



PME 3430

Materials para Construção Mecânica

Profs. Drs.: Newton K. Fukumasu, Deniol K. Tanaka & Amilton Sinatora

Referências:

CALLISTER, William D., *Materials science and engineering: an introduction*. 8ed. New York: John Wiley, 2009. 122p. ISBN-13: 978-0-471-73696-7

MEYERS, M. A. & Chawla K. K. *Mechanical Behavior of Materials*. Prentice Hall, 1999, 680. ISBN 0-13-262817-1 2



Cronograma de Atividades – 1º Semestre 2017

Proposta – 2

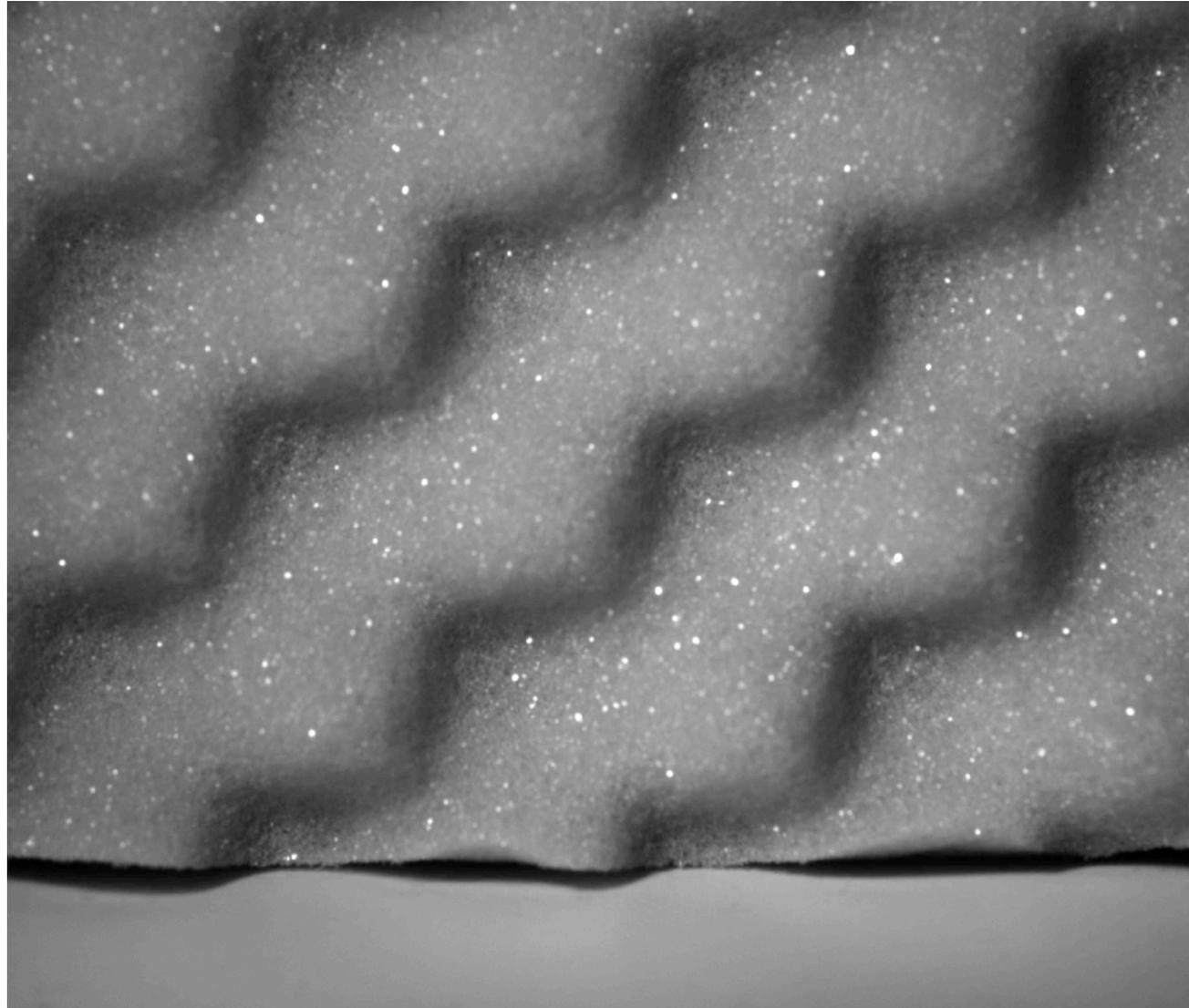
Aula	Data	Tópico do Programa
01	08/03	Apresentação da disciplina, critérios de avaliação e revisão de conceitos
02	15/03	Definição dos temas de trabalho e revisão de conceitos
03	22/03	Processamento de ligas metálicas (fundição)
04	29/03	Processamento de ligas metálicas (laminação e forjamento)
05	05/04	Tratamento térmico de ligas metálicas (diagrama TTT)
-	12/04	SEMANA SANTA – Não haverá aula
06	19/04	Tratamento de superfícies de ligas metálicas (químico e mecânico)
07	26/04	Ligas contra corrosão (Aço Inox)
08	03/05	Aula de exercícios
09	10/05	PROVA – P1 e entrega de TRABALHOS – T1
10	17/05	Processamento de Polímeros (polimerização, vulcanização, temperatura vítrea)
11	24/05	Processamento de Cerâmicas (fundição, sinterização, tratamento térmico)
12	31/05	Cerâmicas avançadas (piezos e termo-elétricos)
13	07/06	Recobrimentos cerâmicos (carbonetos, nitretos, óxidos)
14	14/06	Compósitos metal/polímero/cerâmicos (fibras de carbono, aramida)
15	21/06	Aula de exercícios
16	28/06	Entrega de TRABALHOS – T2
17	05/07	PROVA – P2
18	07/07	PROVA Substitutiva



LFS

Elastômeros

❖ Vídeo borracha

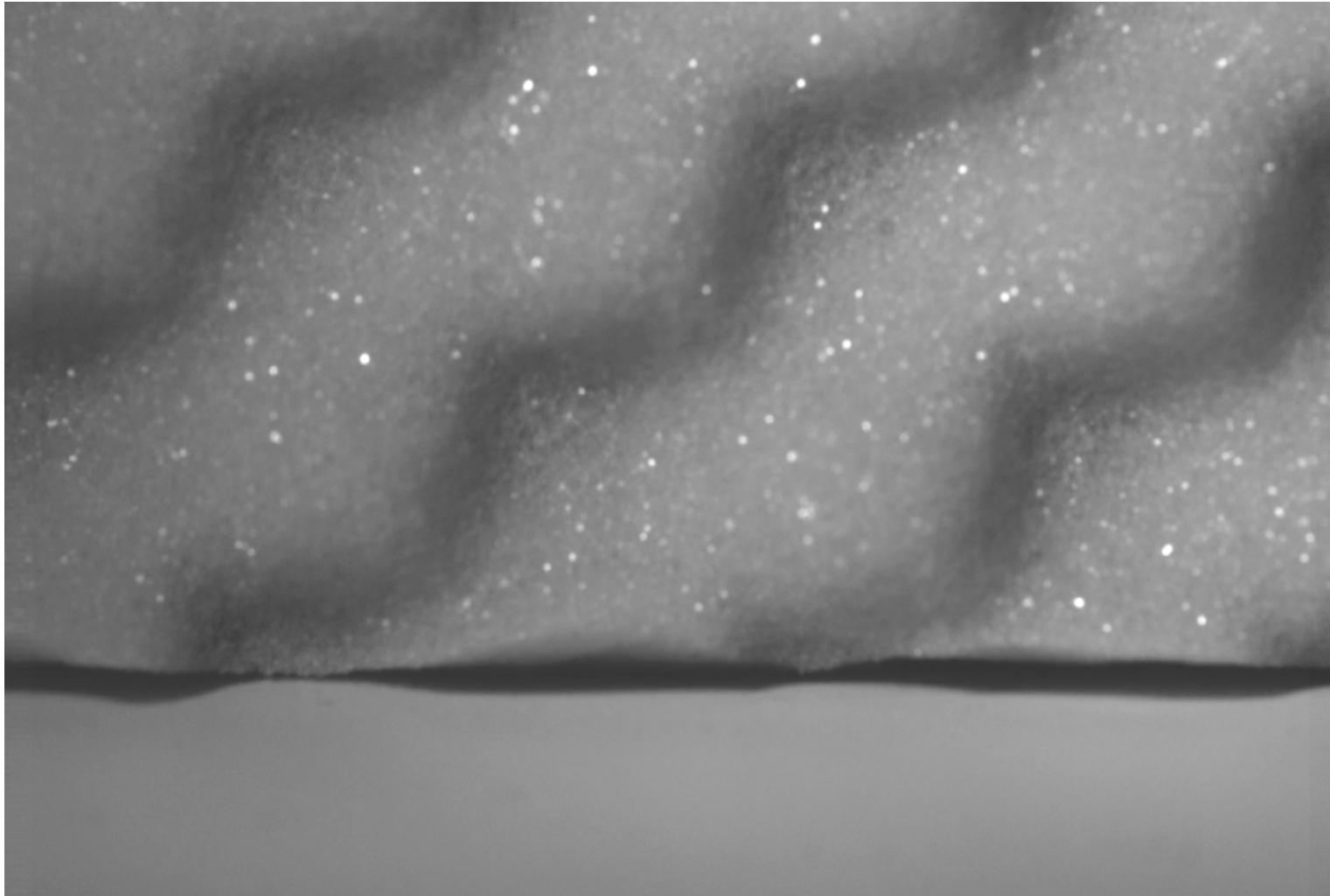




LFS

Elastômeros

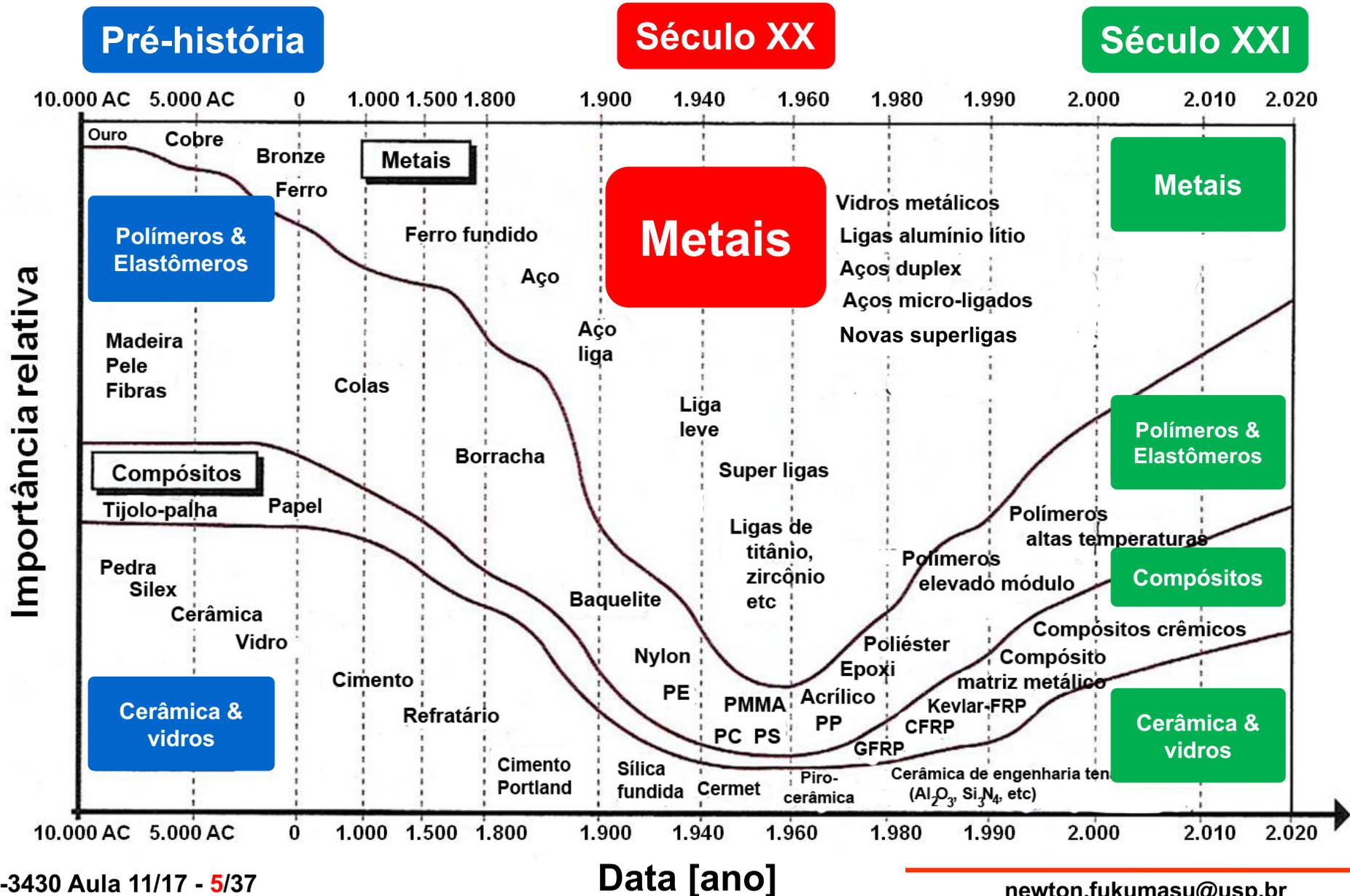
❖ Vídeo borracha





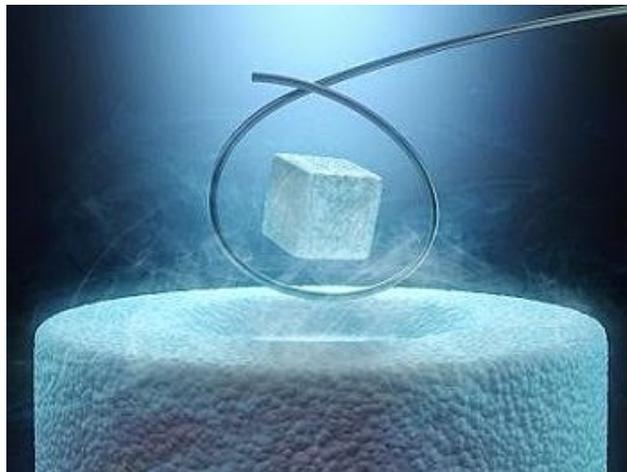
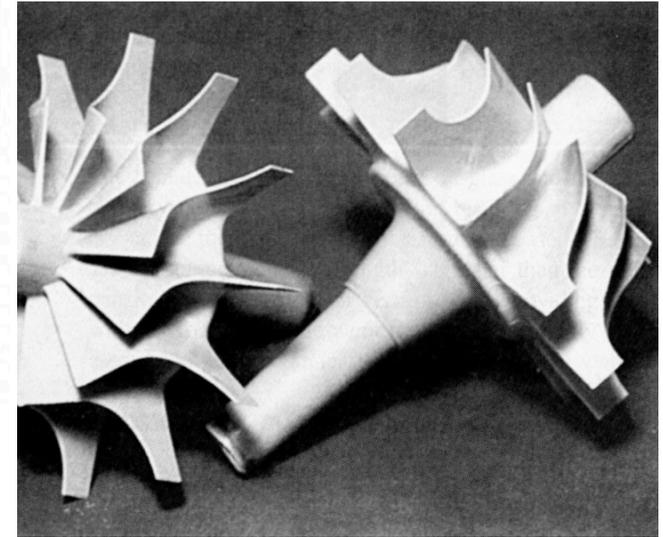
Uso de materiais

