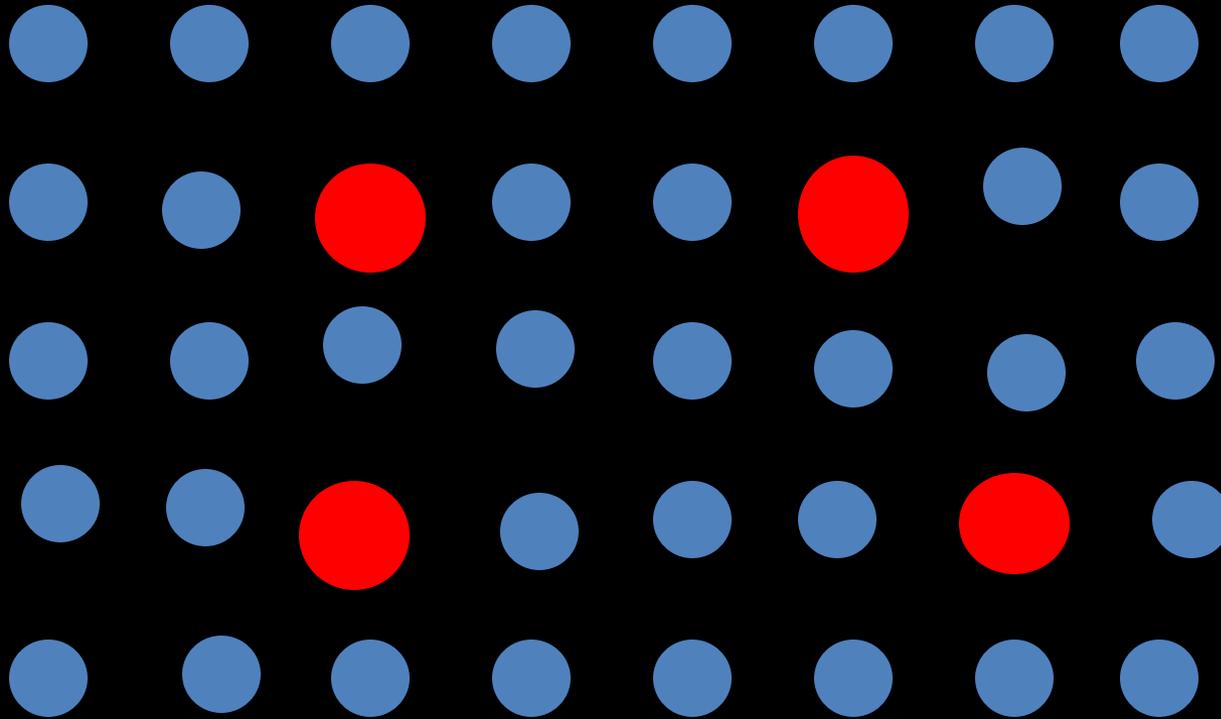
Prof. Dr. Leonardo Eloy Rodrigues Filho

# METAIS e LIGAS

- Metais Puros
- Ligas Metálicas → são misturas de pelo menos dois metais (elementos químicos) diferentes com a intenção principal de:
  - ↑ Resistência Mecânica







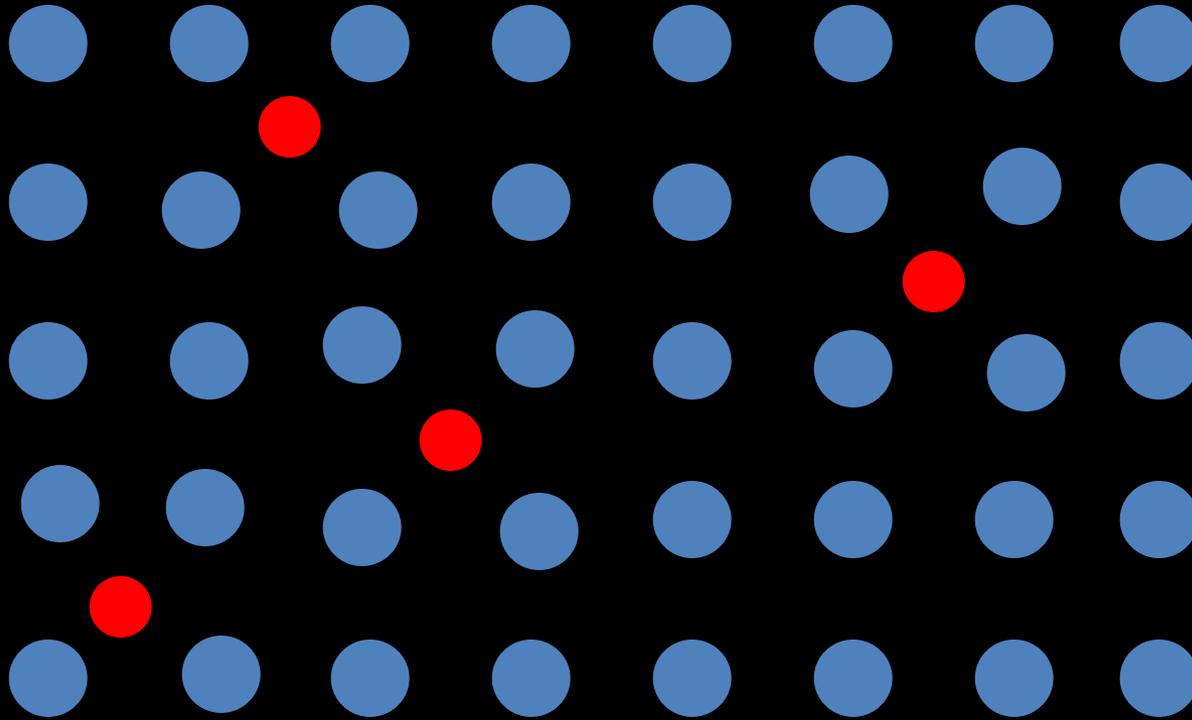
Similariedade - Tamanho Atômico até 15%

- Mesmo Arranjo Micro Estrutural

- Átomos e Íons substituem uns aos outros na grade estrutural →

**Solução Sólida Substitucional**





Similaridade - Entre os Elementos

- Tamanho Atômico <60%

- Átomos Menores entre Maiores → Solução Sólida Intersticial



# METAIS e LIGAS

- **Solução Sólida** :
- **Solvente** – representa o elemento ou o composto que está presente na **maior quantidade**
- **Soluto** – é o elemento ou composto que está presente na **menor quantidade**



# LIGAS METÁLICAS

- Estado Líquido → Homogêneo
- Estado Sólido → pode haver Segregação  
→ Heterogênea

