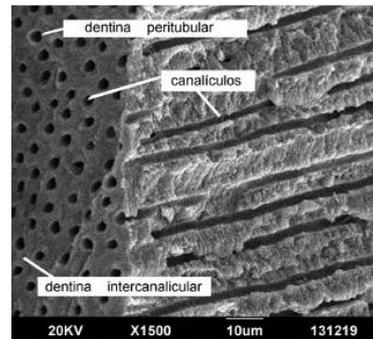


MATERIAIS CERÂMICOS

- São materiais rígidos que consistem de uma rede tridimensional infinita de grãos cristalinos sinterizados, compreendendo metais ligados a carbono, nitrogênio ou oxigênio.* !!!



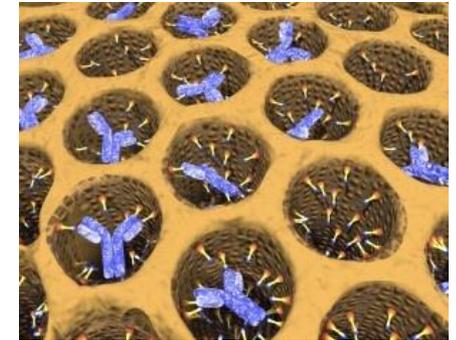
Cabo de fibra ótica.



MEV da dentina: \pm
70% HA. 



Freios cerâmicos reforçados com fibra carbono (em vermelho).



Modelo de sílica (laranja) nanoestruturada, para liberação controlada de medicamento.

* IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997).

A organização de certificação “Sociedade Americana para Testes e Materiais” [*American Society for Testing and Materials (ASTM)*] dá a seguinte definição para os materiais cerâmicos:*

- ✓ **“Produto cerâmico** – “um artigo tendo um corpo vitrificado ou não, de estrutura cristalina ou parcialmente cristalina ou de vidro, cujo corpo é produzido a partir de substâncias essencialmente inorgânicas, não metálicas, ***podendo ser*** formado a partir de uma massa fundida a qual solidifica ao resfriar ou formado e maturado simultaneamente ou subsequentemente pela ação do calor”

- ✓ ***Ceramic article*** – *an article having a glazed or unglazed body of crystalline or partly crystalline structure, or of glass, which body is produced from essentially inorganic, nonmetallic substances and either is formed from a molten mass which solidifies on cooling, or is formed and simultaneously or subsequently matured by the action of the heat*

* ASTM C242, 2014, “*Standard Terminology of Ceramic Whitewares and Related Products*”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/C0242, www.astm.org.

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS

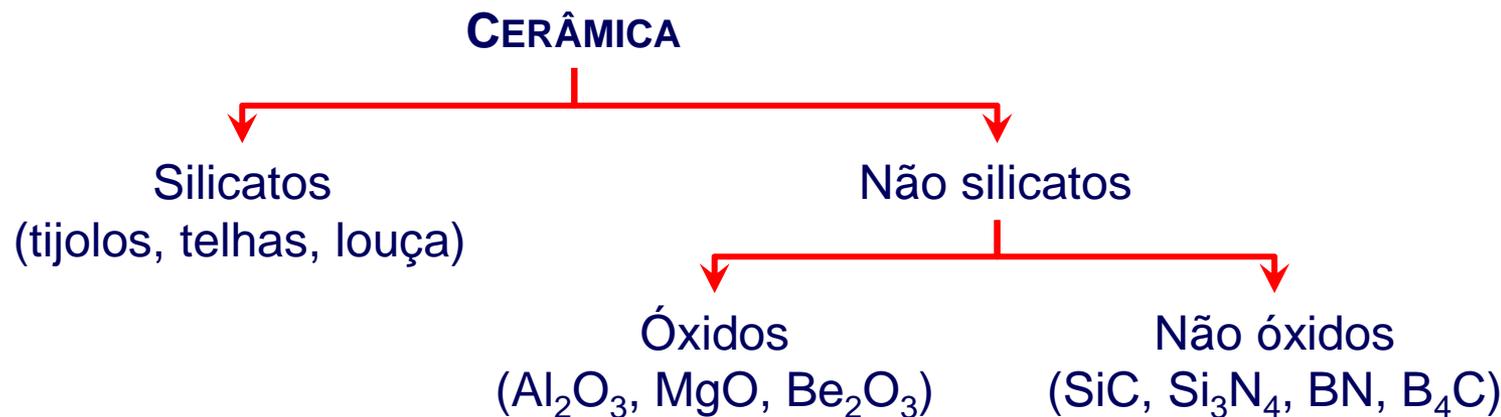
- ✓ São constituídos de elementos metálicos e não-metálicos, ligados por ligações de caráter misto, iônico/covalente.
- ✓ Matéria prima de custo relativamente baixo;
- ✓ Propriedades (p.ex. resistência mecânica) desenvolvidas após o aquecimento a altas temperaturas, devido as reações termoquímicas;
- ✓ Dureza alta: resistência à abrasão;
- ✓ Fragilidade alta (exceto ZrO_2 , estabilizado pelo Y_2O_3 , que é tenaz);
- ✓ Ponto de fusão elevado;
- ✓ Geralmente, são quimicamente estáveis sob condições ambientais severas.
- ✓ Bom isolante térmico (exceto o diamante que é condutor) e elétrico*;
- ✓ Estrutura cristalina complexa;