Materiais são substituídos em função do custo e desempenho





Materiais cerâmicos



http://supercondutividade.blogspot.com.br/2015/02/01_archive.html acessado em 03/2017



https://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_thermal_protection_system acessado em 03/2017

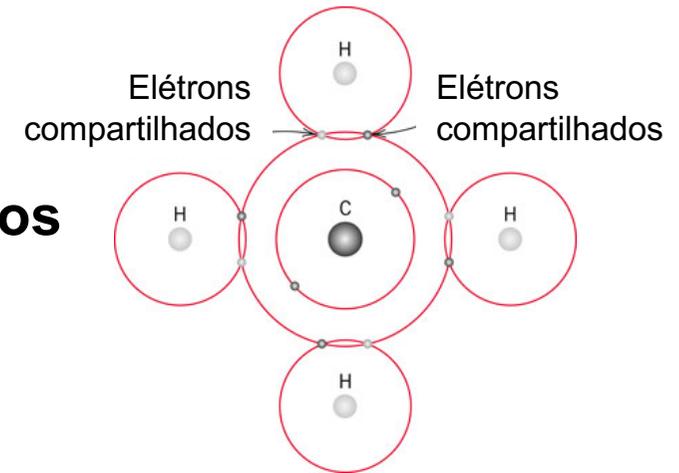




Ligações atômicas

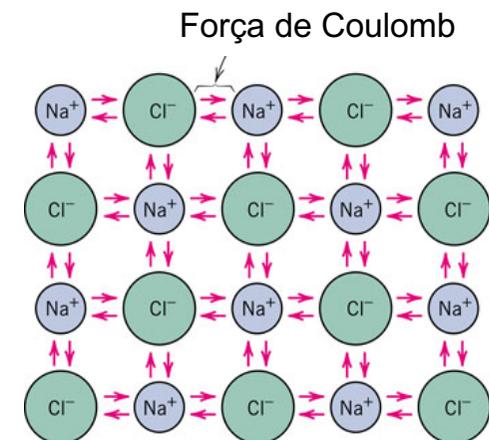
❖ Ligação covalente

- ❖ Elementos **não metálicos**
- ❖ **Elétrons compartilhados** entre os átomos
- ❖ Ligação **direcional**
- ❖ Energia de ligação variável



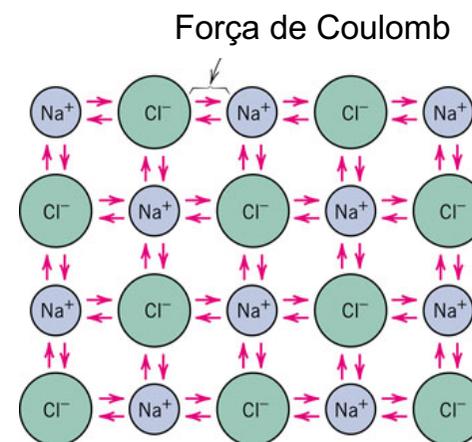
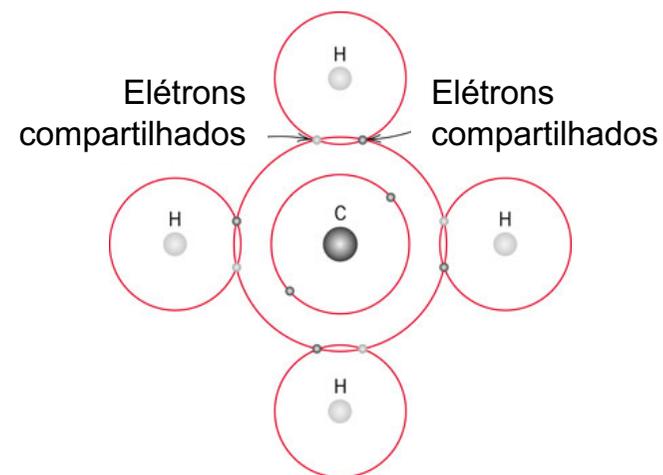
❖ Ligação iônica

- ❖ Elementos **metálicos** com **não metálicos**
- ❖ Formação de Íons (**doação/recepção**)
- ❖ Ligação **não direcional**
- ❖ **Alta energia** de ligação
- ❖ **Alta temperatura** de fusão



Ligações atômicas

Material	Porcentagem do caráter iônico
CaF_2	89
MgO	73
NaCl	67
Al_2O_3	63
SiO_2	51
Si_3N_4	30
ZnS	18
SiC	12

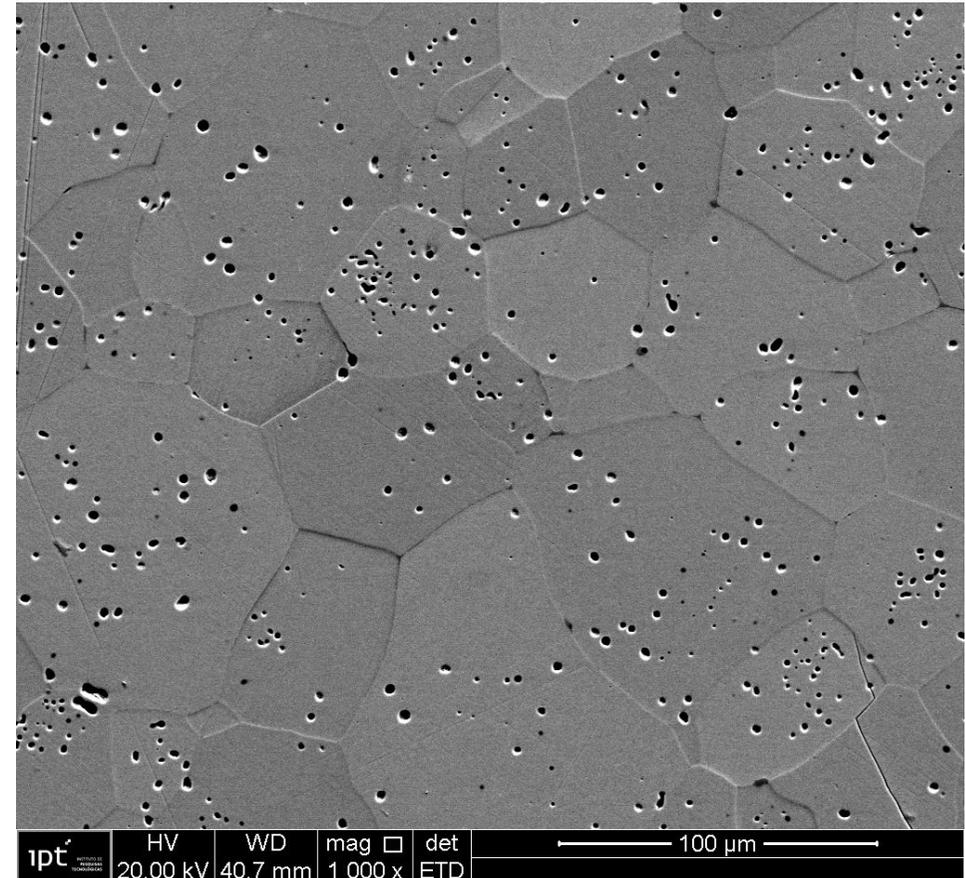
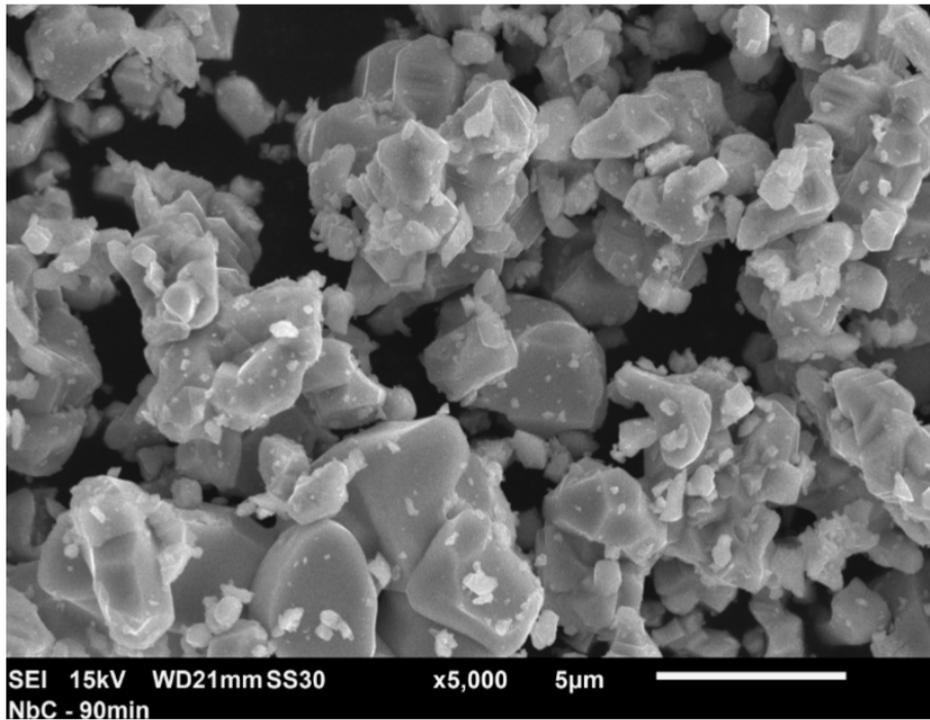




LFS

Microestruturas

❖ Carboneto de Nióbio (NbC)

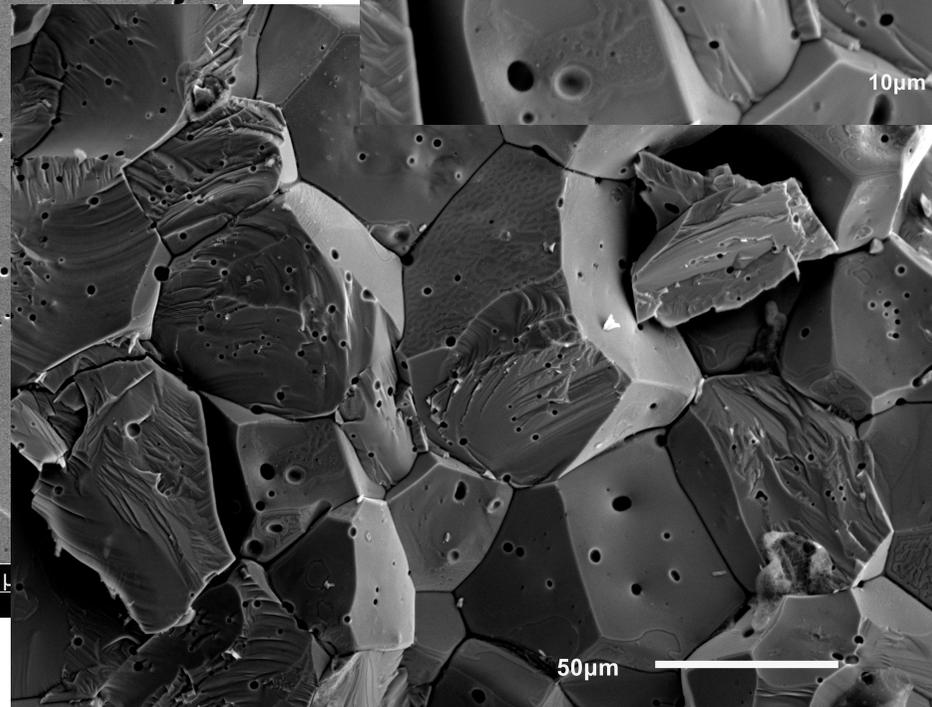
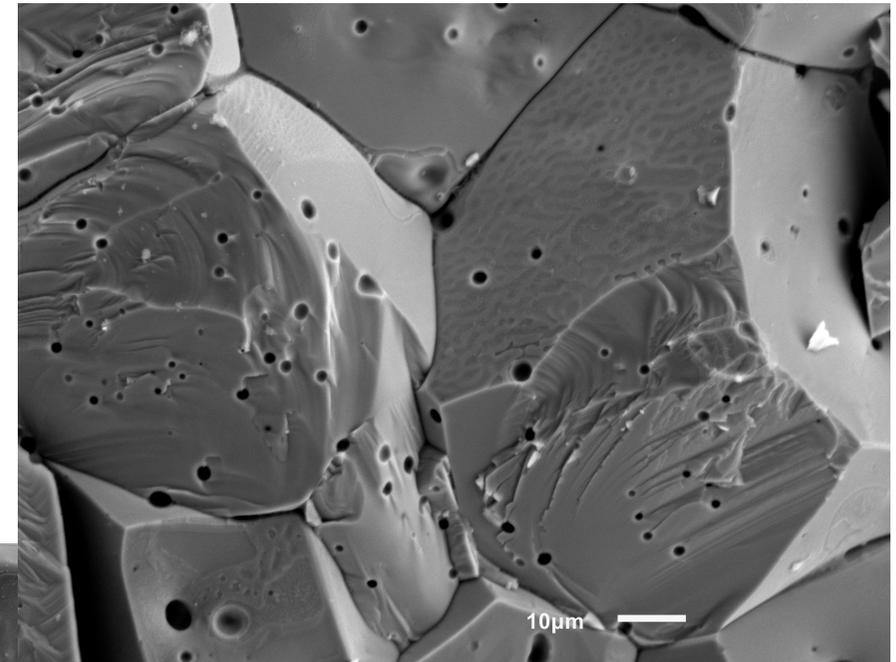
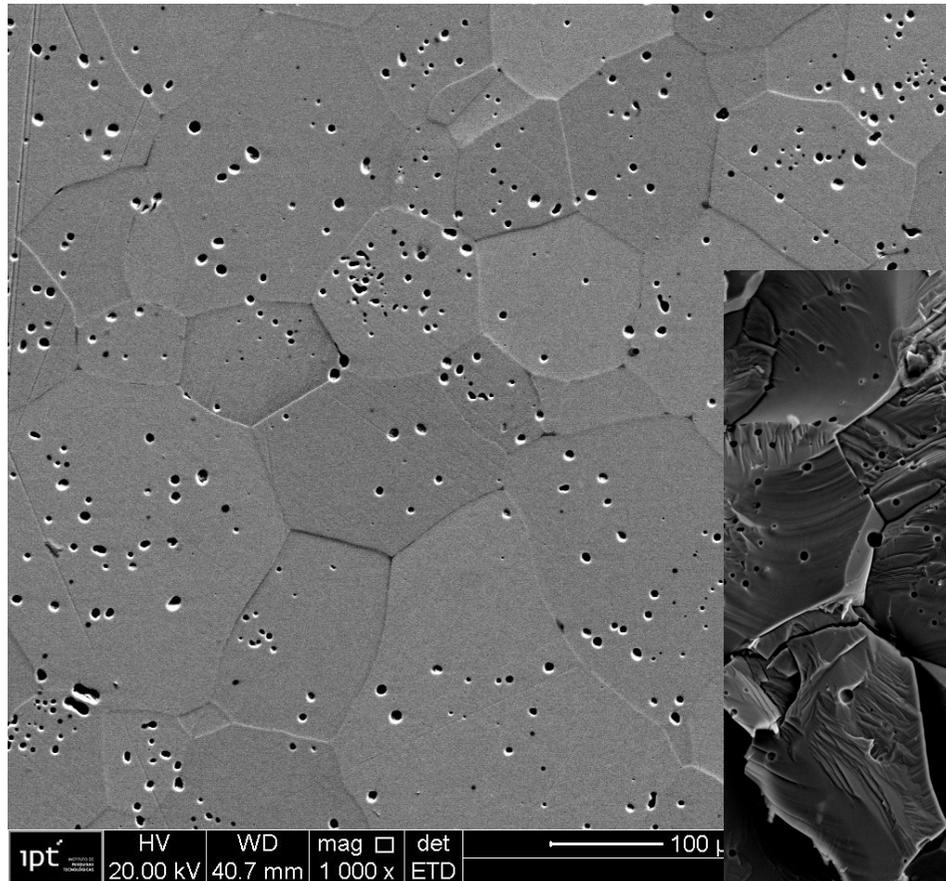