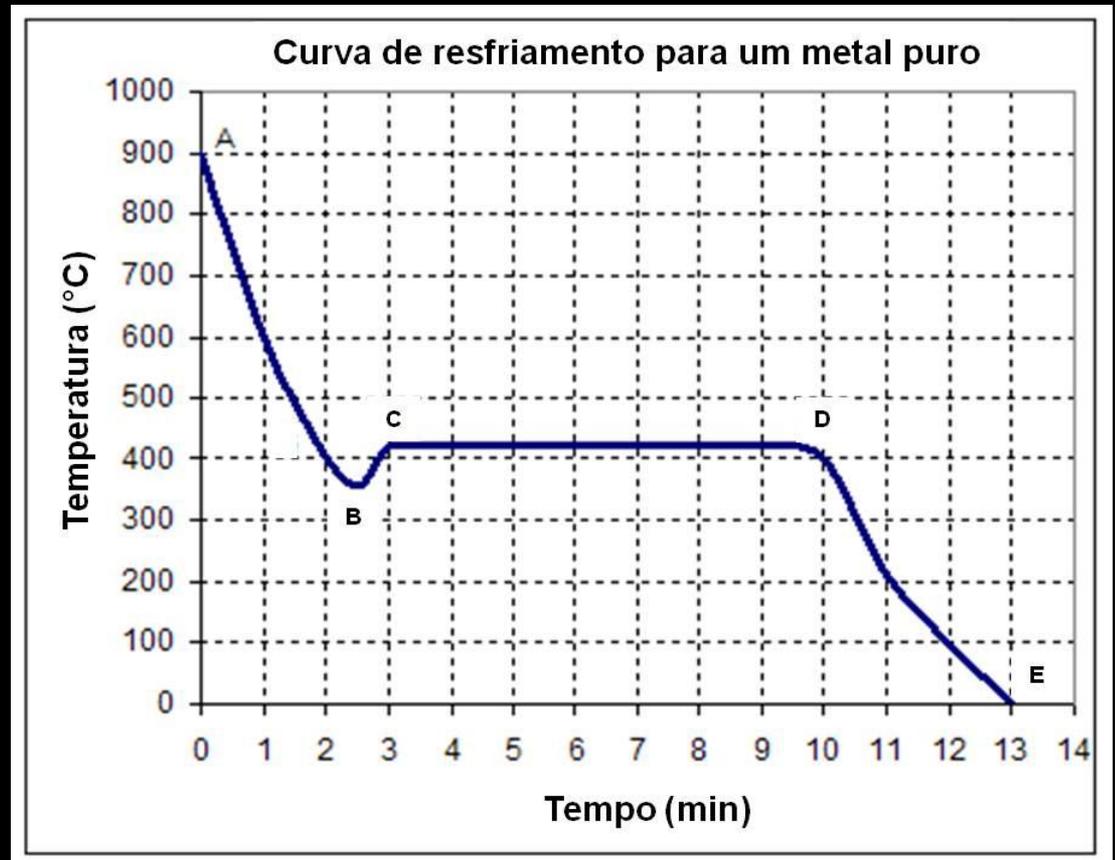


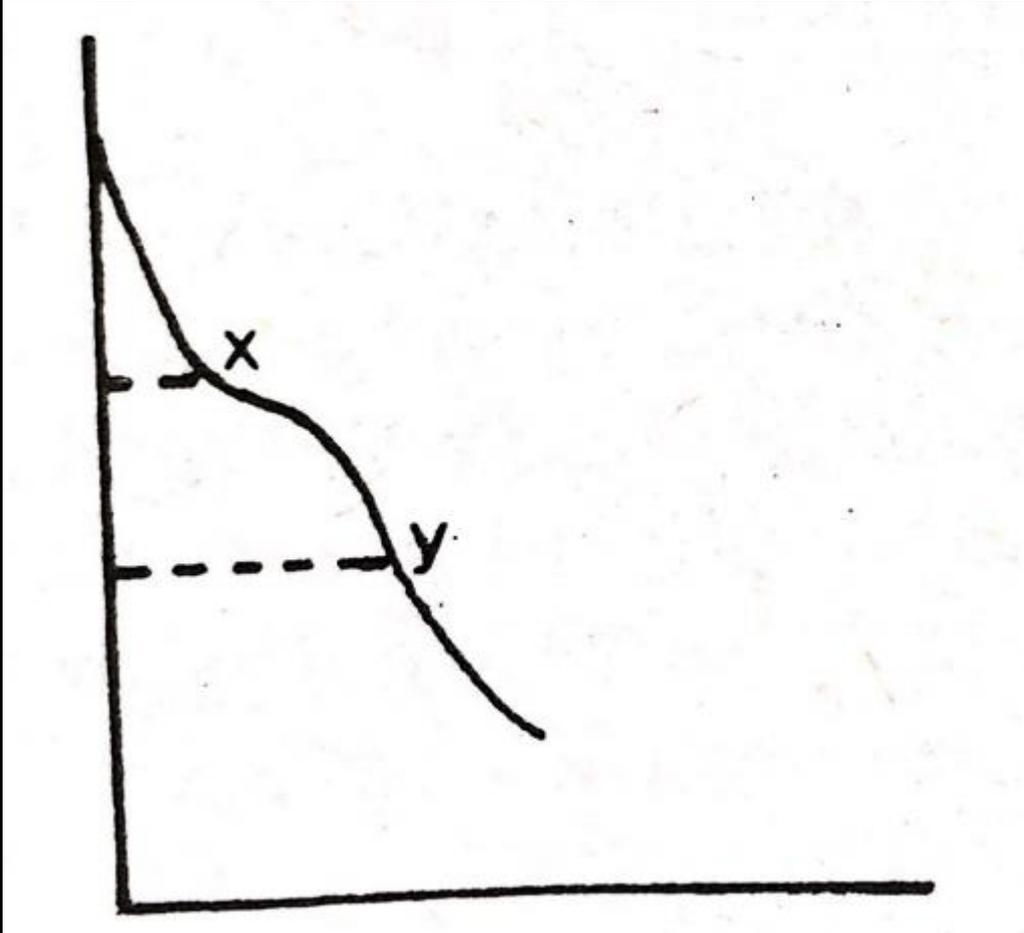
# CURVA DE RESFRIAMENTO

Ponto B – Formação de Núcleos

– Exotermia

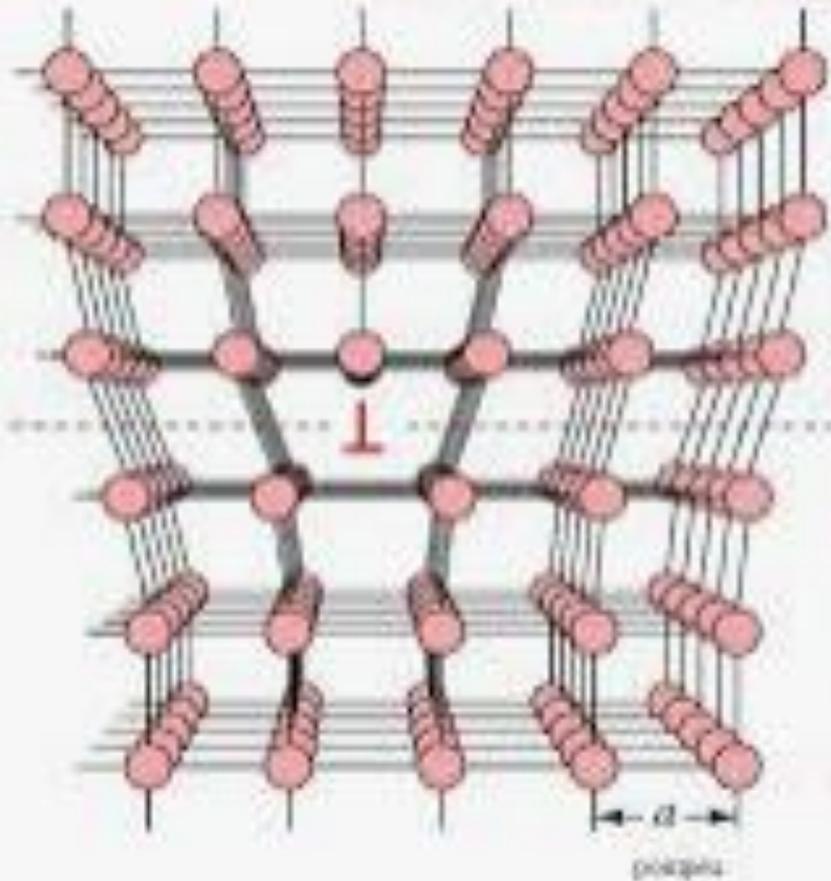
Ponto C a D – Temperatura de  
Solidificação ou Fusão