LFS

Microestruturas

❖ Carboneto de Nióbio (NbC)



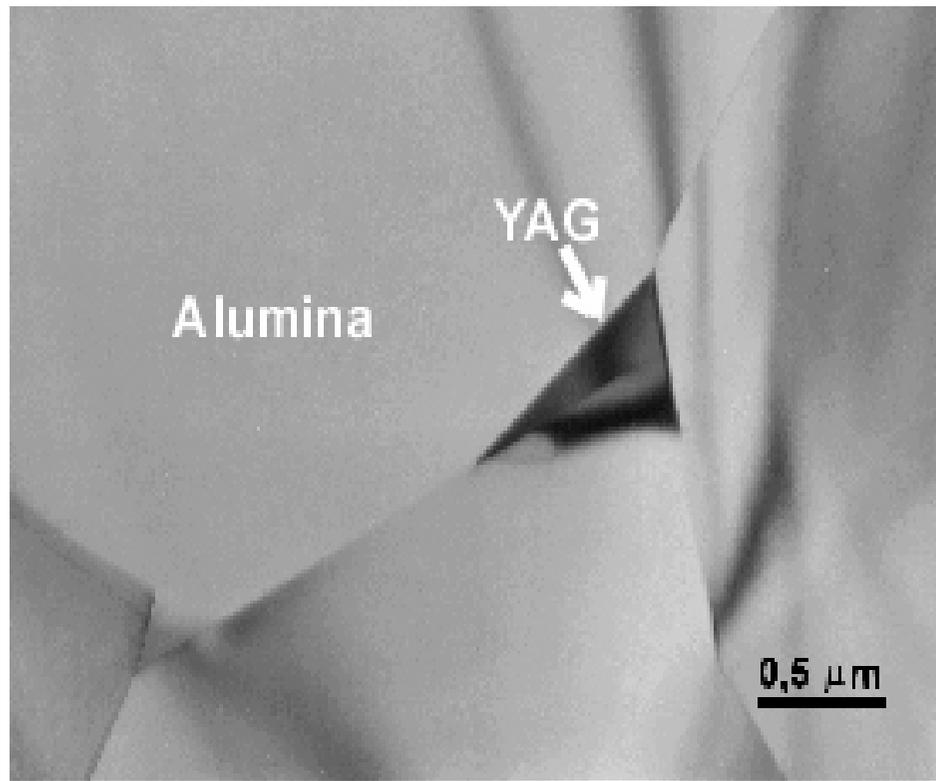


Microestruturas

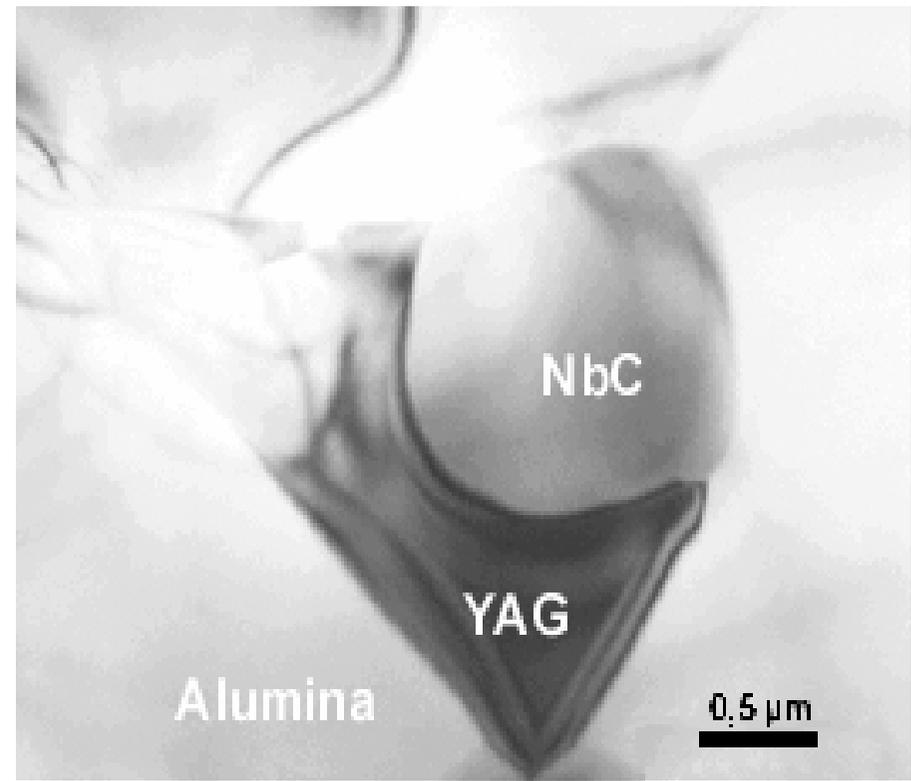
❖ Ytrium Aluminum Garnet (YAG)



❖ Fase ligante



Ferreira 2001





Processamento de cerâmicas

❖ Fusão



❖ Secagem + Queima



❖ Metalurgia do pó

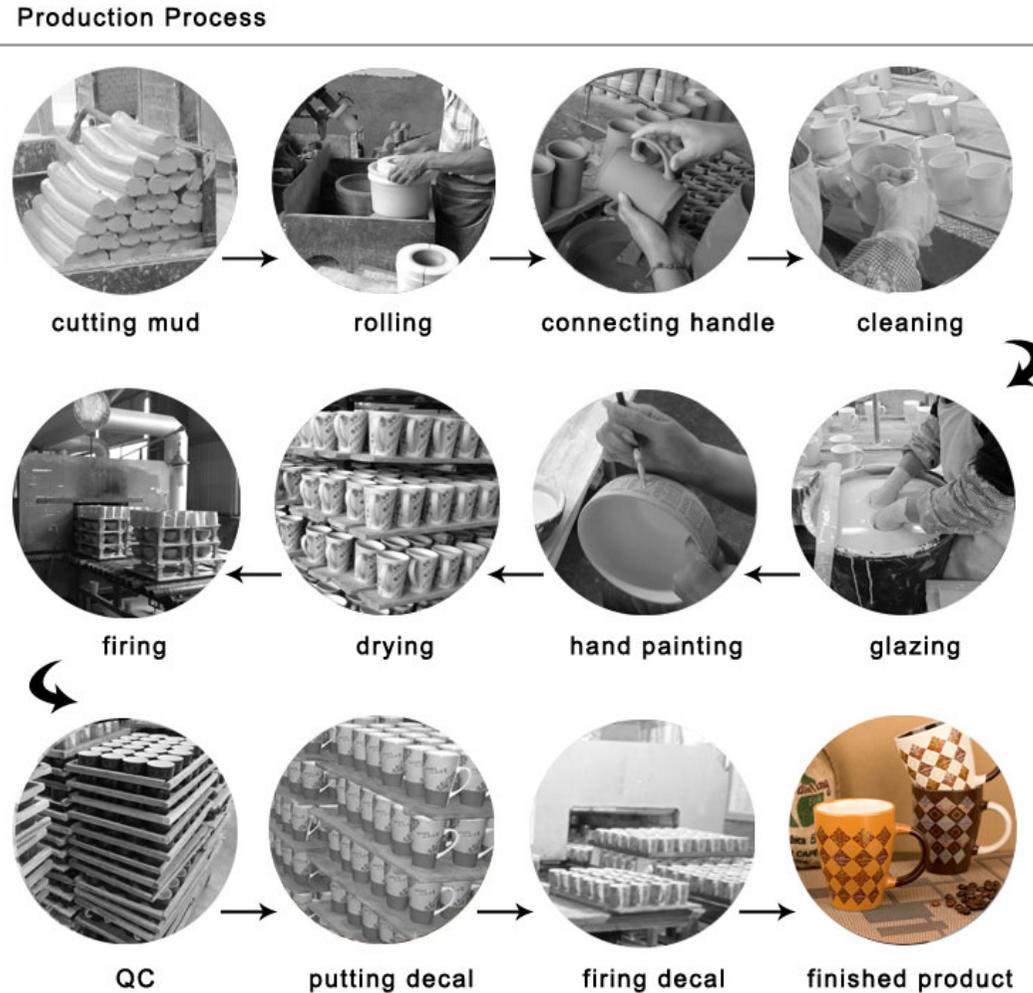
❖ Compactação a frio

❖ Compactação a quente



Processamento de cerâmicas

❖ Secagem + Queima



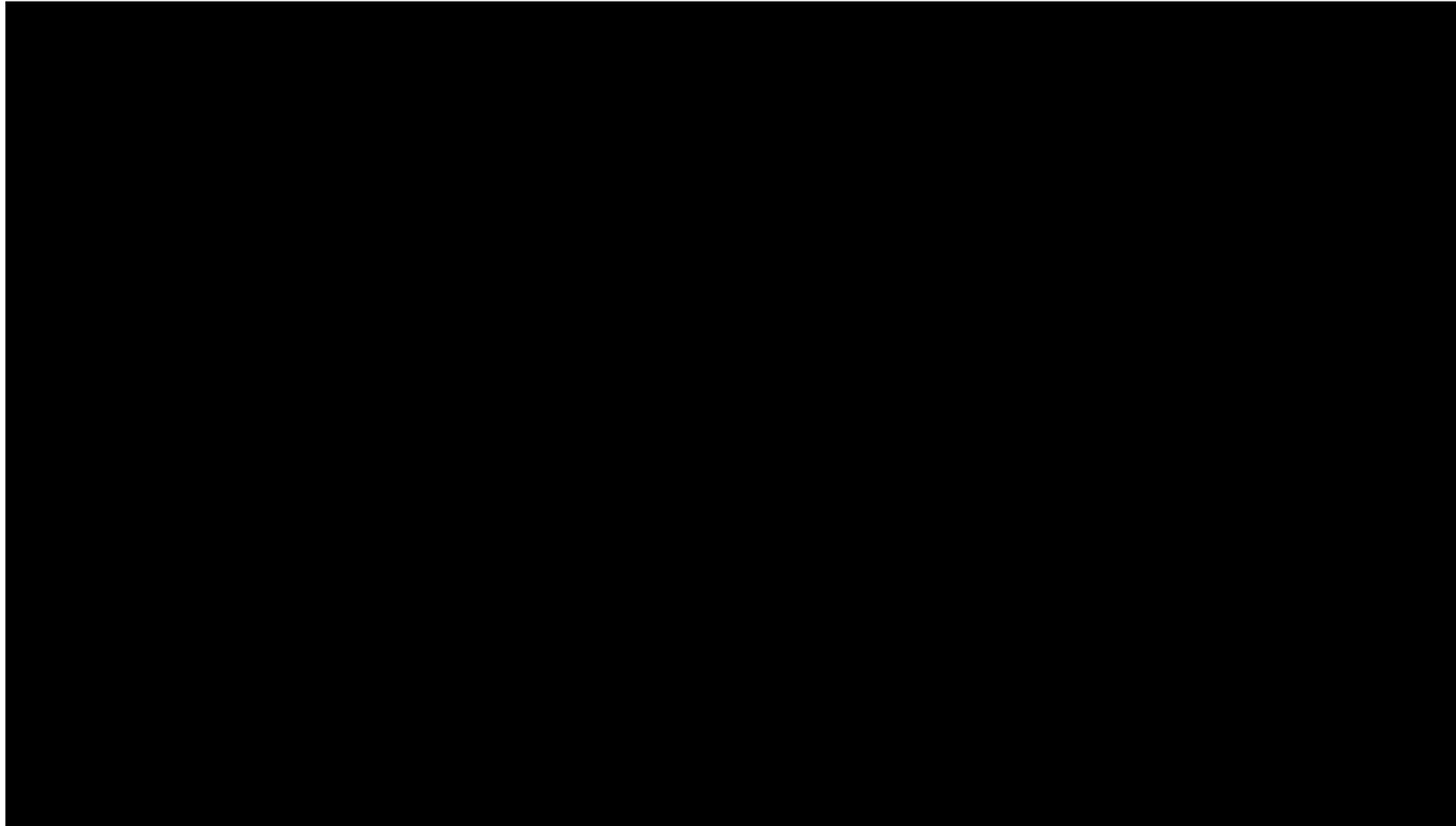
<https://ceramiccoffeecup.wordpress.com/manufacturing-process/>



LFS

Processamento de cerâmicas

❖ Secagem + Queima



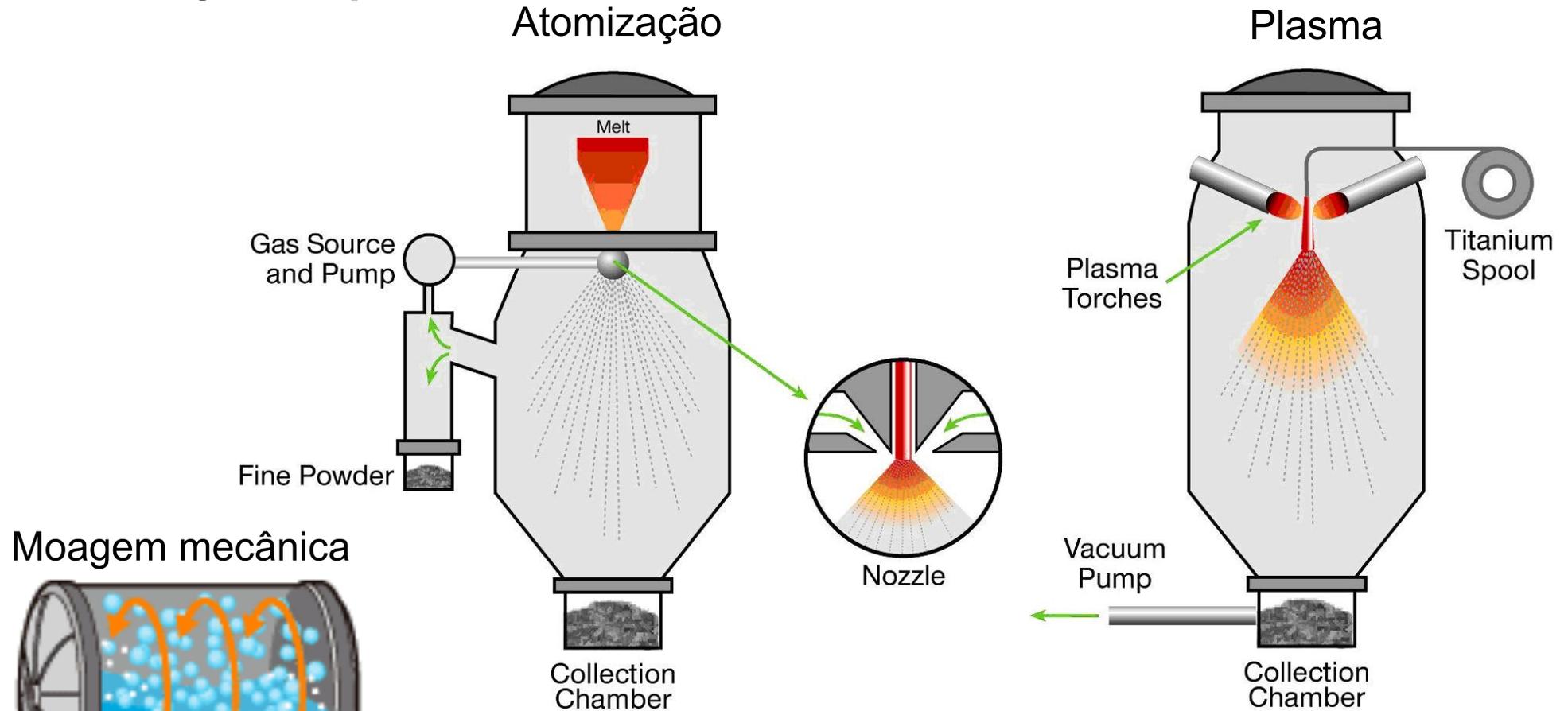


Processamento de cerâmicas

- ❖ **Metalurgia do pó**
 - ❖ **Produção do pó**
 - ❖ **Misturas**
 - ❖ **Secagem**
 - ❖ **Controle do tamanho do pó**
 - ❖ **Conformação + queima**
 - ❖ **Prensagem uniaxial ou isostática a frio**
 - ❖ **Extrusão**
 - ❖ **Injeção em molde**
 - ❖ **Conformação + sinterização**
 - ❖ **Prensagem uniaxial ou isostática a quente**

Processamento de cerâmicas

❖ Produção do pó



<http://www.lpwtechnology.com/technical-library/powder-production/>



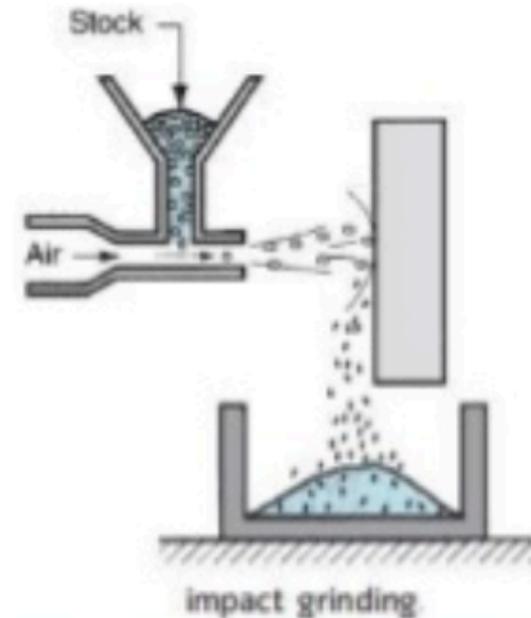
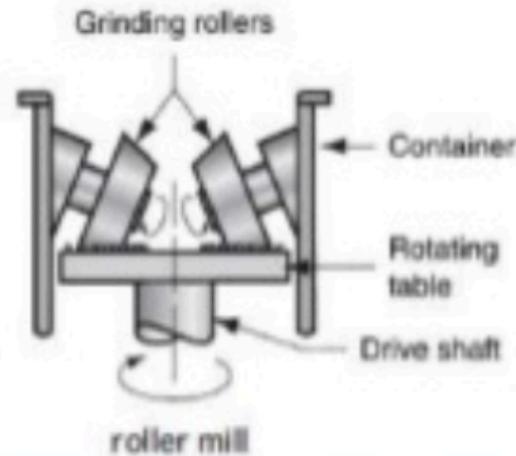
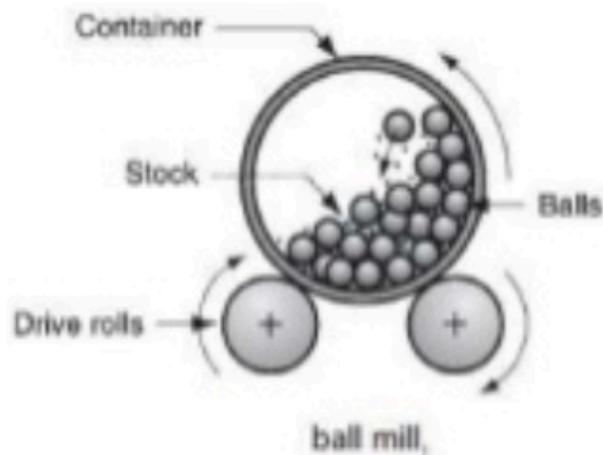
Processamento de cerâmicas

❖ Redução do tamanho de partícula

Cominuição por impacto

Cominuição por esferas

Cominuição por rolos



<https://www.slideshare.net/shunty12/5-powder-metallurgy>

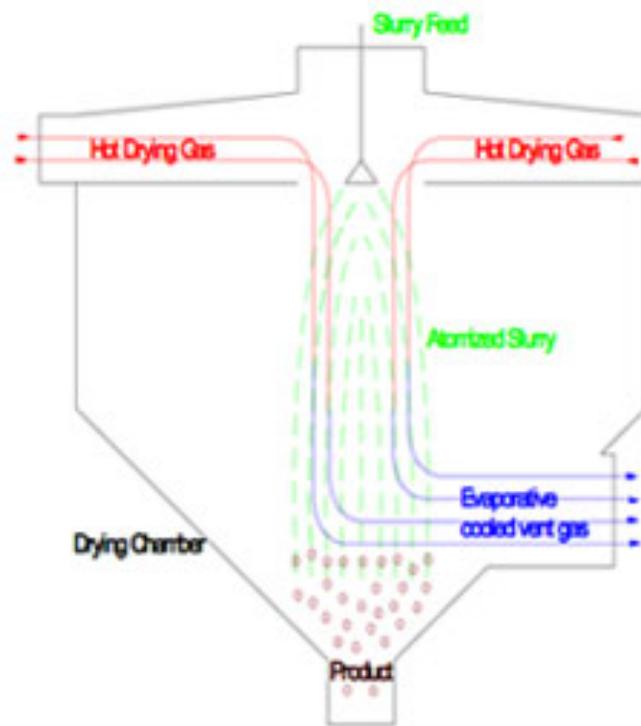


LFS

Processamento de cerâmicas

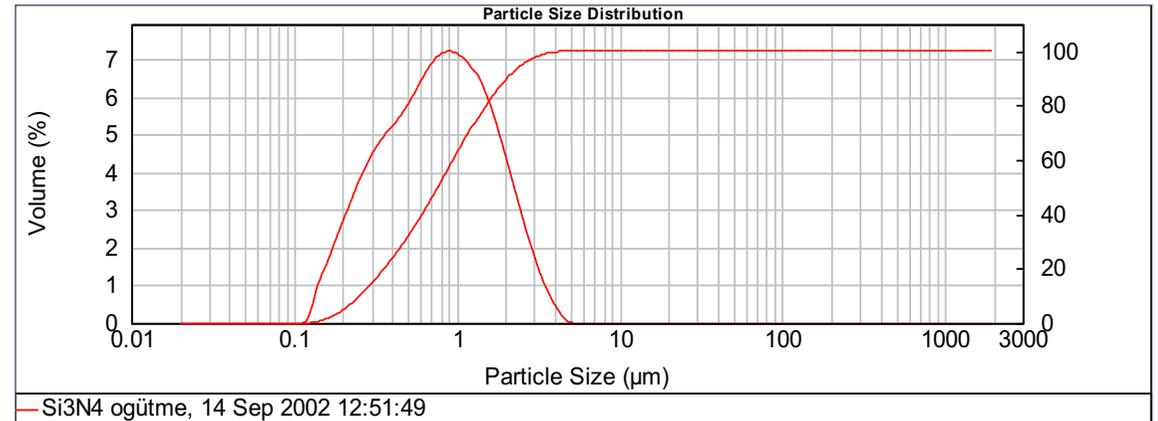
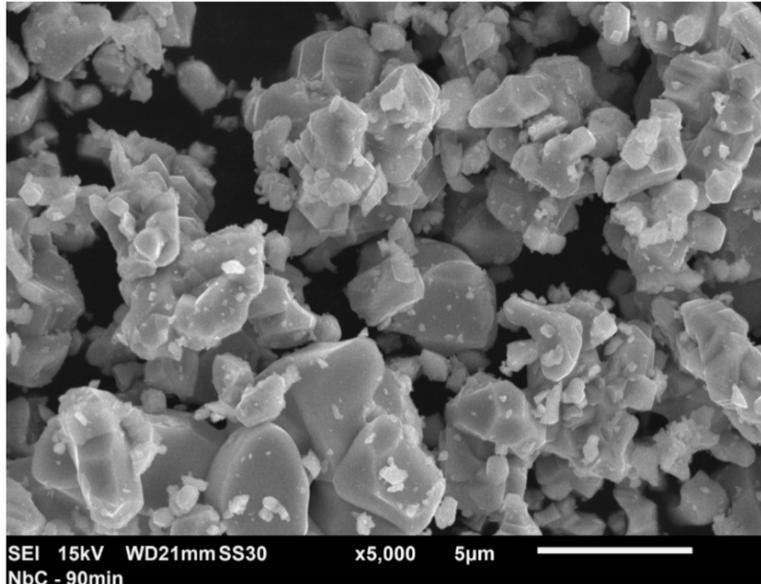
❖ Secagem do pó

❖ Spray





Processamento de cerâmicas

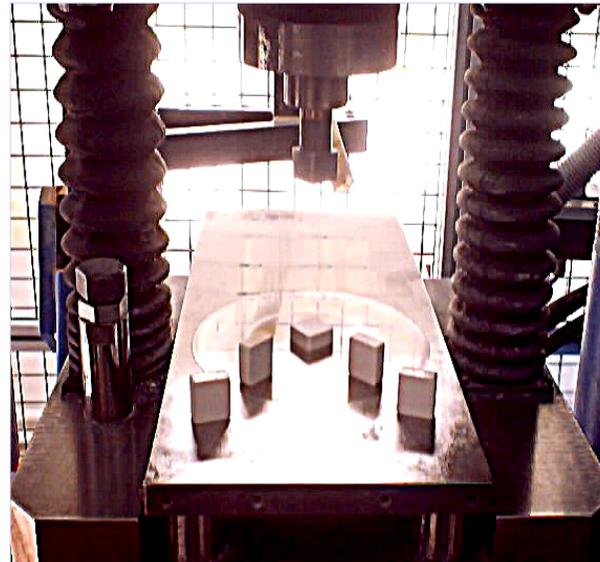


Ferreira 2008

O pó resultante do processo de moagem e secagem deve ser puro e ter distribuição que minimize formação de poros na sinterização

Processamento de cerâmicas

❖ Prensagem uniaxial ou isostática a frio



Ferreira 2008

Processamento de cerâmicas

❖ Extrusão e Injeção em molde

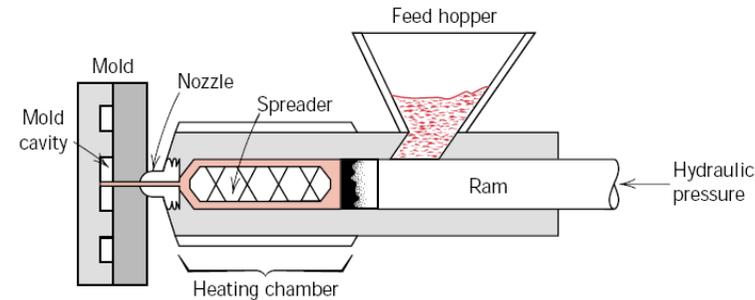
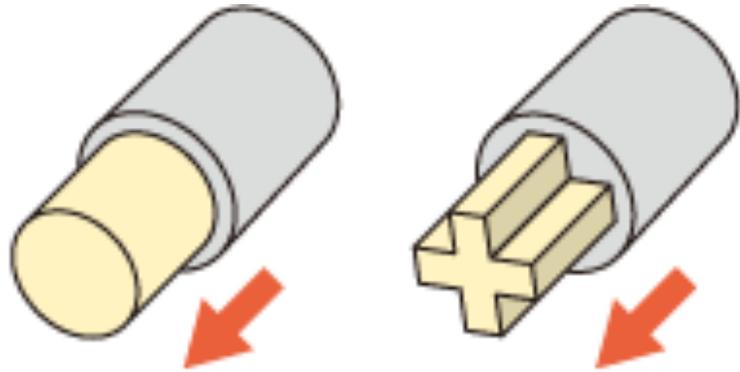
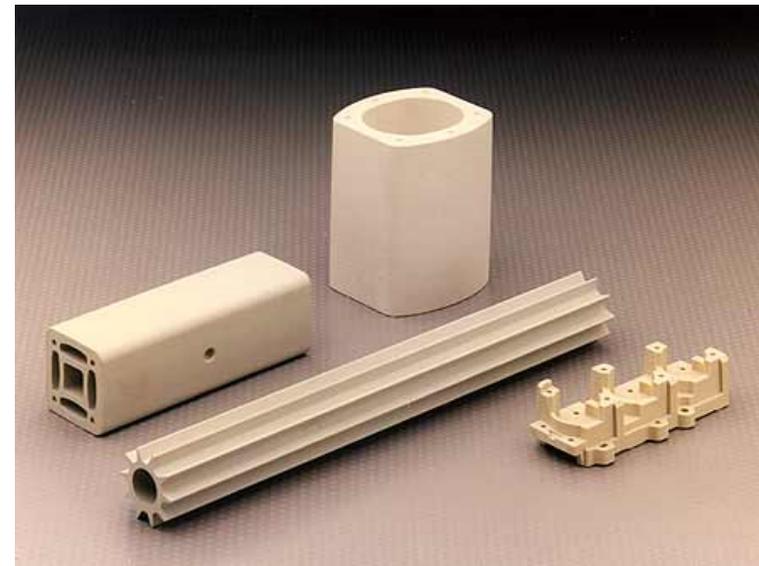