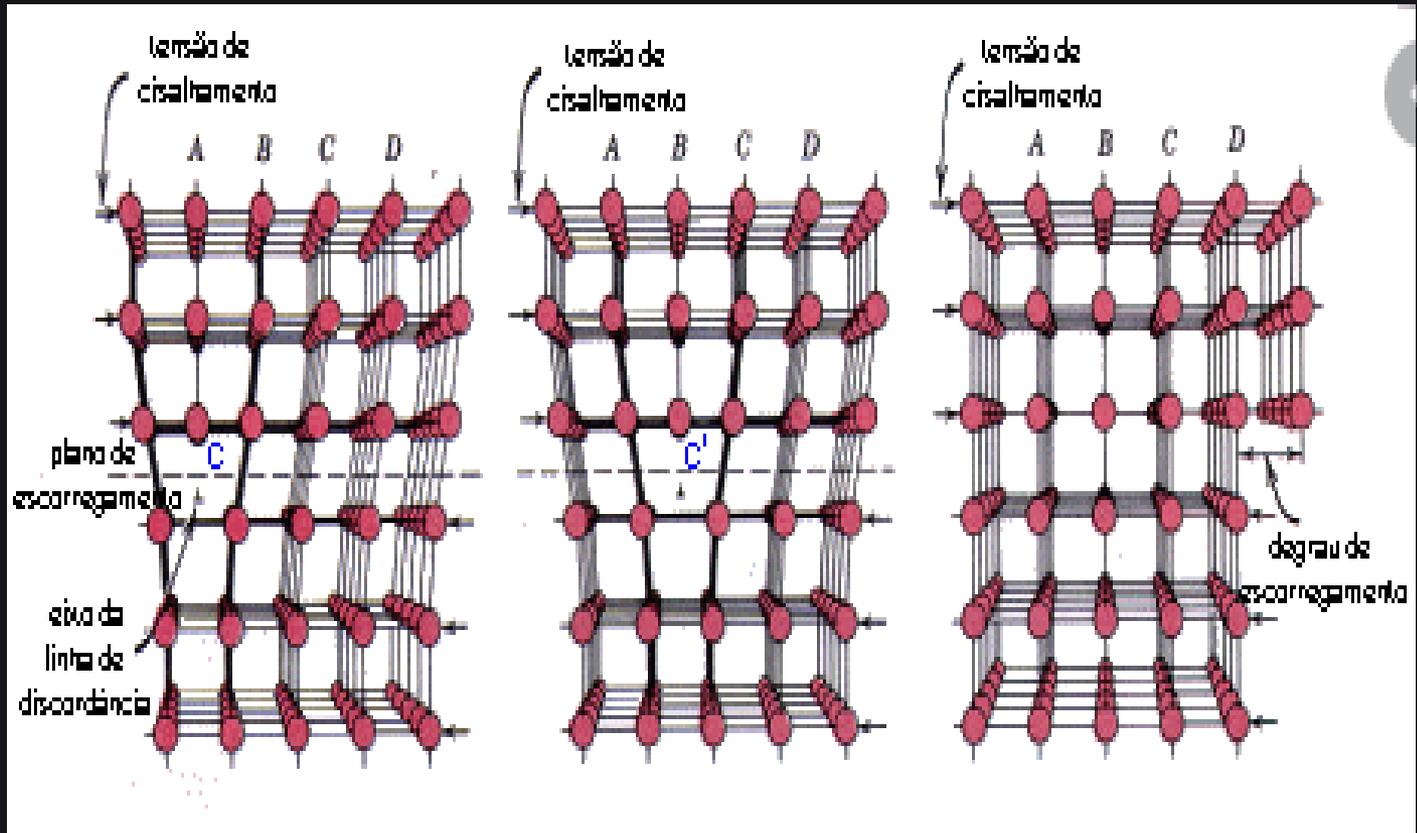




Macchi R L







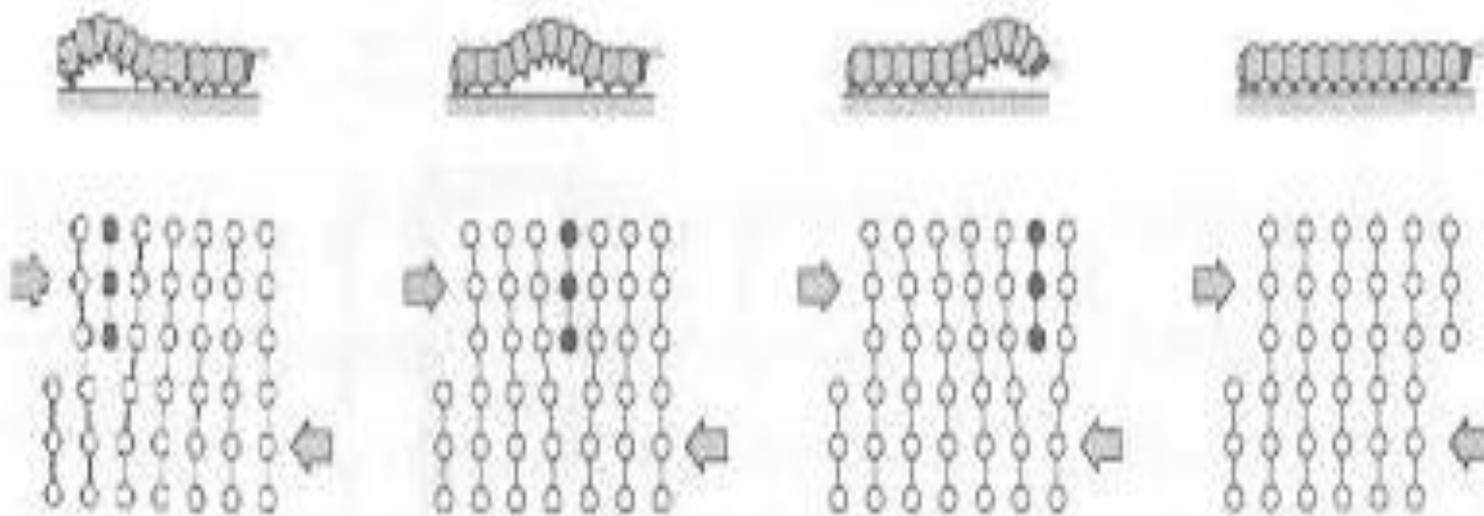
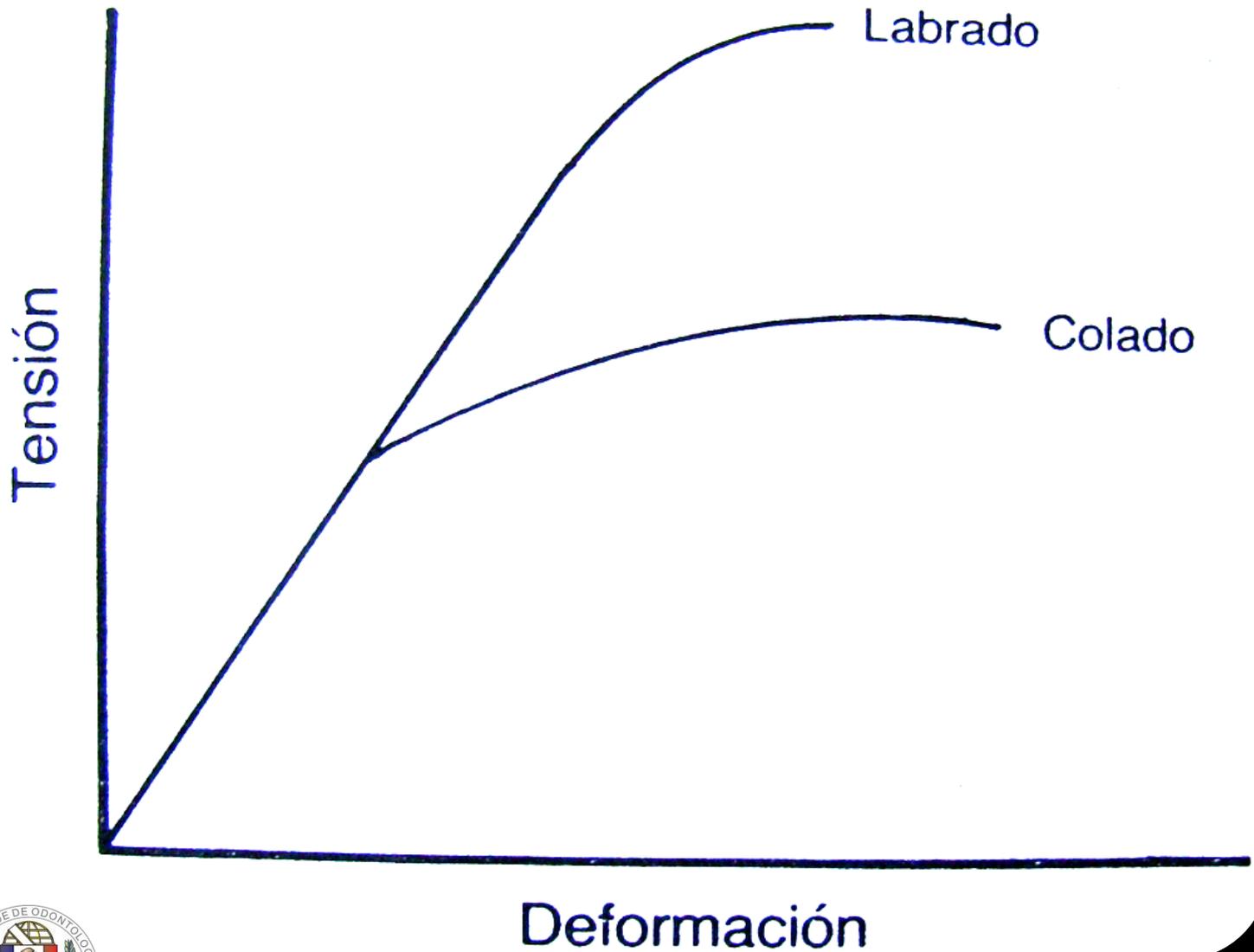


Fig. 7.3 Representação da analogia entre os movimentos de uma lagarta e de uma discordância.

# Endurecimento por deformação a FRIO

- Produz distorção no reticulado espacial
- Necessidade de aplicar tensões cada vez maiores para produzir deformação permanente
- Dificulta os deslocamentos → dificuldade para mover –se
- Dureza
- Resistência
- O módulo de elasticidade não se altera





# Metal Trabalhado

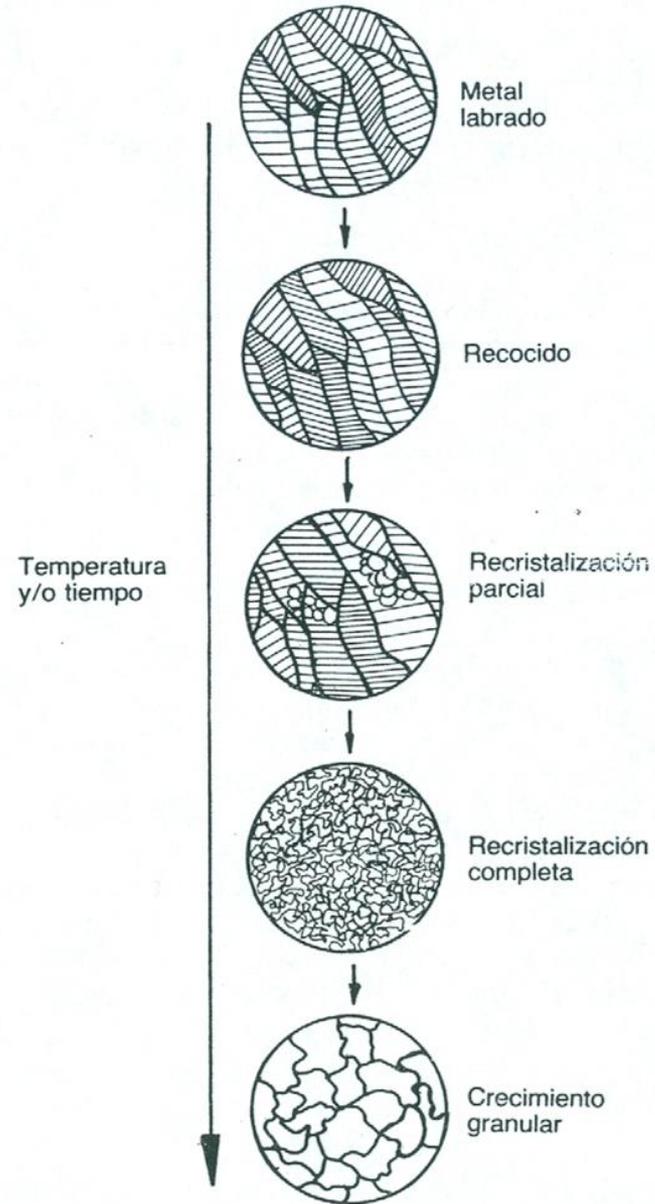
- Intenso tratamento de Deformação a Frio
- Exemplo: Molas
- Uma liga ou metal fundido é colocado num molde para obter o lingote que será deformado por tração
- **Mais Dureza**                      **Mais Resistência**
- Limite proporcional aumentado → maior a possibilidade de acumular energia (resiliência)

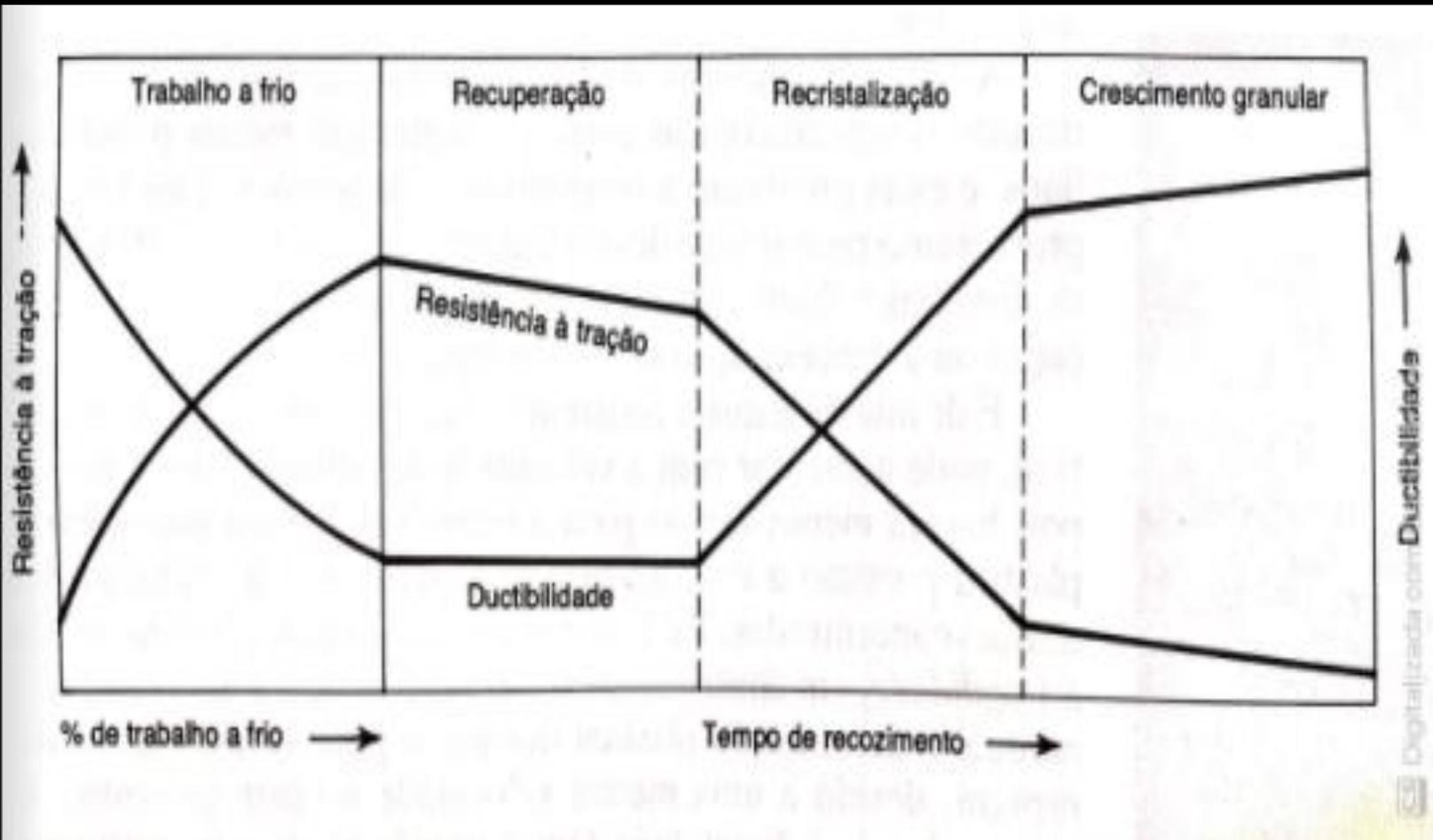


# Recozido

( Libera Tensões )

- Temperatura
- Tempo





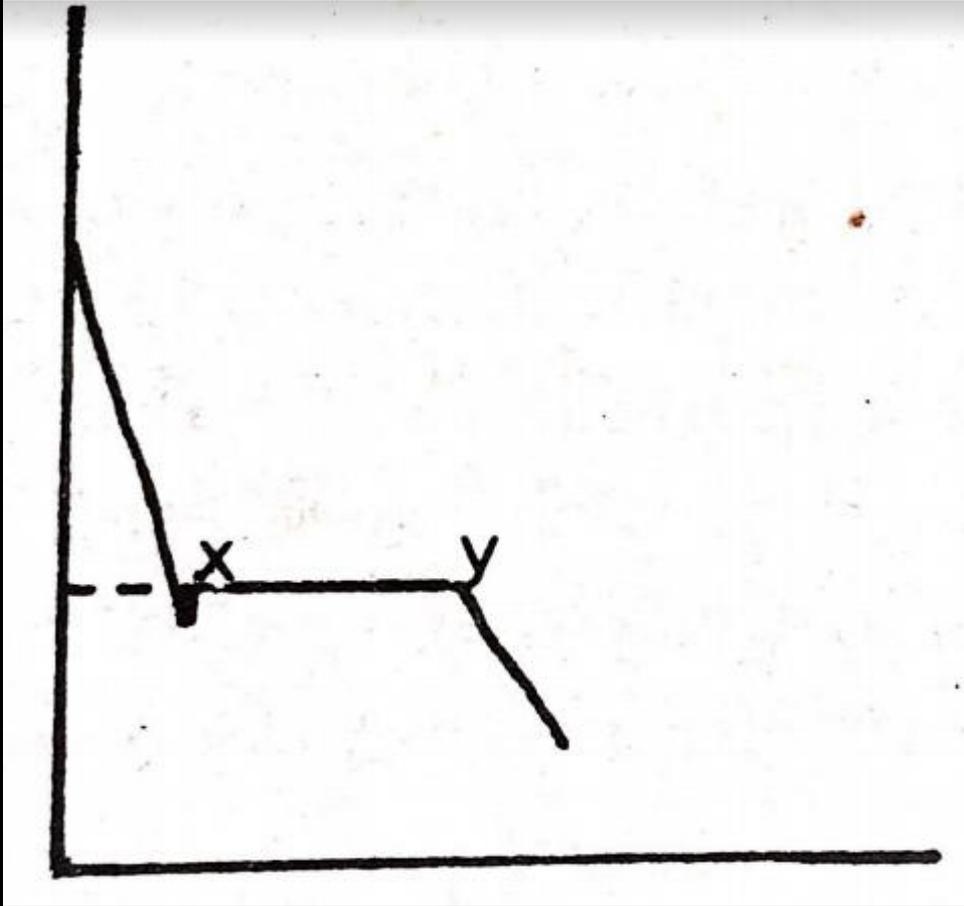


# METAIS E LIGAS

Parte 3



Prof. Dr. Leonardo Eloy Rodrigues Filho



Velocidade do Resfriamento

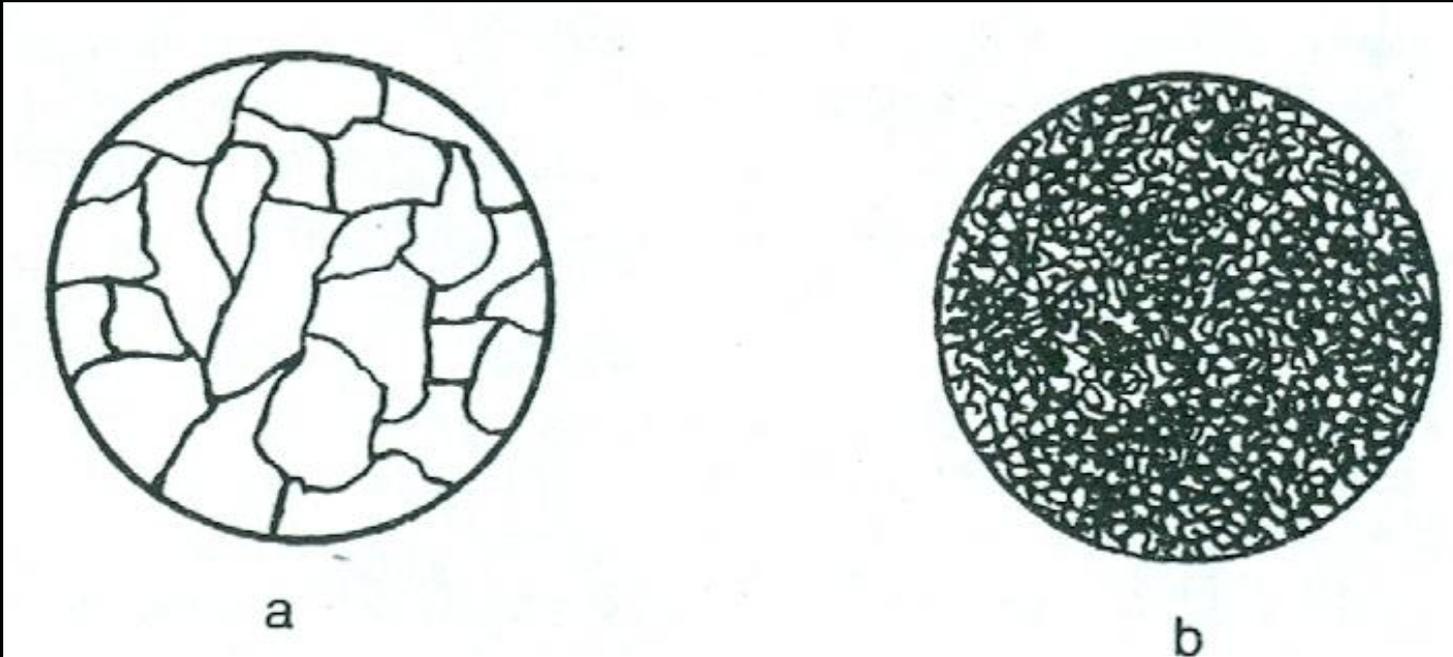
Macchi R L

Velocidade do Resfriamento



# TAMANHO DO GRÃO

- Dependem da Velocidade de Resfriamento
- Resfriamento Lento → **Poucos Núcleos** (a)
- Resfriamento Rápido → **Muitos Núcleos** (b)