FIGURE 14.28 Schematic diagram of an injection molding apparatus. (Adapted from F. W. Billmeyer, Jr., *Textbook of Polymer Science*, 2nd edition. Copyright © 1971 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)



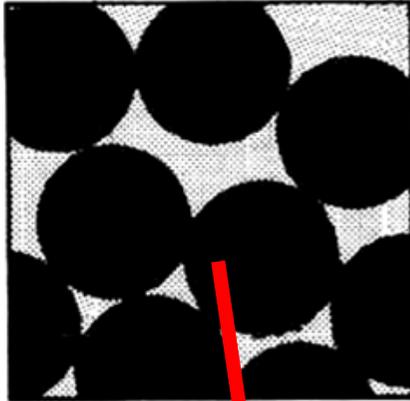
Ferreira 2008



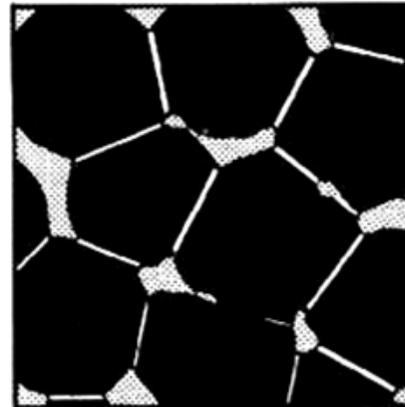
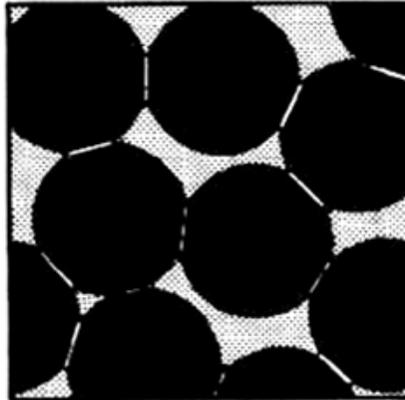
Processamento de cerâmicas – Sinterização

❖ Compressão a quente

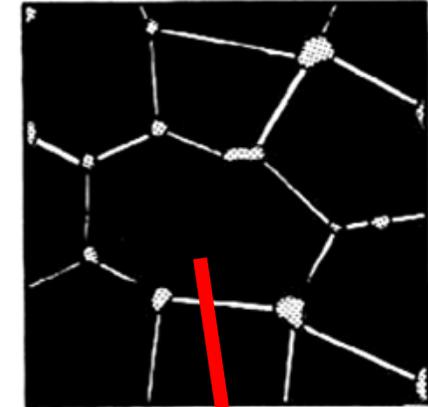
loose powder



initial stage

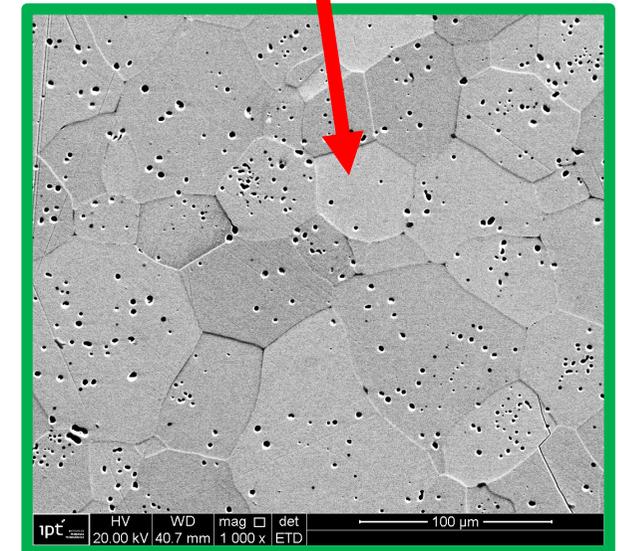
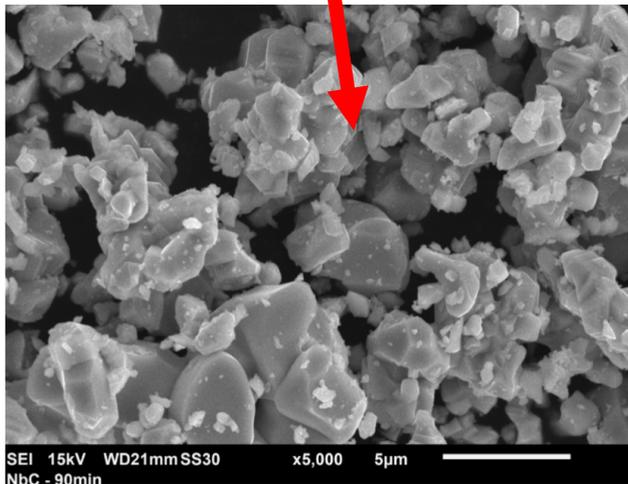


intermediate stage

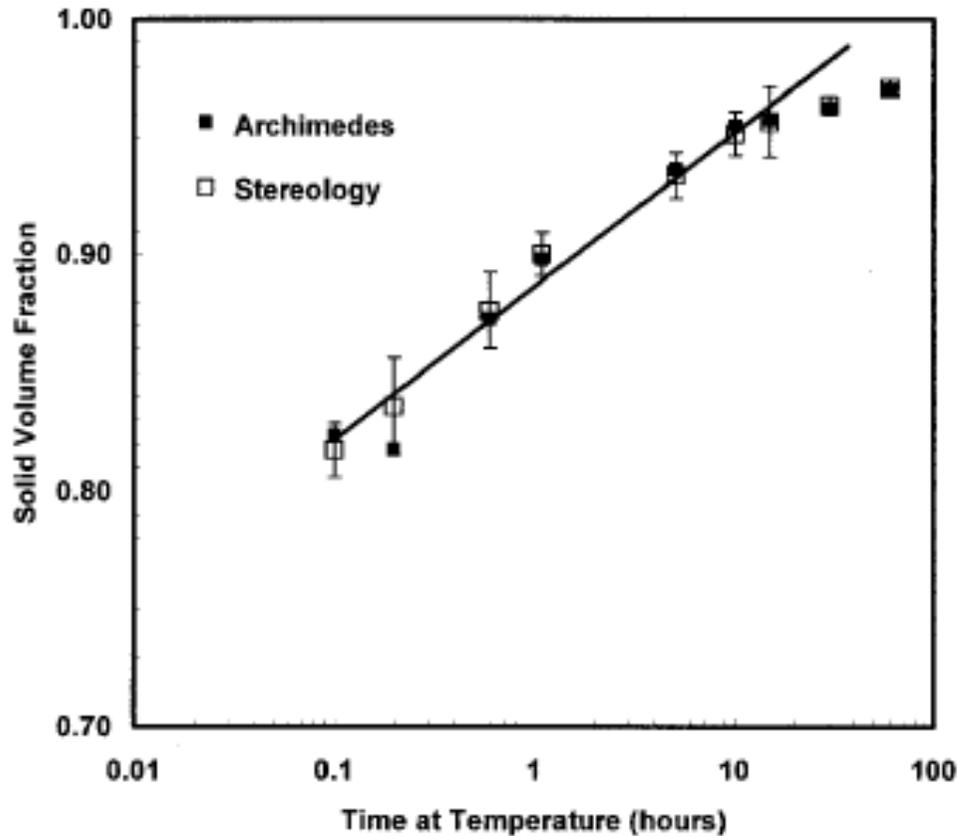
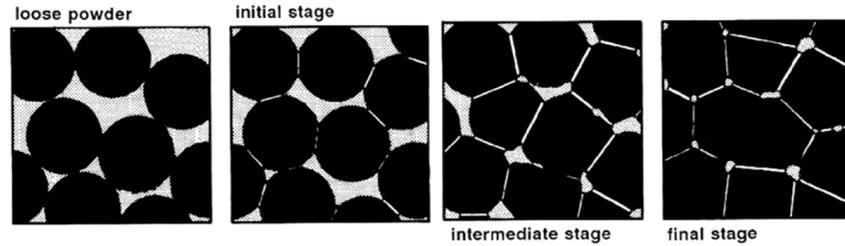


final stage

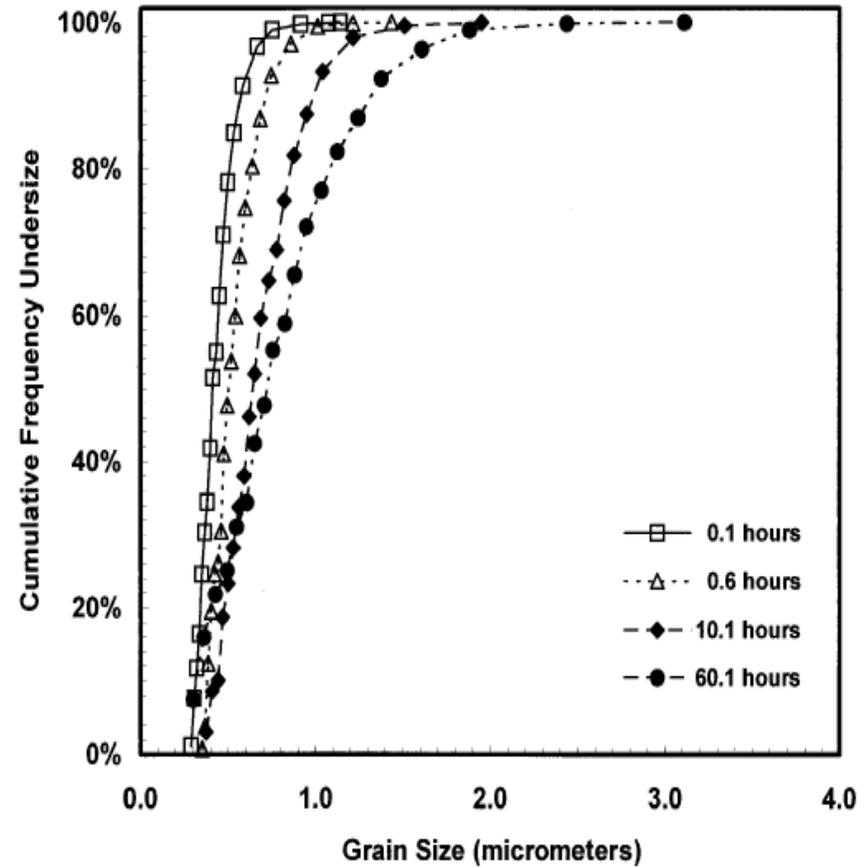
<https://www.intechopen.com/books/advances-in-ceramics-synthesis-and-characterization-processing-and-specific-applications/synthesis-and-thermoluminescent-characterization-of-ceramics-materials>