Macchi R L

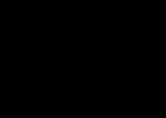


# Microgranulação

**IRÍDIO**

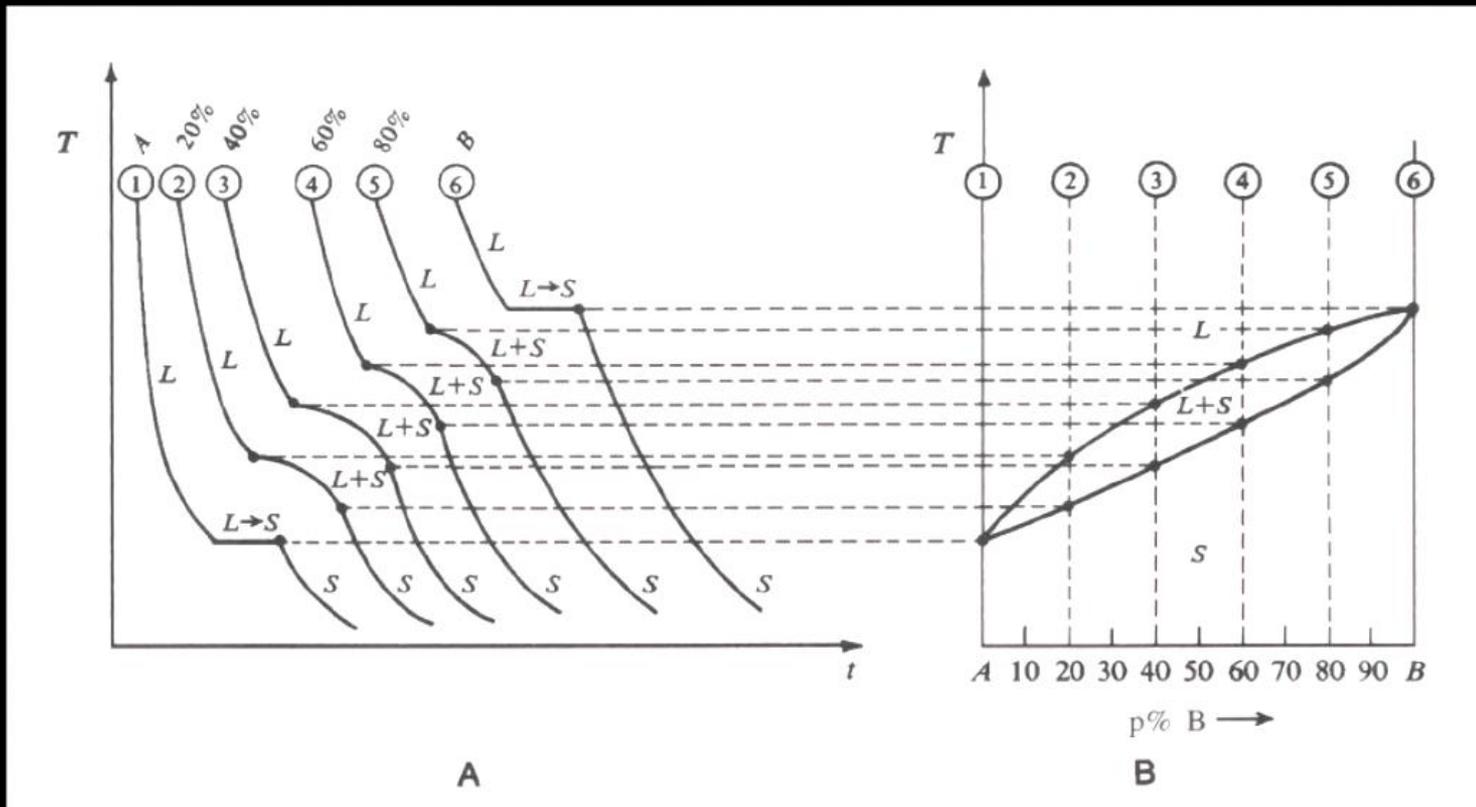
2466°C

0,005%

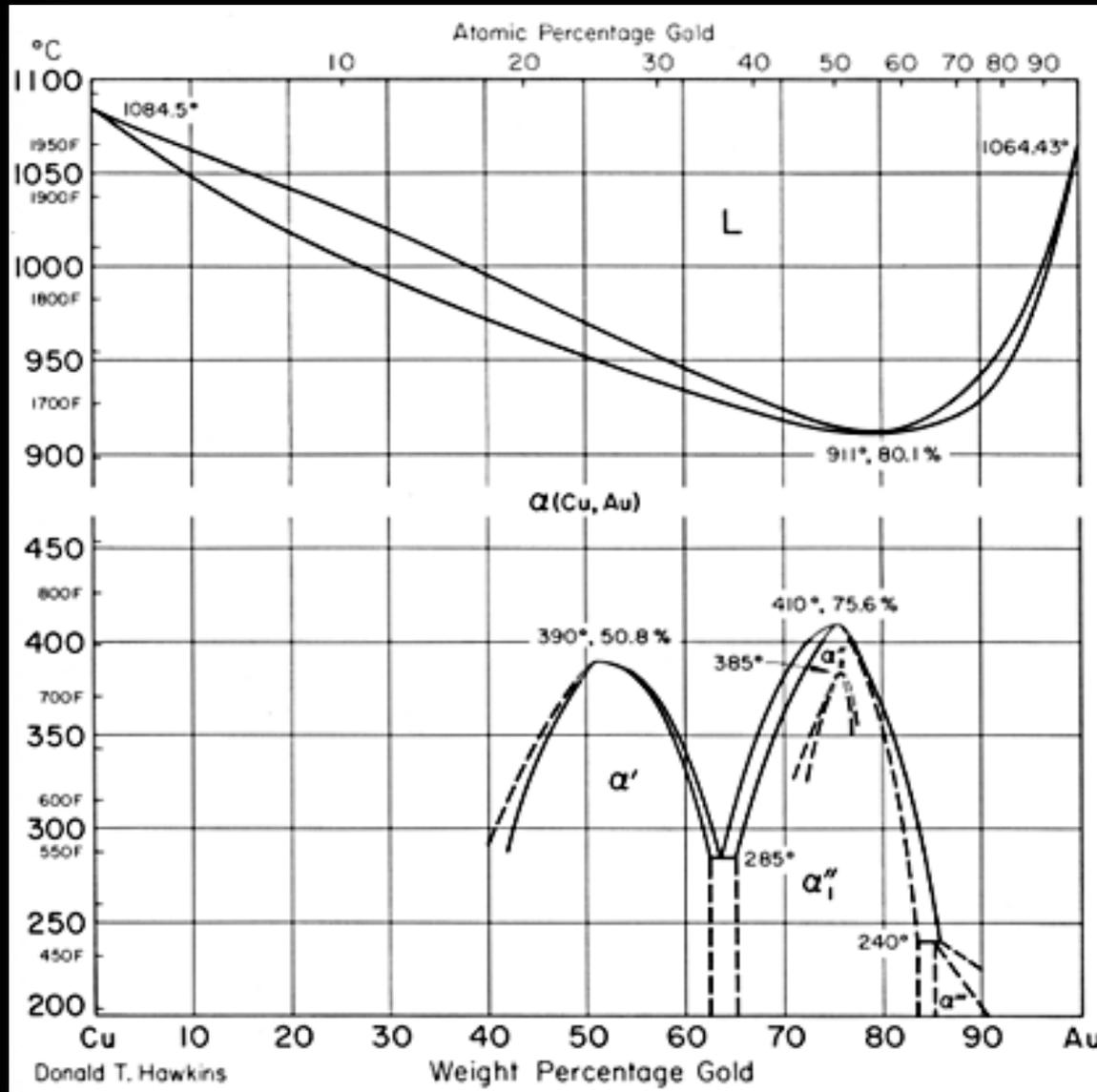


# LIGAS METÁLICAS

## Diagrama de Equilíbrio



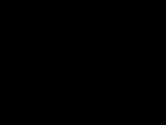
# REAÇÕES NO ESTADO SÓLIDO



# Supergrade AuCu Tetrágonos

↑ Resistência

↓ Alongamento





# Tto Térmico das Ligas de Ouro

- Au (65-88%) – supergrade AuCu
- TTA/homogeneizador – estrutura CFC
- 700°C / 10 a 15 min → ÁGUA
- TTE – 450°C e a 250°C (30 min) – AuCu tetragonal
- ligas microgranuladas – Irídio (0,005%)



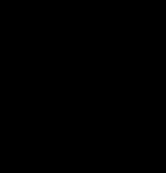


# METAIS E LIGAS

Parte 4



Prof. Dr. Leonardo Eloy Rodrigues Filho







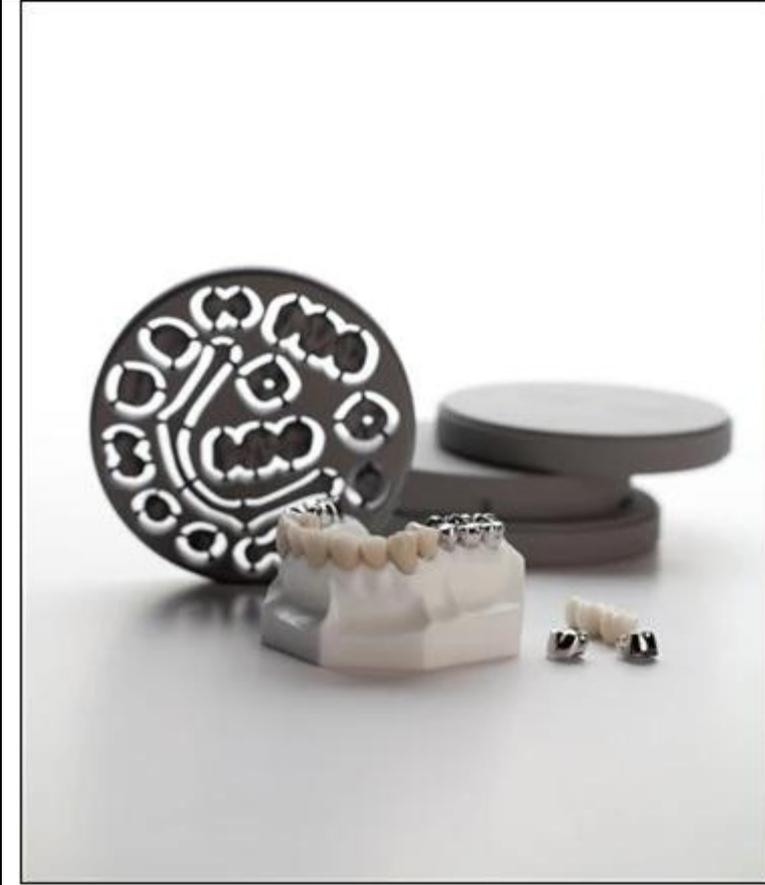


# LIGAS METÁLICAS PARA FUNDIÇÃO

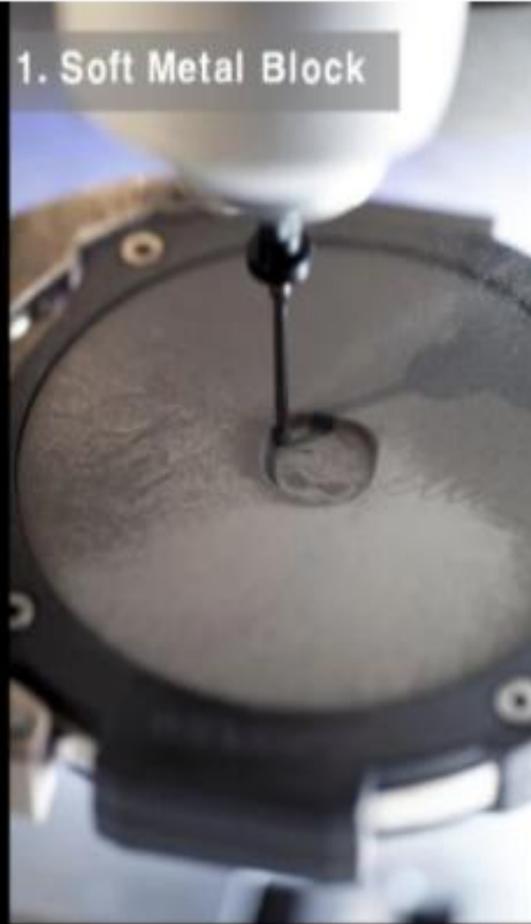


## Ligas para Usinagem





1. Soft Metal Block



2. Dry Milling



4. Polishing



3. Sintering

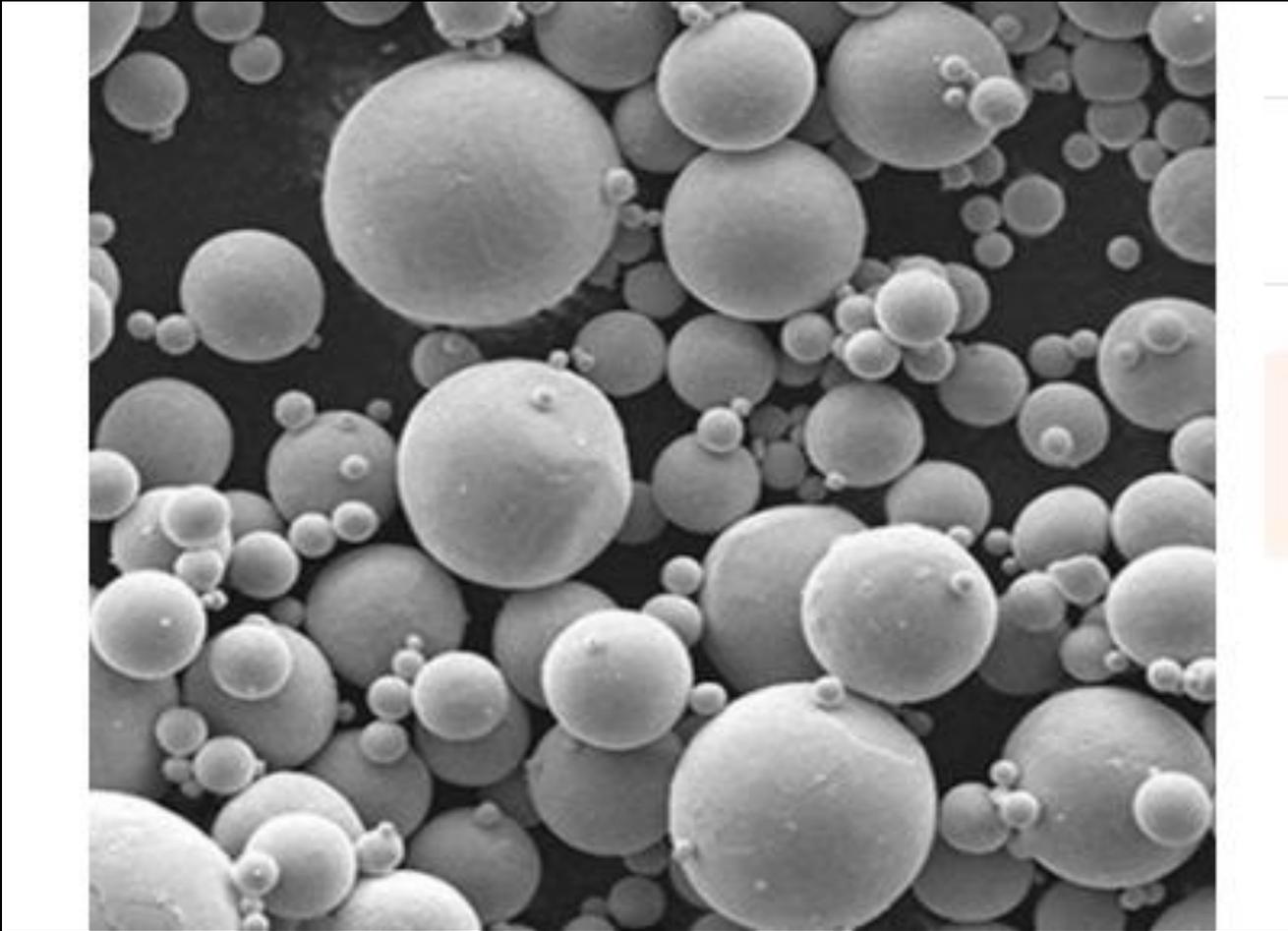


5. Completion



## Ligas para Sinterização





# Ligas Odontológicas p/ fundição requisitos

- biocompatibilidade
- resistência a corrosão e manchamento
- não alergênicos
- resistência mecânica
- baixo custo
- fácil manuseio
- fidelidade de reprodução

*Castability*



1932 → NBS

CLASSIFICAÇÃO: 4 TIPOS

Dureza (composição)

↑ 65% Au (resistência à corrosão)



# Composição e propriedades de ligas de ouro tradicionais\*

Composição e propriedades		Tipos de liga de ouro tradicionais			
		I (macia)	II (média)	III (dura)	IV (extra dura)
Composição (%)	<b>Au</b>	87	78	75	68
	<b>Ag</b>	11	13	12	15
	<b>Cu</b>	3	7	10	14
	<b>Pd</b>	0	2	3	4
	<b>Pt</b>	0	0	2	3
	<b>Zn</b>	1	1	1	2
Dureza Vickers (kgf/mm <sup>2</sup> )**		A 80	A 101	A 138	A 144
		-	-	E 230	E 260
Limite de proporcionalidade (MPa)**		A 80	A-140	A 180	A 270
		-	-	E 300	E 450
Alongamento (%)**		A 25	A 22	A 20	A 16
		-	-	E 10	E 4
Contração de fundição (%)		1,56	1,44	1,42	1,40
Temperatura de fusão (°C)		930	900	900	870

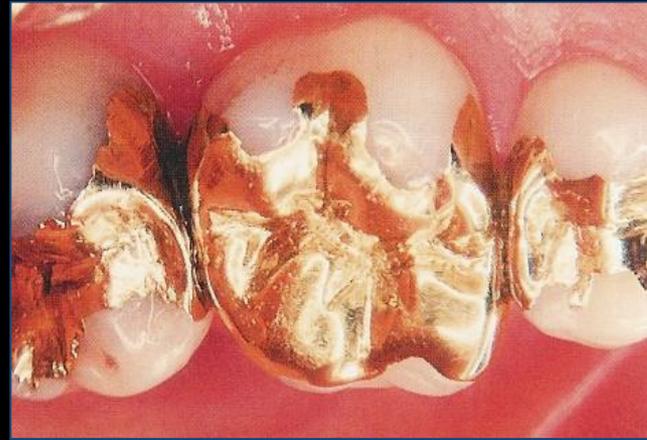
\* Os valores constantes da tabela são médias aproximadas

\*\* A (amaciada); E (endurecida)



# INDICAÇÃO

I e II (inlays e onlays)



- III (PPF)

- IV (PPR)



**LIGAS DE**

**↓Au e**

**de Pd (1,85x)**

(ligas de metais nobres)



# Ligas Nobres com Baixo Conteúdo de Ouro

dureza

↑ resistência à corrosão

Liga	Composição (%)				
	Au	Ag	Cu	Pd	Outros (In,Zn,Sn)
Tipo III (Baixo Au)	46	39	8	6	-
Tipo III (Baixo Au)*	40	44	5	8	-
Tipo III (Ag-Pd)	-	70	-	25	-
Tipo IV (Ag-Pd)	15	45	14	25	-
Tipo IV (Ag-Pd)	12	42	14	22	-
Tipo III (Ag-Pd)	-	10	-	22	-



# Ligas Nobres com Baixo Conteúdo de Ouro

Propriedade		Tipo III (Baixo Au)	Tipo III (Baixo Au)*	Tipo III (Ag-Pd)	Tipo IV (Ag-Pd)
Temp. fusão final (°C)		916	980	1099	1021
Densidade (g/cm³)		12,8	12,5	10,6	11,3
Limite de escoamento (MPa)	A**	240	249	262	434
	E**	586	451	323	586
Dureza Vickers (kgf/mm²)	A**	138	137	143	180
	E**	231	223	154	270
Alongamento (%)	A**	30	11	10	10
	E**	13	3	8	6

- PPF
- Blocos
- Metaloplásticas
- tipo IV para PPR



# PROPRIEDADES → INDICAÇÕES:

Alternativas para clássicas

III e IV



# Indicações

- Baixo Au e AgPd
- Liga tipo III – grandes blocos, coroas e próteses fixas
- AgPd (Au Cu)
- Liga tipo IV – infra-estrutura de PPR, PPF extensas



# ADA (1984)

Classificação	Condições
<b>Altamente nobre (AN)</b>	Conteúdo de metal nobre $\geq 60\%$ (ouro, platina, paládio) e ouro $\geq 40\%$
<b>Nobre (N)</b>	Conteúdo de metal nobre $\geq 25\%^*$ (ouro, platina, paládio)
<b>Predominância de metais básicos (PMB)</b>	Conteúdo de metal nobre $< 25\%$ (ouro, platina, paládio)



# Ligas a Base de Ag-Sn

- Ag (80%), Sn (20%), Cu, Zn
- ↓ propriedades mecânicas
- ↓ resistência à corrosão
- VHN = 90, T° fusão = 700/800°C
- núcleos, restaurações unitárias, PPF pequenas
- metaloplástica – escurecimento da interface



# Ligas a Base de Cu-Al

- ligas Au III
- Cu (85%), Al (9,5%), Ni (4%), Fe (4%), Mn
- ↓ resistência à corrosão , manchamento
- desconhecimento efeitos biológicos (regiões de auto-limpeza)



# Ligas de Cu-Al

Estudos preliminares observaram que as restaurações feitas com estes material no Brasil sugeriu que a resistência a corrosão foi similar as feitas com as ligas convencionais de ouro.







# METAIS E LIGAS

Parte 5



Prof. Dr. Leonardo Eloy Rodrigues Filho

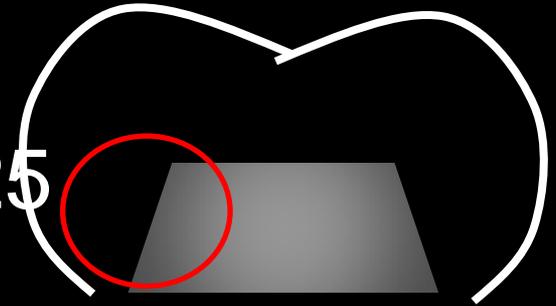
# Metalocerâmica



# Ligas para Metalocerâmica

Propriedades:

> MPa25



- alta resistência de união com porcelana;
- CETL compatível
- Temperatura de fusão > porcelana

# Ligas Altamente Nobres e Nobre para Metalocerâmica

Nobreza	Composição (% em peso)				Cor				
	Au	Pd	Ag	(Sn, In, Fe, Ni)	Altamente nobre		Nobre		
Altamente nobre	87	Propriedade		Amarela	Branca		Branca		
		Temp. fusão inicial (°C)	1065	1170	1150	1235	1270	1175	
Nobre	6	Peso específico		18,5	17,5	18,0	14,5	11,0	11,4
		Dureza Vickers (kgf/mm <sup>2</sup> )	A*	155	170	200	200	235	160
E*	185		185	240	235	-	300		
Nobre	e	Limite de escoamento (MPa)	A*	400	413	470	425	474	340
			E*	490	504	580	545	-	650
Nobre	30	Alongamento (%)	A*	8	10	7	23	30	29
			E*	6	-	3	18	-	8

**SAG**

\* A (amaciada); E (endurecida)



# Ligas de Metais Predominantemente Básicos para Metalocerâmicas



Liga	Composição (%)
Ni-Cr	Ni:69-81; Cr:12-20; Fe:0,0-0,4; Al:0-4; Mo:0-4; Si:0,2-2,0; Be:0-2; Mn:0-3
Co-Cr	Co:52-56; Cr:24-27; W: 10-14; Ga: 0-8
Ti (cp)	Ti: (Comercialmente puro – graus 1 a 4) O:0,18-0,40; N:0,03-0,05; H:0,015-0,020; Fe:0,2-0,5; C: 0,1
Ligas de Ti	Ti-6; Al-4; V