Processamento de cerâmicas



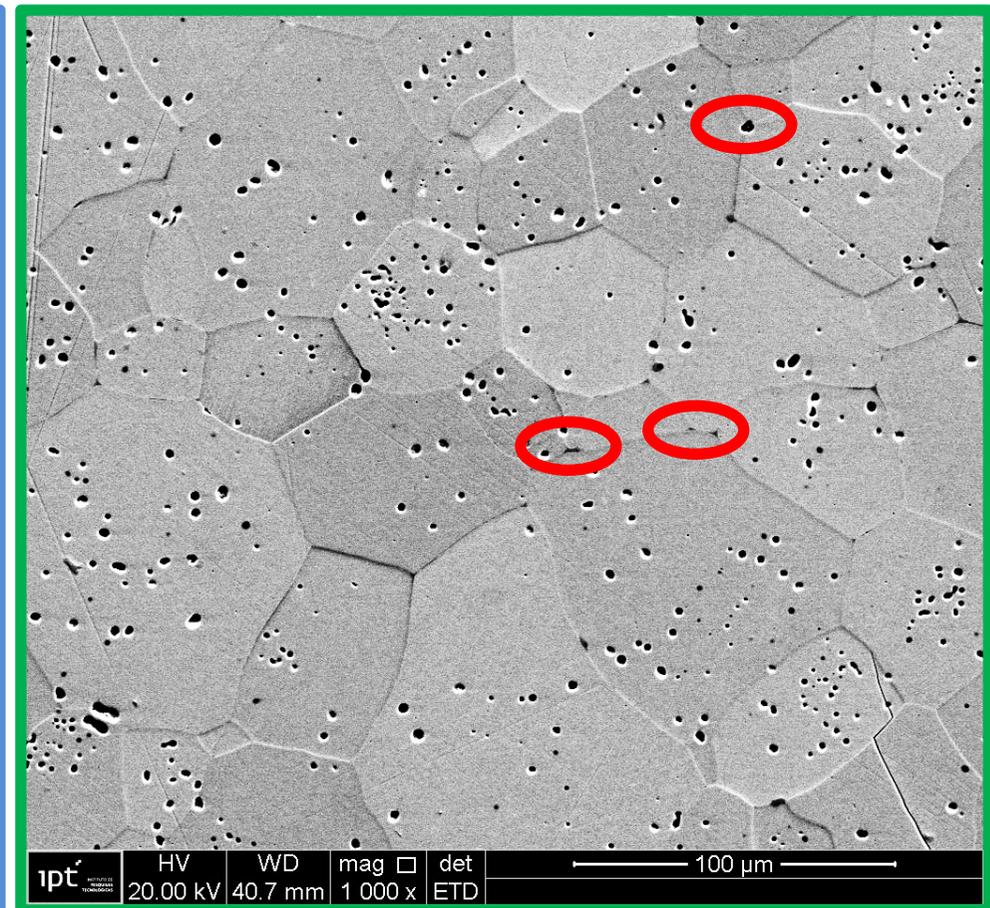
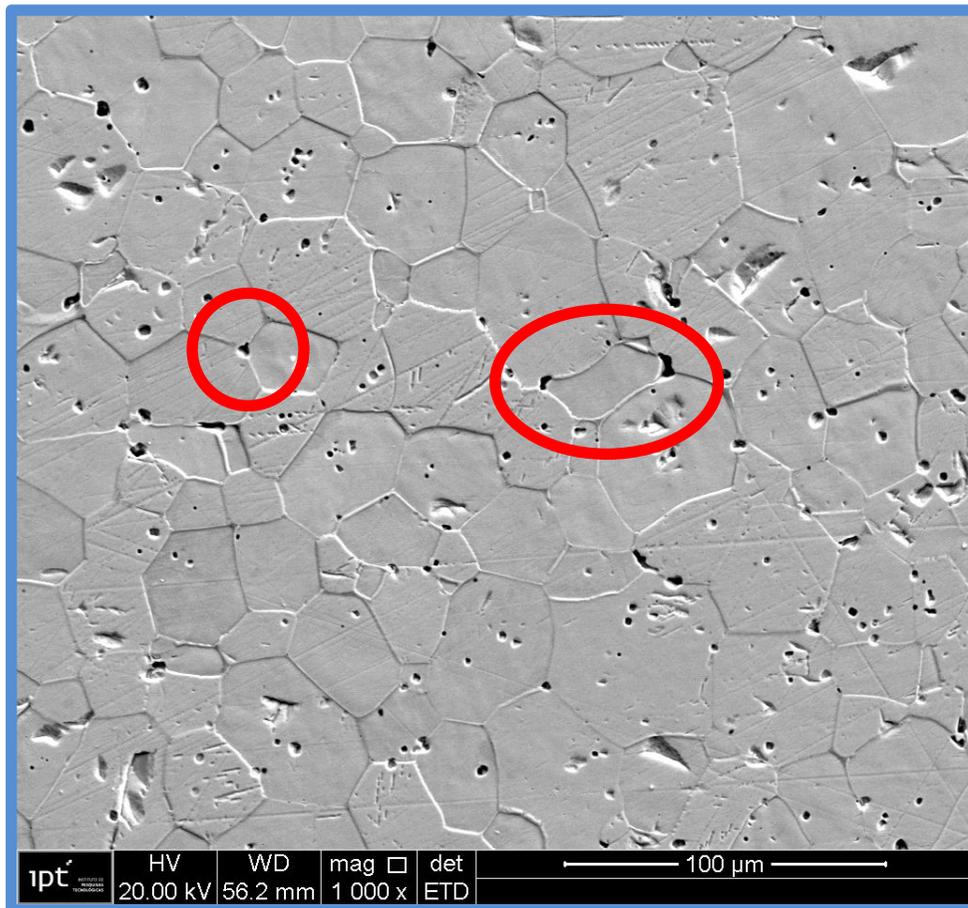
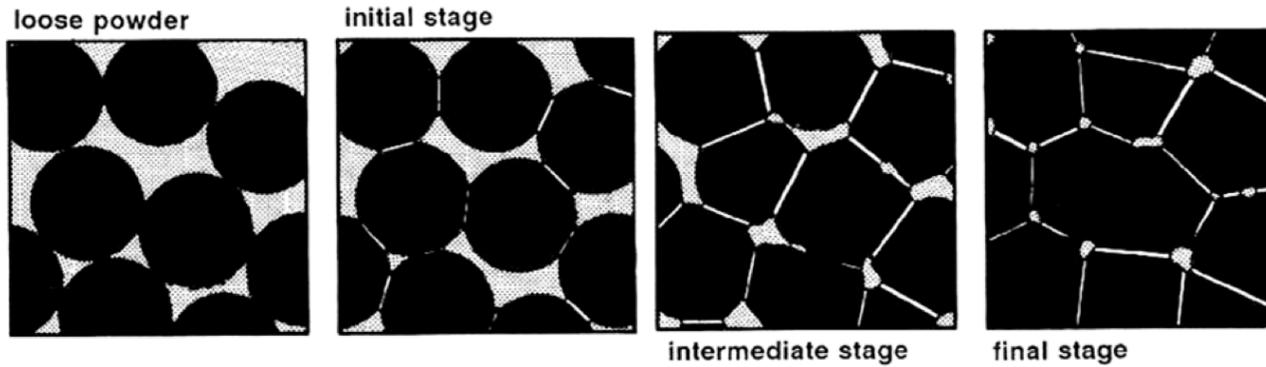
Efeito do tempo de sinterização na densidade



Efeito do tempo no tamanho de grão.

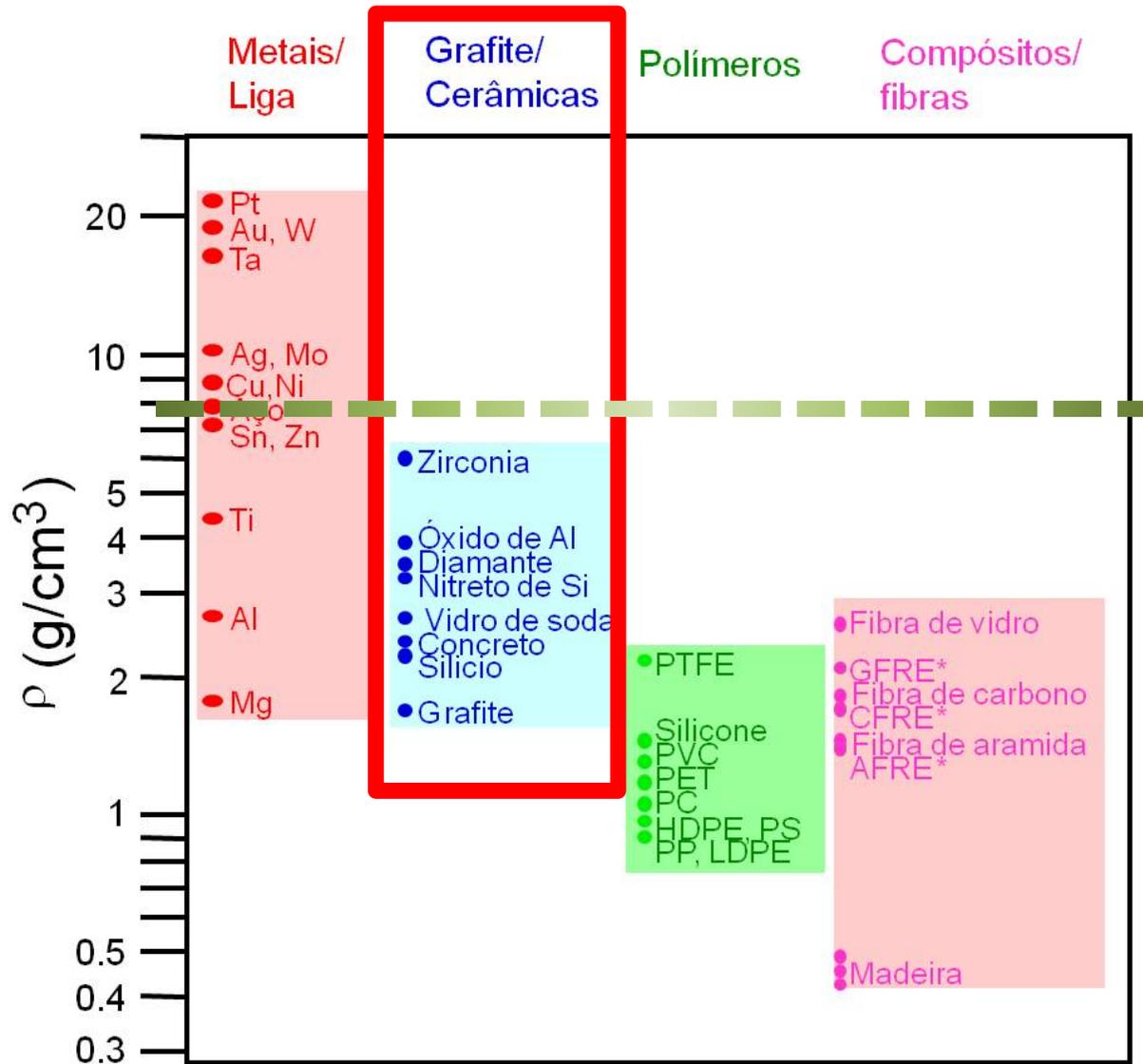


Microestrutura de cerâmicas





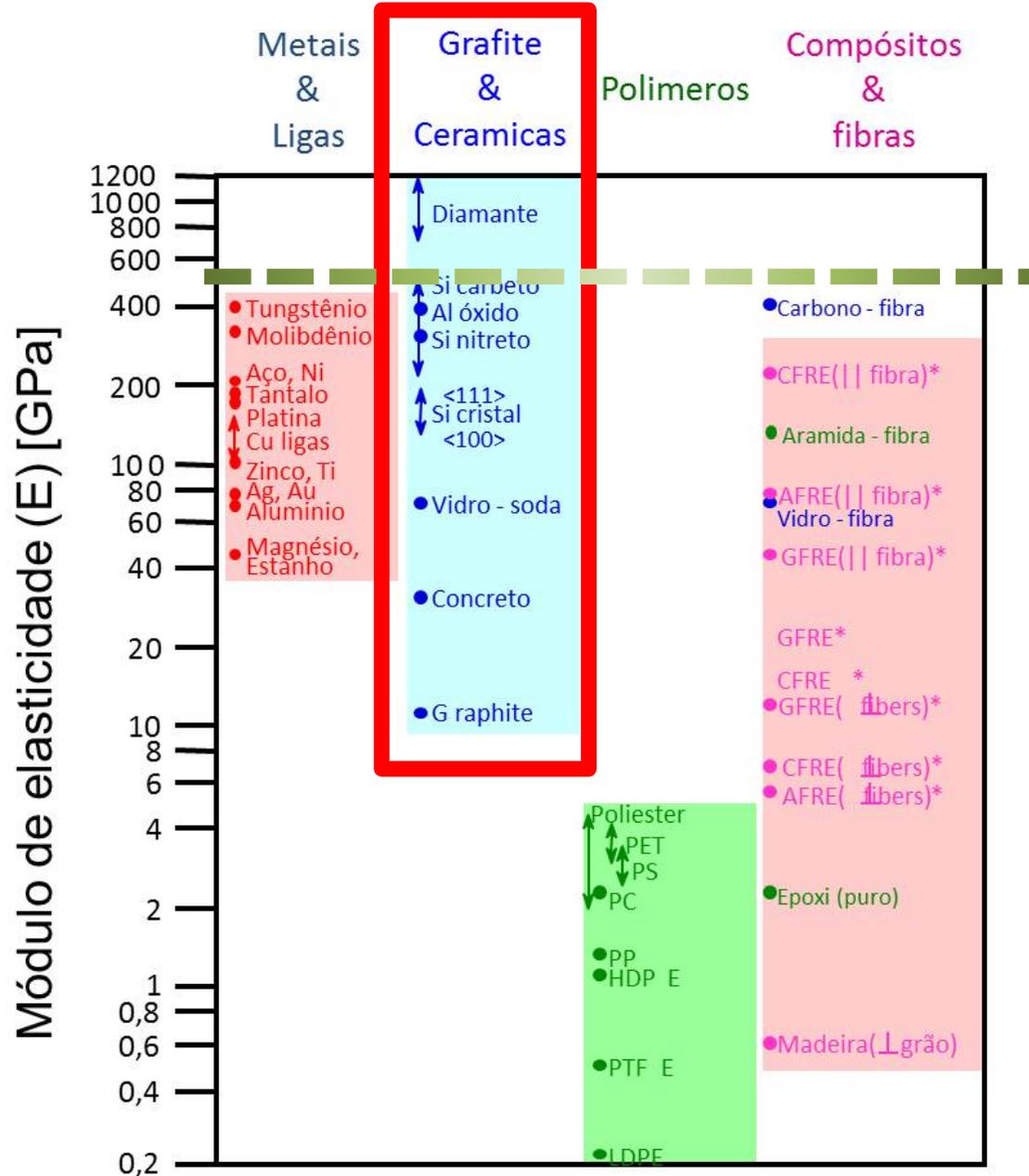
Tipos de materiais – Módulo elástico



Exemplos	
Cerâmica	ρ (g/cm ³)
Al ₂ O ₃	3,9
SiO ₂	2,65
MgO	3,58
SiC	3,21
Si ₃ N ₄	3,21
TiC	4,93
TiN	5,29
BN (hexagonal)	2,27
BN (cúbico)	3,48
NbC (cúbico)	7,82