# Ligas Básicas para Metalocerâmicas NiCr

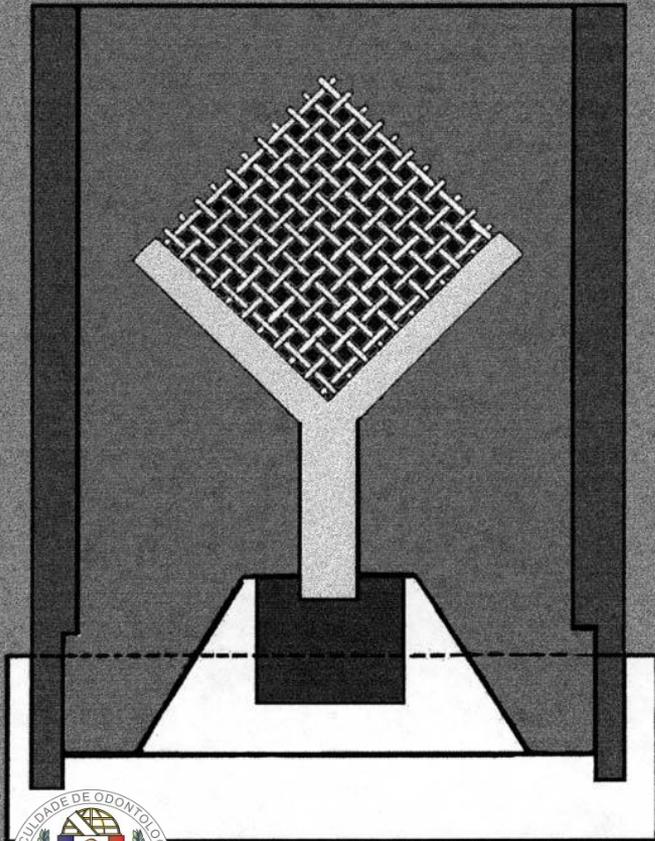
Funções dos principais componentes:

- Cr – resistência à corrosão – camada passivadora (HCl; Cl)
- Ni – sistema CFC
- Mo, Mn – resistência mecânica
- Si – desoxidante durante fusão
- Be – *castability*
- Biocompatibilidade



# Fundibilidade

Método de Whitlock, 1981



Ligas	Ni	Cr	Nb	Mn	Be
E1	Bal	15.0	4.5	2.5	0.9
E2	Bal	15.0	4.5	2.5	1.0
E3	Bal	15.0	4.5	2.5	1.1
E4	Bal	15.0	5.5	2.5	—

Ni-Be

Ni-Be



# Ligas Básicas para Metalocerâmicas CoCr

- potencial alergênico
- CCC – alongamento menor
- tungstênio - > resistência mecânica
- gálio - temperatura de fusão



# Ligas Básicas para Metalocerâmicas

Ti<sub>cp</sub>

- 4 graus (O, N, H, Fe, C)
- forma película óxida
- alteração dimensional próximo a t° de fusão da porcelana - transformação alotrópica
- ↓ CETL
- técnica complexa e cara

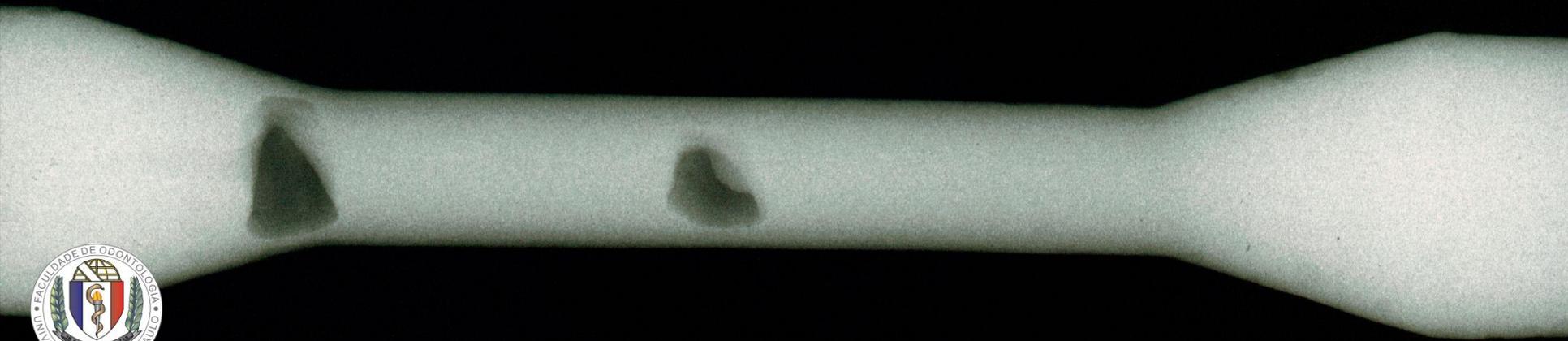


# TITÂNIO (-)

## Fundição



- Equipamento especial
- ↑ Reatividade
- ↓ Densidade





# Ligas Básicas para PPR

Liga	Composição (%)
Co-Cr	Co:65-67; Cr:24-27; Mo:4-8; Si:0,1-0,8; Fe:0,1-2,0; Mn:0,0-0,4; C:0,2-0,4
Co-Cr-Ni	Co:36-67; Cr:23-27; Ni:2-36; Mo:0-6; Mn:0,3-0,6; Si:0,2-0,6; Fe:0,5-1,0; C:0,2-0,4
Ti(cp)	Ti: (Comercialmente puro – graus 1 a 4) O:0,18-0,40; N:0,03-0,05; H:0,015-0,020; Fe:0,2-0,5; C:0,1
Ligas de Ti	Ti-6 Al-4V; Ti- 15 V; Ti-13Nb-13Zr



# Ligas Básicas para PPR

Propriedade	Liga			
	Co-Cr	Co-Cr-Ni	Ti(cp)	Ti-6Al-4V
Temperatura fusão inicial (°C)	1400	1300	1668	1760
Dureza Vickers (kgf/mm <sup>2</sup> )	430	280	180	300
Limite de escoamento (MPa)	600	470	330	700
Alongamento (%)	2	8	15	5
Módulo de elasticidade (GPa)	220	200	100	115
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	8,4	8,0	4,5	-
Módulo de elasticidade (GPa)	220	200	100	115



## CAD/CAM: desgaste



co-cr metal disc teeth



titanium blank



co-cr blank disc

## CAD/CAM : aditiva



**Table 1.** Brand names, manufacturing methods, manufacturers, and elemental compositions of the four Co-Cr alloys tested.

Brand Name	Manufacturing Method (Group Code)	Manufacturer	Elemental Composition (wt %) *							
			Co	Cr	W	Nb	V	Mo	Si	Fe
StarLoy C	Casting (CS)	DeguDent, Hanau-Wolfgang, Germany	59.4	24.5	10	2	2	1	1	0.1
Magnum Lucens	Milling (ML)	MESA di Sala Giacomo and C. S.n.c, Travagliato, Italy	63	28	3	4	N/A	<1	1	<1
Remanium® star CL	Selective laser melting (SLM)	Dentaurum GmbH and Co. KG, Ispringen, Germany	60.5	28	9	<1	N/A	N/A	1.5	<1
Soft Metal™	Milling/post-sintering (ML/PS)	LHK, Chilgok, Korea	63	29	N/A	N/A	N/A	6	<1	N/A

\* As provided by the manufacturers. N/A: not available.



**Table 1.** Chemical composition of cast, laser sintered, and milled Co-Cr alloys as a percentage according to the manufacturer's instructions (wt %)

Alloys	Co	Cr	Mo	W	Si	Fe	Mn
JEWOOS02 (Cast)	63	28	5.5	etc. max. 3.5			
EOS CobaltChrome SP2 granule (laser sintered)	63.8	24.7	5.1	5.4	1	max. 0.50	max. 0.10
Starbond CoS (milled)	59	25	3.5	9.5	1	max. 1.5	



**Table 1.** Materials studied according to fabrication method, composition, and manufacturer

<b>Fabrication Method</b>	<b>Composition by Weight (%)</b>	<b>Product Name</b>	<b>Manufacturer</b>
Cast	Co 61, Cr 26, Mo 6, W 5	Wirobond C	BEGO Implant Systems
Milled	Co 59-63, Cr 27-29, W 8-9	Cara CoCr milled	Heraeus Kulzer GmbH
SLM	Co 61-65, Cr 23-25, Mo 5, W 5-10	Cara CoCr SLM	Heraeus Kulzer GmbH

Oilo et al, Mechanical properties of cobalt-chromium 3-unit fixed dental prostheses fabricated by casting, milling, and additive manufacturing, J Prosthet Dent, 2018