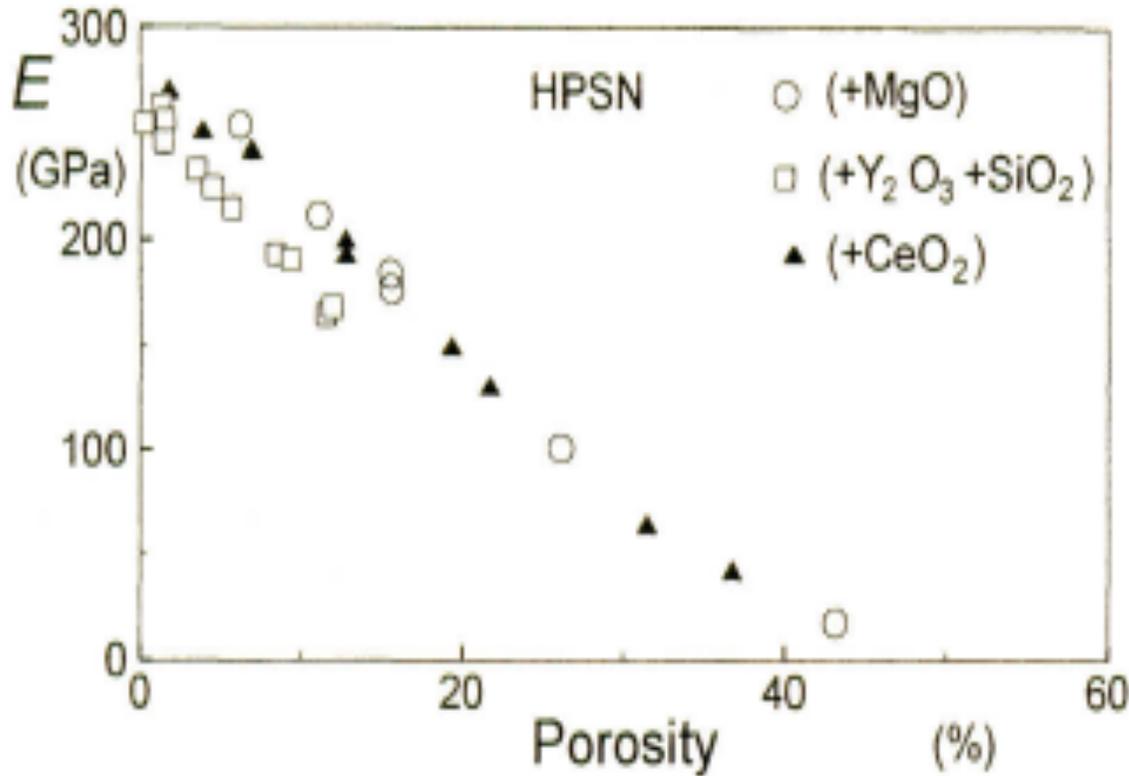


Tipos de materiais – Módulo elástico





Tipos de materiais – Módulo elástico



Efeito da POROSIDADE e dos aditivos no módulo

Modelos para o efeito da porosidade no módulo

$$E = E_0(1 - aP)$$

$$E = E_0(1 - aP + bP^2)$$

$$E = E_0(1 - aP)^b$$

$$E = E_0[1 + aP / (1 - (a + 1)P)]$$

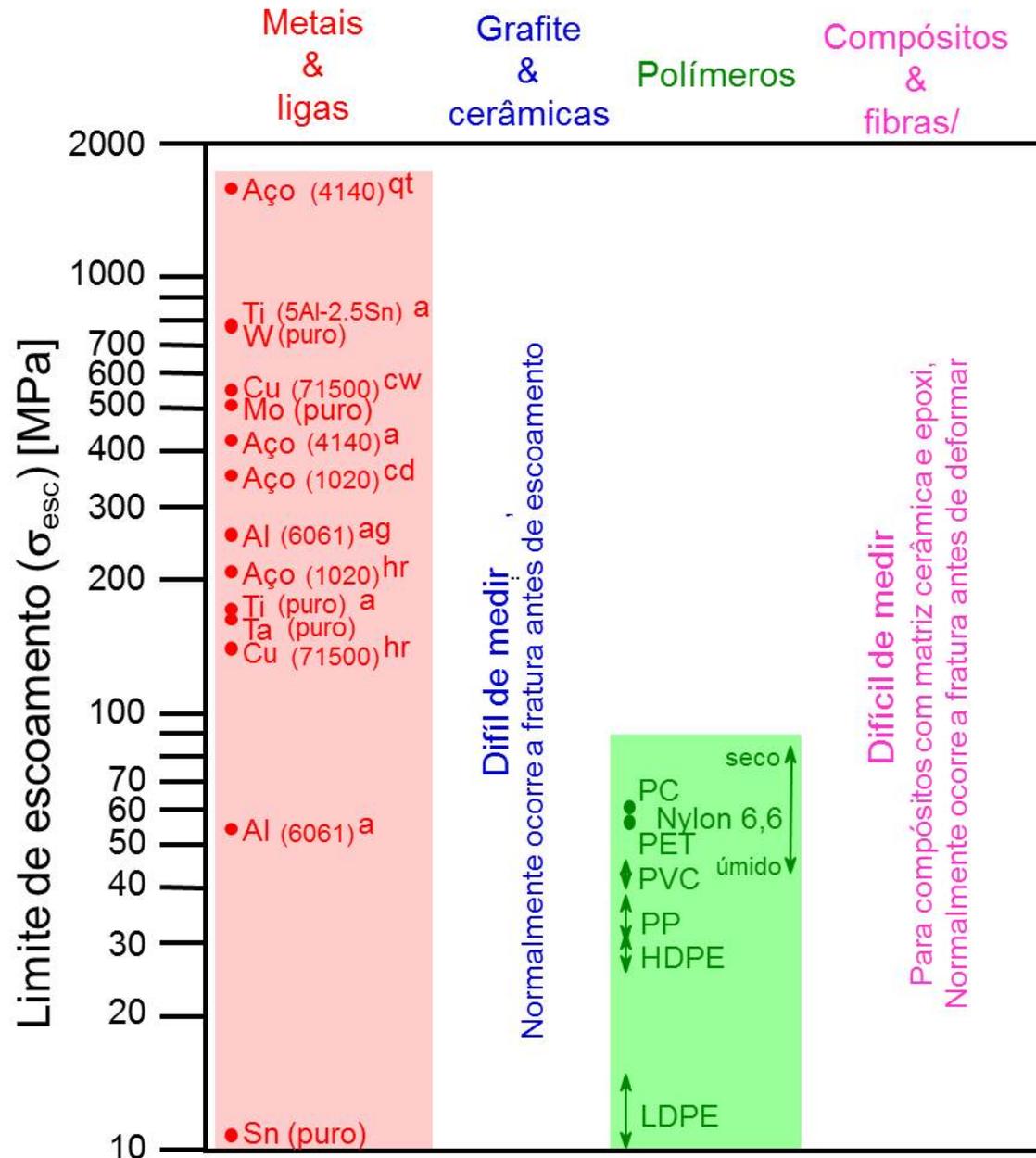
$$E = E_0 \exp(-aP)$$

$$E = E_0 \exp[-(aP + bP^2)]$$

Munz Fett 1998

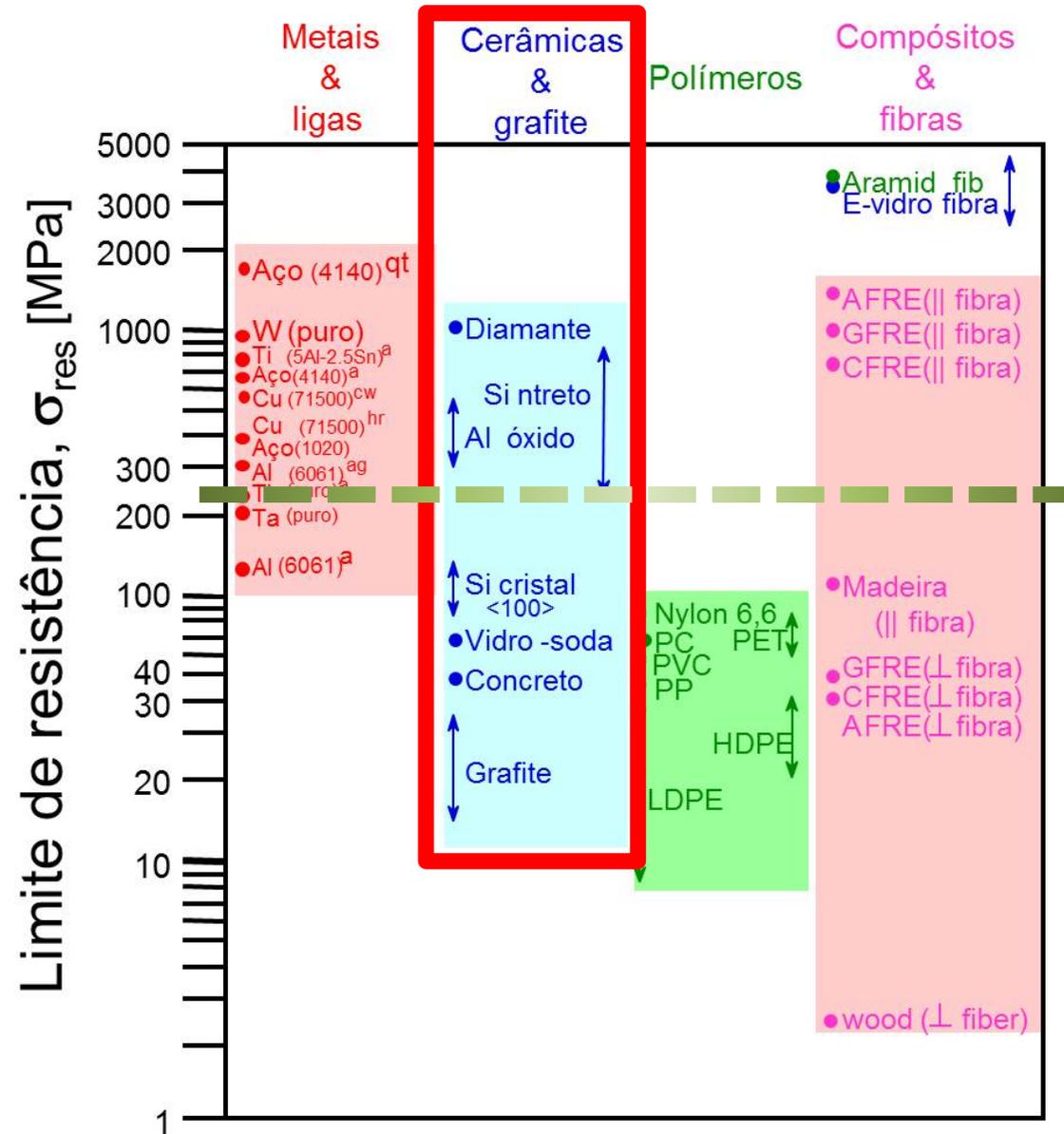


Tipos de materiais – Limite de Escoamento





Tipos de materiais – Limite de Resistência





Comportamento de falha

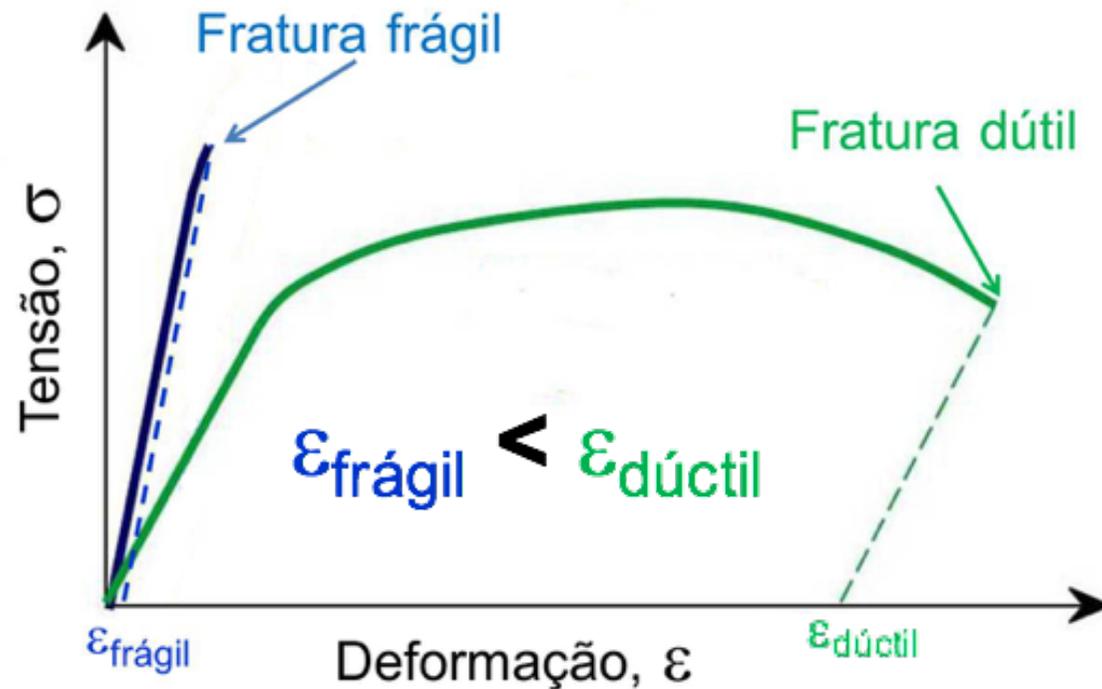
❖ Materiais dúcteis X frágeis

❖ Metálicos
❖ Dúcteis

❖ Polímeros
❖ Dúcteis

❖ Cerâmicas
❖ Frágeis

❖ Compósitos
❖ Dúcteis ou frágeis





Comportamento de falha

❖ Tenacidade à fratura

❖ Inglis

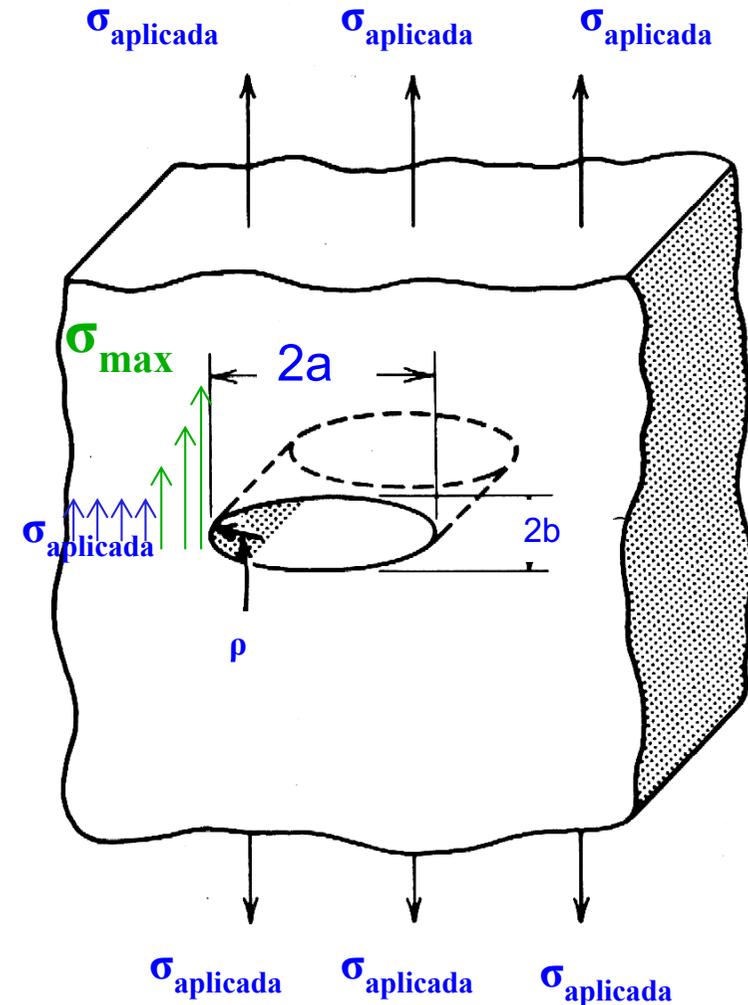
$$\sigma_{max} = \sigma_{aplicada} \left(1 + 2 \sqrt{\frac{a}{\rho}} \right)$$

❖ Griffith

$$\sigma_{fratura} = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{\pi a}}$$

❖ Irwing

$$K_c = \sigma_c \sqrt{\pi a}$$





Comportamento de falha

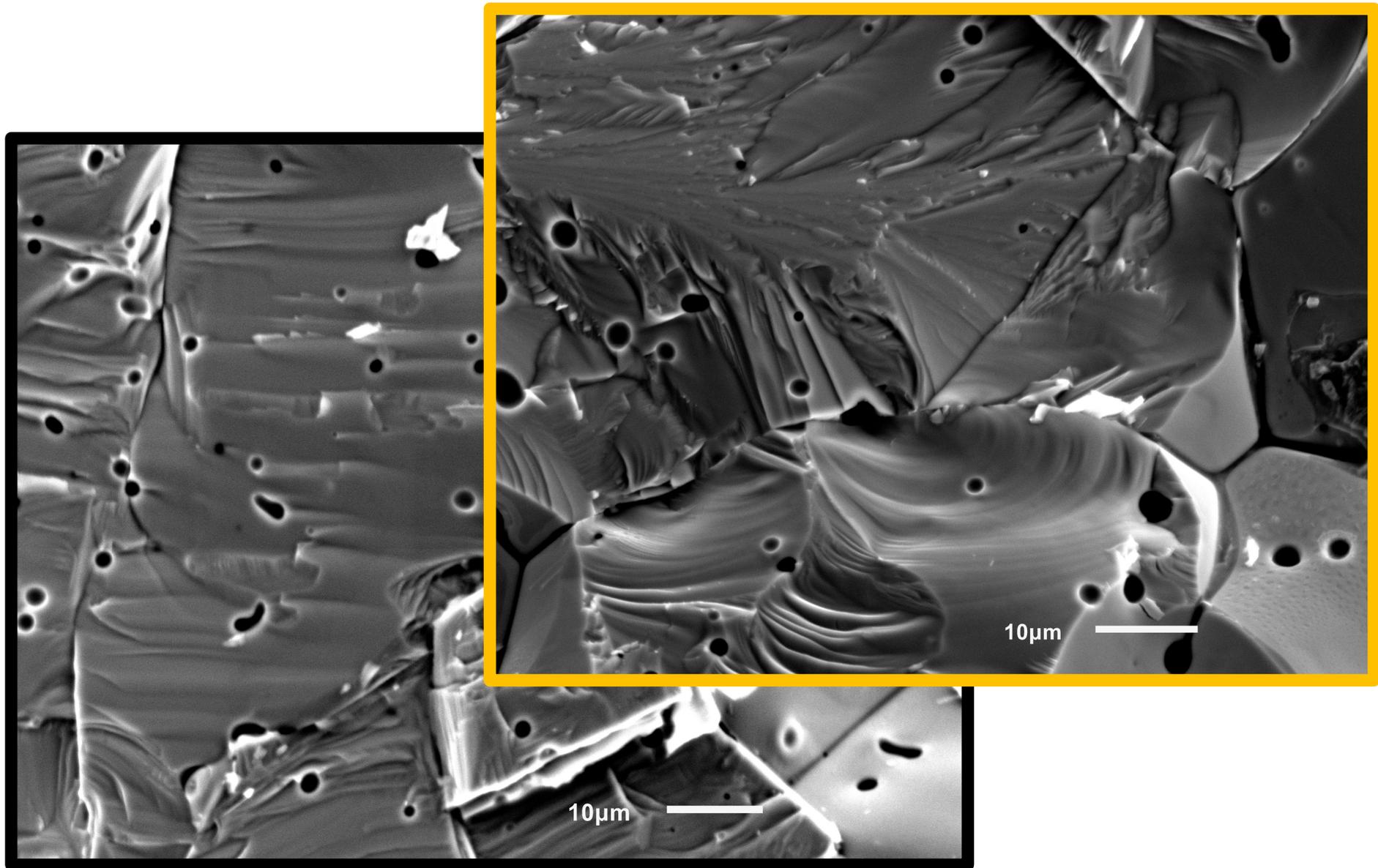
- ❖ Tenacidade à fratura
- ❖ Irwing

$$K_C = \sigma_c \sqrt{\pi a}$$

Cerâmica	E (GPa)	K(MPa.m ^{1/2})
Al ₂ O ₃	380	3 - 5
SiC	440	3,4
ZrO ₂	-	6,9
ZrO ₂ (Ca)	-	7,2

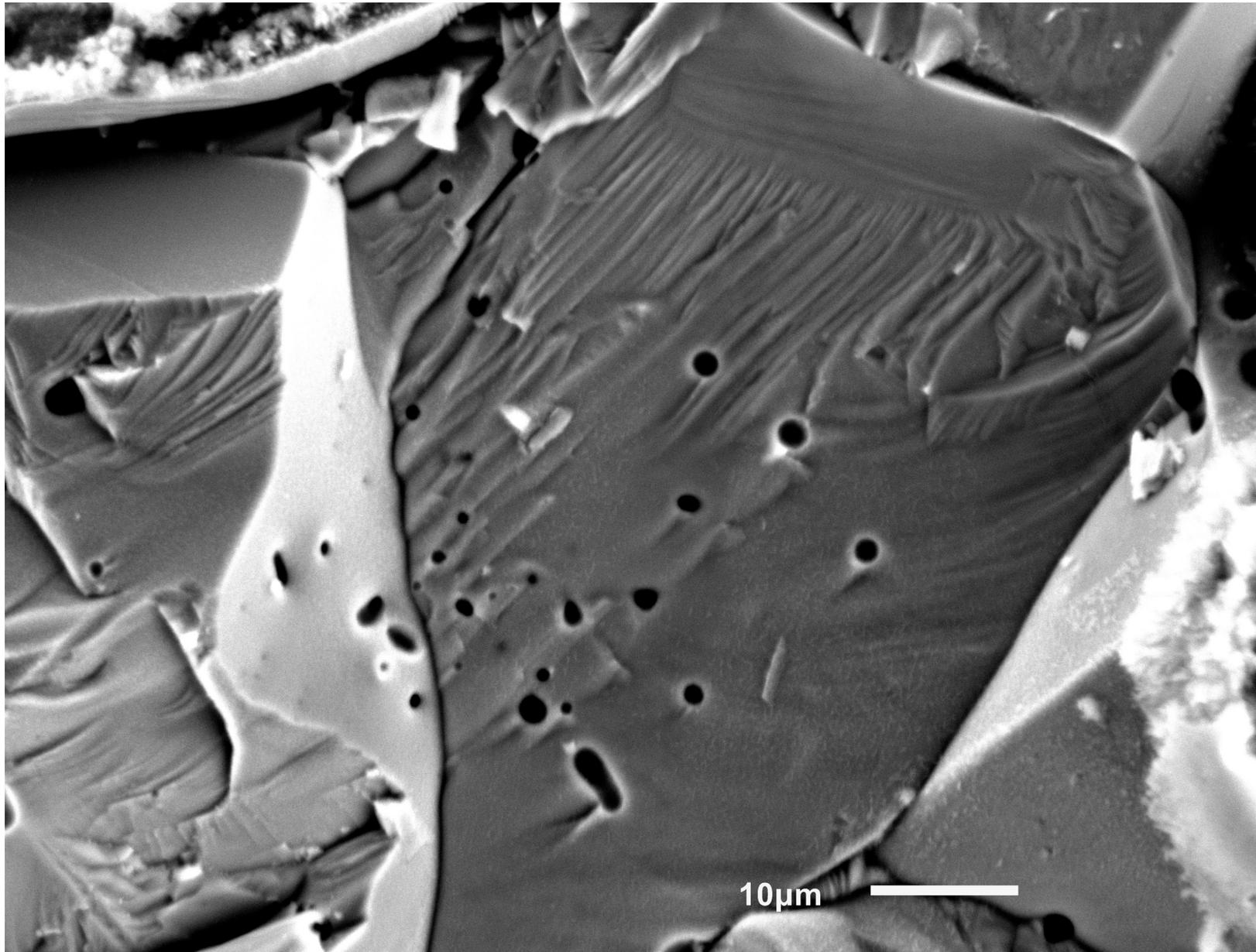


Comportamento de falha



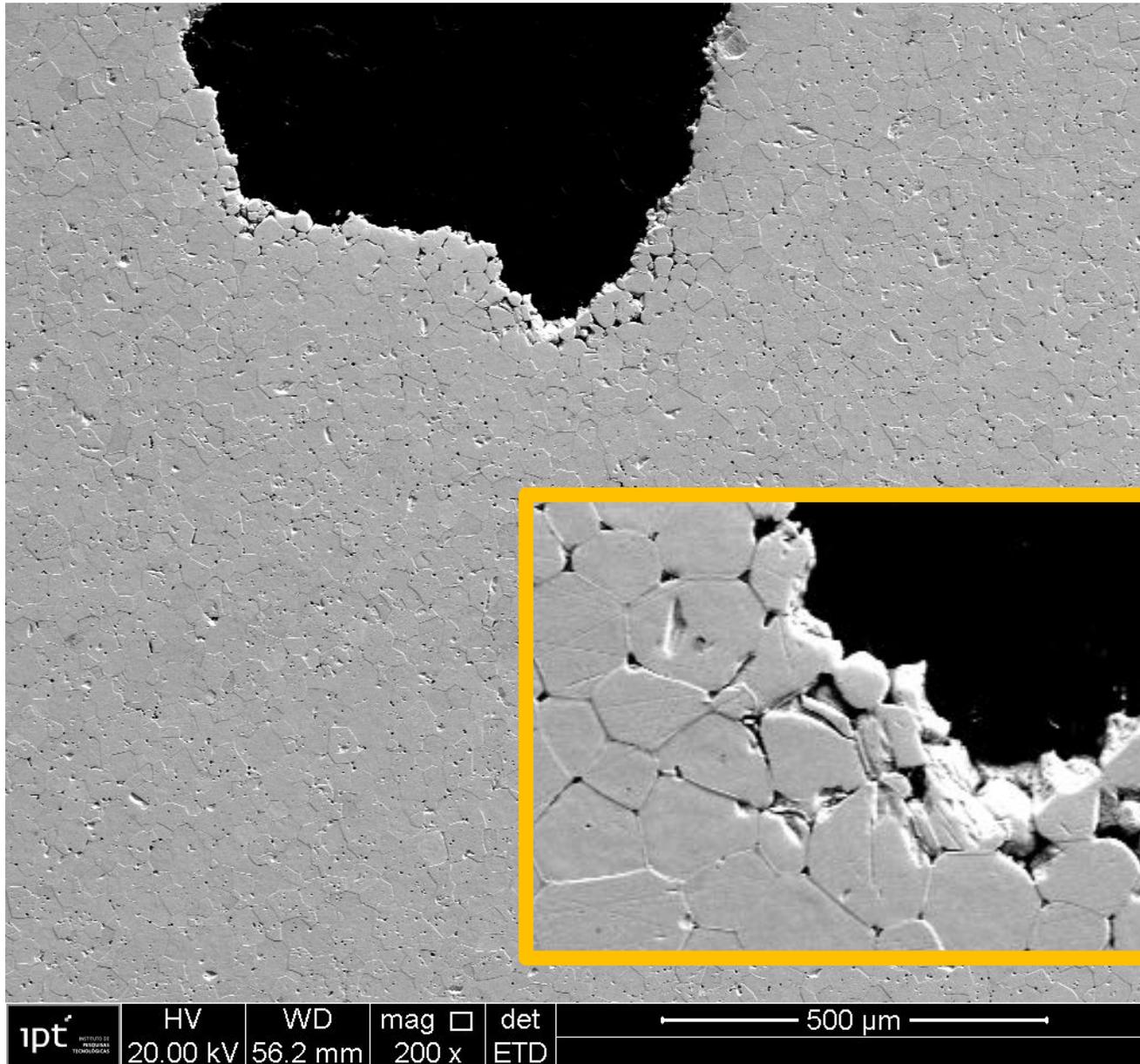


Comportamento de falha



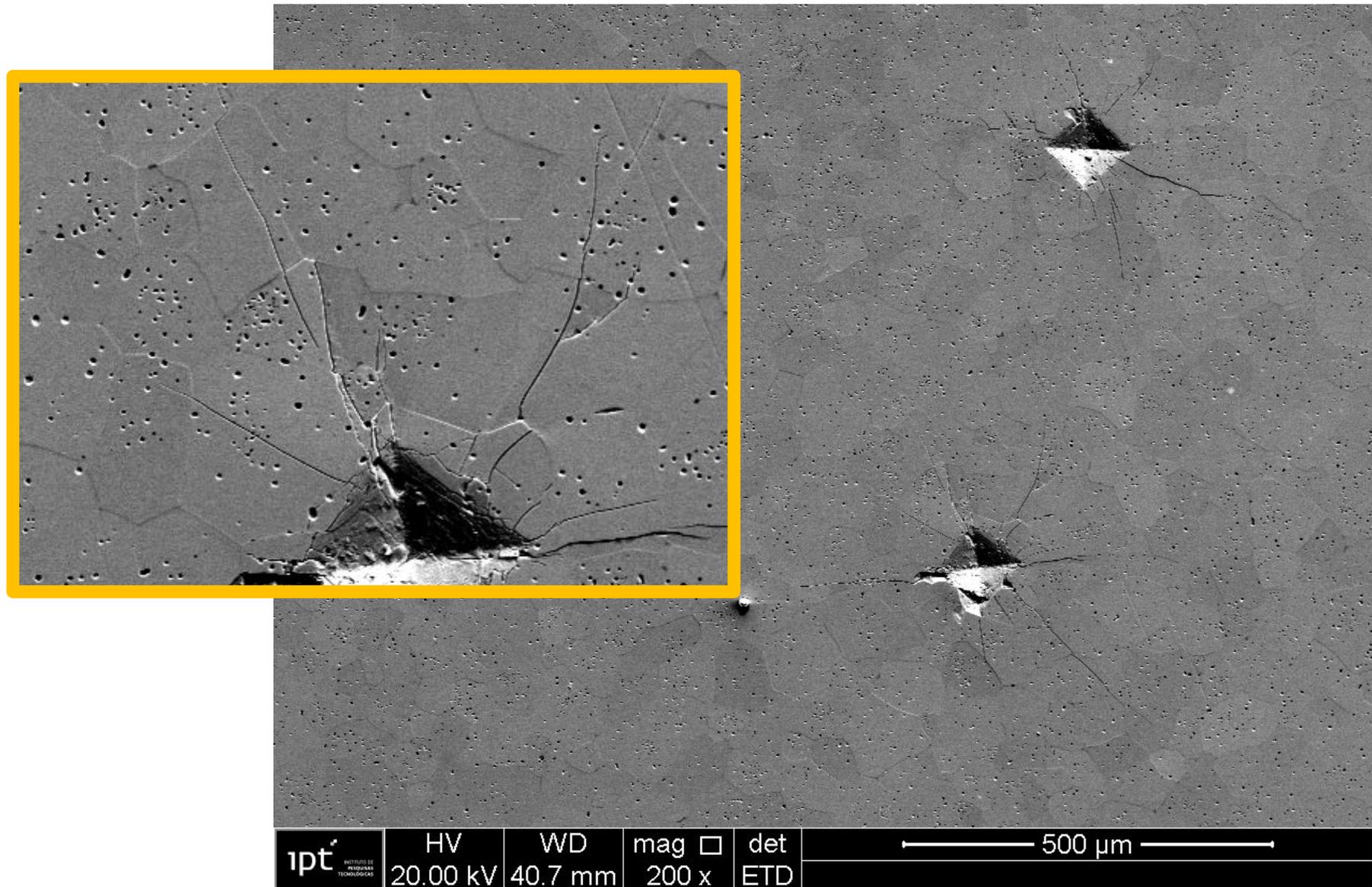


Comportamento de falha





Propriedades mecânicas





Propriedades mecânicas