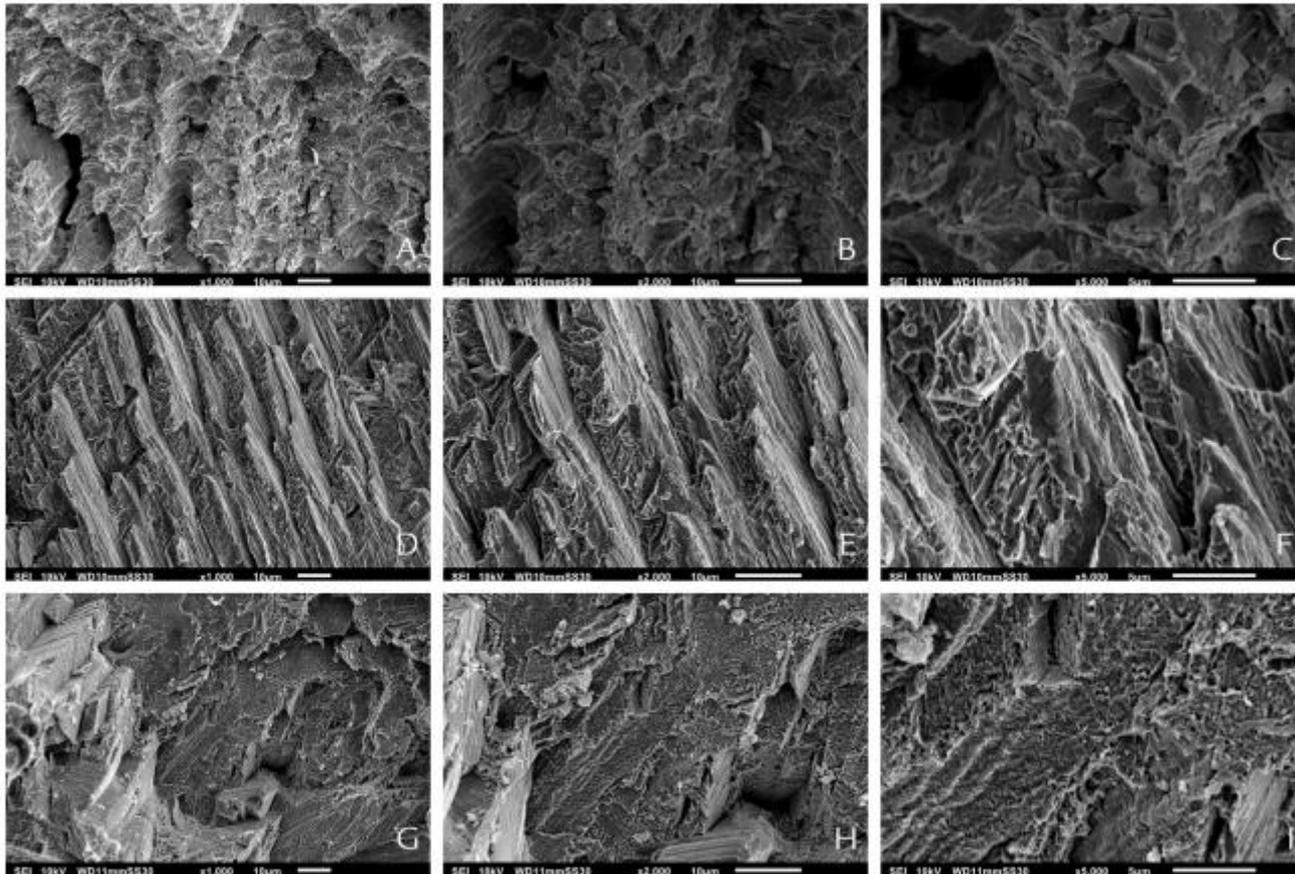


**Table 2.** Properties of Co-Cr alloys fabricated by casting, CAD-CAM, and selective laser melting (mean  $\pm$  standard deviation)

Property	Cast	Milled	SLM
Weight (g)	3.00 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	3.08 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	2.70 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>
Connector size (mm)	3.7 $\times$ 3.7 <sup>a</sup>	3.7 $\times$ 4.7 <sup>b</sup>	3.1 $\times$ 4.9 <sup>c</sup>
Wall thickness (mm)	0.5 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	0.6 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.5 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>
Stiffness (N/mm)	2796 $\pm$ 584 <sup>a</sup>	2490 $\pm$ 557 <sup>a</sup>	4072 $\pm$ 318 <sup>b</sup>
Microhardness center (HV)	264 $\pm$ 11 <sup>a</sup>	270 $\pm$ 16 <sup>a</sup>	466 $\pm$ 13 <sup>b</sup>
Surface roughness Ra ( $\mu$ m)	1.97 $\pm$ 0.28 <sup>a</sup>	0.69 $\pm$ 0.49 <sup>b</sup>	1.65 $\pm$ 0.55 <sup>a</sup>
Surface roughness Rmax ( $\mu$ m)	12.82 $\pm$ 2.33 <sup>a</sup>	5.49 $\pm$ 2.18	13.58 $\pm$ 3.38 <sup>a</sup>

CAD-CAM, computer-aided design and computer-aided manufacturing; Co-Cr, cobalt-chromium alloy; HV, Vickers pyramid number; SLM, selective laser melting. Cast restorations were statistically significantly smaller overall and in buccolingual width of connector, while SLM restorations were statistically significantly shorter in height. Same superscript letter indicates no statistically significant difference ( $P < .05$ ).





**Figure 6.** Fracture surfaces reveal major differences in crystal structure of prostheses produced with 3 different fabrication methods at magnifications x500, 2000, and 5000. A-C, Cast. D-F, Milled, and G-I, selective laser melting (SLM).

Oilo et al, Mechanical properties of cobalt-chromium 3-unit fixed dental prostheses fabricated by casting, milling, and additive manufacturing, J Prosthet Dent, 2018



**Table 3.** Means and standard deviations of tensile strength test for the cast, laser sintered, and CAD/CAM milled specimens

Group		Ultimate tensile strength	*0.2% Yield strength	Elongation	Elastic modulus
		(MPa)	(MPa)	(mm)	(GPa)
Cast (n=12)	Mean	831.51	620.67	0.59	59.0
	SD	41.10	20.06	0.11	.
Laser sintered (n=12)	Mean	1411.12	1136.15	0.87	67.0
	SD	17.00	49.10	0.14	.
CAD/CAM milled (n=12)	Mean	1442.39	1014.94	1.87	61.0
	SD	13.25	48.29	0.24	.
Total (n=36)	Mean	1228.34	923.92	1.11	62.33
	SD	286.06	226.78	0.59	.

\* 0.2% yield strength  $\geq$  250 MPa will comply with the requirement of ISO specification.

Yun-Jung Choi et al, Comparison of the mechanical properties and microstructures of fractured surface for Co-Cr alloy fabricated by conventional cast, 3-D printing laser-sintered and CAD/CAM milled techniques, J Korean Acad Prosthodont. 2014 Apr;52(2):67-73



FIGURE 1: The illustration of a specimen prepared according to ISO 9693 standard for the present study.

TABLE 1: Production methods and the material content.

Manufacturing method	Material	Composition	Manufacturer	Device
Traditional casting	KERA® C, cobalt-based type V metal alloy	60% Co, 24.5% Cr, 9 W%, 1.1% Mo, 0.9 Si%	Eisenbacher Dentalwaren ED GmbH	Mikrotek Dental
CAD/CAM (milling)	Magnum Lusens Co-Cr	65% Co, 29% Cr, 2% Nb, 2% W	Mesa di Sala Giacomo & C. S.N.C.	Yena D40
Laser sintering	EOS CobaltChrome SP2	63.8% Co, 24.7% Cr, 5.1% Mo, 5.4% W, 0.5% Fe	EOS GmbH Electro Optical System	Eosint M270
Laser sintering	Remanium® star CL	60.5% Co, 28% Cr, 9% W, 1.5% Si	Dentaurum GmbH & Co. KG	Concept Laser Mlab



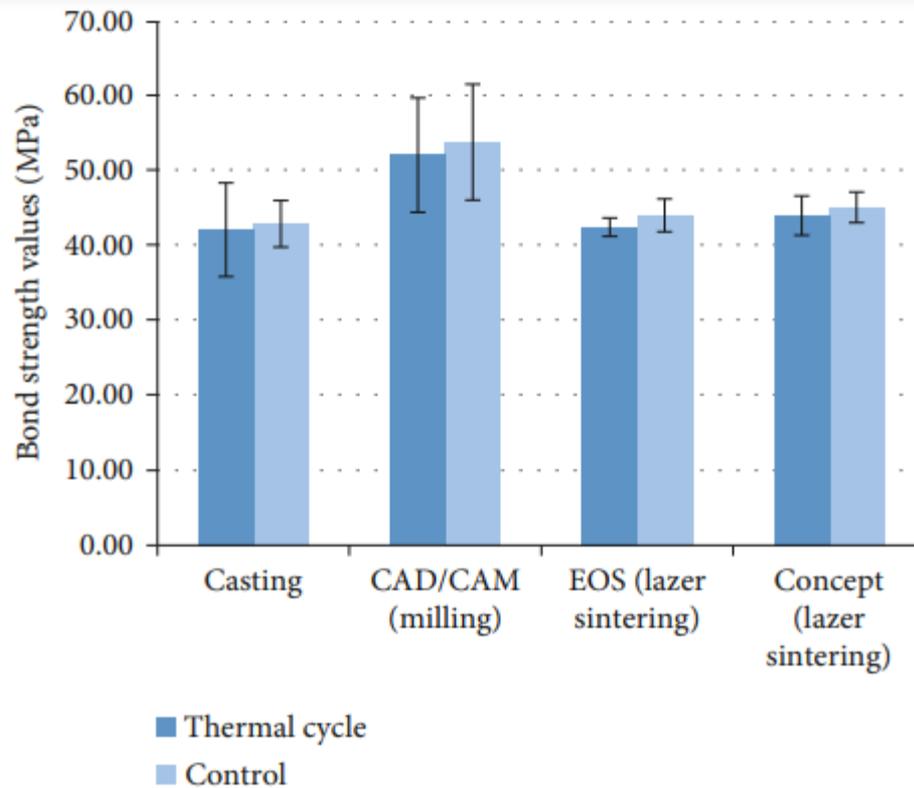


FIGURE 2: The results of bond strengths (MPa) based on different production methods between the groups with and without thermal aging application.



**Table 1.** Specification of the alloy and ceramic used in this study.

Materials	Brand Name	Material Type	Composition (wt %)	CTE ( $\times 10^{-6}K^{-1}$ )	Manufacturer
Co-Cr Alloy	Remanium Star	Metal ingots: casting	Co 60.5%, Cr 28%, W 9%, Si	14.1	Dentaurum, Ispringen, Germany
	Remanium Star MDI	Metal blank: milling	1.5%, Other	14.1	
	Remanium Star CL	Metal powder: SLM	(Mn, N, Nb, Fe) < 1%	14.1	
Ceramic	Ceramotion Me	Dental ceramic	Glass (silica) based ceramic	13.9–15.1	

CTE: coefficient of thermal expansion.

## 2.1. Specimen Preparation and Characterization of the Surface

### 2.1.1. Specimens Preparation for Mechanical Properties Test

For the mechanical properties test, metal specimens were fabricated by casting, milling, and SLM manufacturing processes ( $n = 6$  per group). The dumbbell-shaped dimension of the specimens according to ISO 22674: 2016 is presented in Figure 2a [24].



**Table 5.** Metal-ceramic bond strength (means  $\pm$  standard deviations) of the casting, milling, and SLM groups.

Group	Bond Strength (MPa)	Passing Rate (%)
Casting	26.86 $\pm$ 3.48 <sup>a</sup>	69%
Milling	34.22 $\pm$ 7.77 <sup>b</sup>	95%
SLM	29.88 $\pm$ 3.62 <sup>b</sup>	95%

Different lowercase letters in the same column indicate significantly different groups ( $p < 0.05$ ).



**Table 3.** Mean marginal discrepancy values ( $\mu\text{m}$ ) and SD obtained from each fabrication method

Fabrication method	Mean (SD)	Minimum	Maximum
HM	57 (4) <sup>a</sup>	52	68
SM	69 (7) <sup>b</sup>	58	80
L25	58 (6) <sup>a</sup>	50	73
L50	65 (7) <sup>b</sup>	55	85

\*Values having same letter are not significantly different ( $P > .05$ ).

Necati Kaleli, Çağrı Ural , Yeşim Ölçer Us, Evaluation of marginal discrepancy in metal frameworks fabricated by sintering-based computer-aided manufacturing methods, J Adv Prosthodont 2020;12:124-30