* Podem existir materiais cerâmicos semicondutores, condutores e até mesmo supercondutores; estes dois últimos, em faixas específicas de temperatura.

CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS

MATERIAL CERÂMICO

- ✓ **Tradicional**: são fabricadas pela mistura, moldagem e queima de **minerais naturais**, tais como: argila e feldspato.
- ✓ **Avançada**: na sua produção são usadas matérias primas naturais, purificadas, artificiais sintetizadas através de processos químicos, e outros compostos de ocorrência não natural.



SETORES INDUSTRIAIS

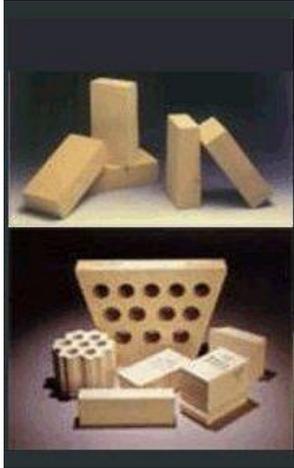
Cerâmica Vermelha: Compreende aqueles materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno.



Cerâmica Branca: Compreende materiais constituídos por um corpo branco e, em geral, recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor. Com o advento dos vidrados opacificados, muitos dos produtos passaram a ser fabricados, com matérias-primas com certo grau de impurezas, responsáveis pela coloração, tais como: louça sanitária e de mesa, isoladores elétricos para alta e baixa tensão, cerâmica artística, cerâmica técnica com fins diversos (químico, elétrico, térmico e mecânico).



Refratários: Compreende vários produtos que têm como finalidade suportar temperaturas elevadas nas condições específicas de processo e de operação dos equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações. Os produtos refratários quanto à matéria-prima são os que se baseiam em sílica, sílico-aluminoso, aluminoso, mulita, magnesianocromítico, cromítico-magnésiano, carbetto de silício, grafita, carbono, zircônia, zirconita, espinélio etc.



Abrasivos: Por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes aos da cerâmica, constituem-se num segmento industrial cerâmico. Entre os produtos mais conhecidos estão o óxido de alumínio eletrofundido e o carbetto de silício.



Cerâmica Avançada: São produzidas a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza e por meio de processos rigorosamente controlados.



Setores Industriais

Isolantes Térmicos: Os produtos podem ser classificados em:



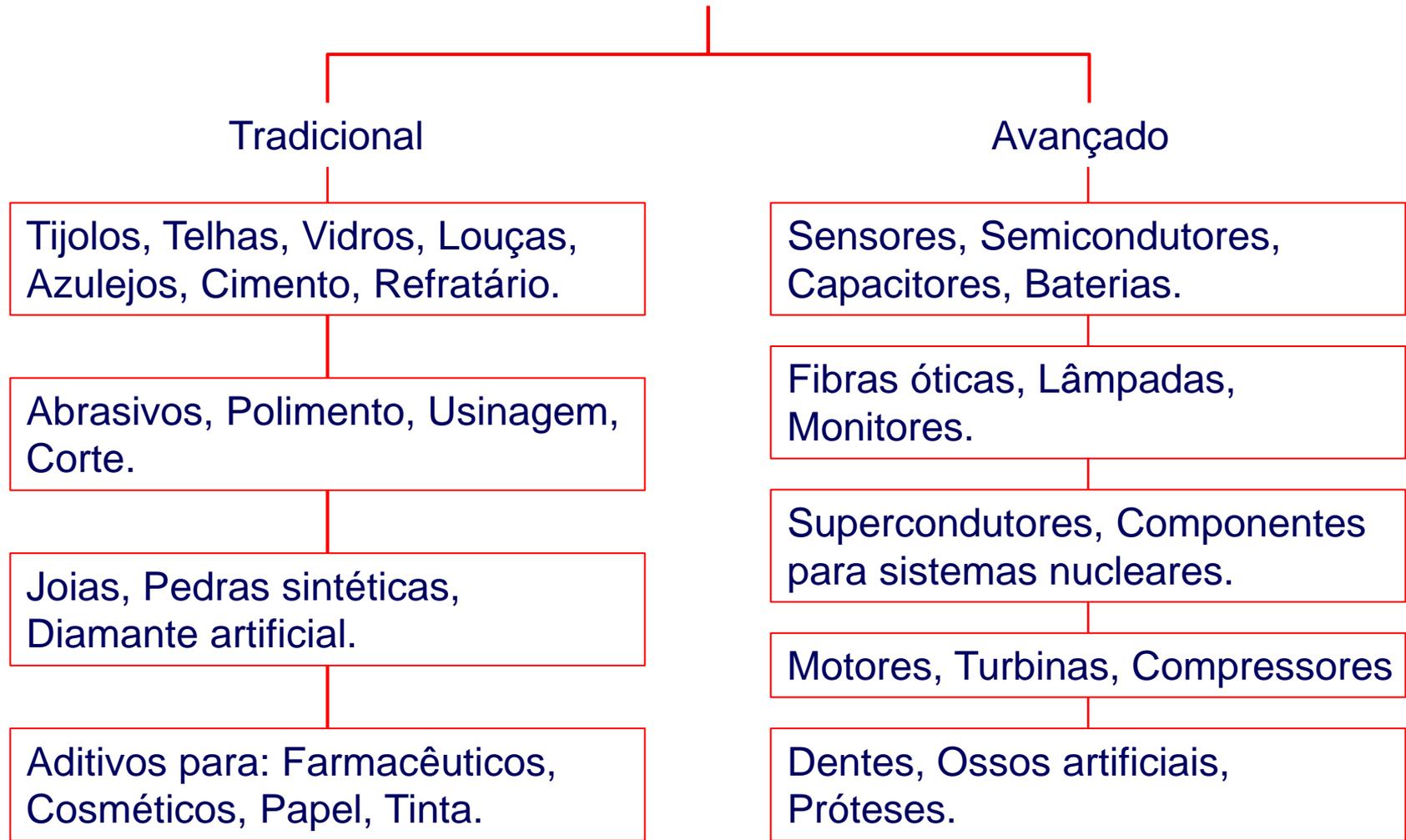
- ✓ Refratários isolantes que se enquadram no segmento de refratários;
- ✓ Isolantes térmicos não refratários, tais como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio, lã de vidro e lã de rocha, podendo ser utilizados até 1100° C em alguns casos;
- ✓ Fibras ou lãs cerâmicas apresentam composições tais como sílica, sílica-alumina, alumina e zircônia, podendo chegar a temperaturas de utilização de 2000° C ou mais.

Vidro, Cimento e Cal: São três importantes segmentos cerâmicos e que, por suas particularidades, são muitas vezes considerados à parte da cerâmica.

Revestimentos Cerâmicos: O corpo cerâmico compõe-se de matérias-primas naturais, argilosas e não argilosas.



ALGUNS PRODUTOS A BASE DE MATERIAL CERÂMICO



CONSTITUINTES COMUNS DOS MATERIAIS CERÂMICOS

Tradicional	Argila →	silicatos de alumínio como por exemplo $4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, com traços dos óxidos: TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O .
	Sílica →	SiO_2 em quartzos, cristobalita e tridimita.
	Feldspato →	silicatos alcalinos como por exemplo KAlSi_3O_8 .
Avançado	Óxidos:	Al_2O_3 , ZrO_2
	Carbetos:	SiC , WC
	Nitretos:	Si_3N_4 , BN

ESTRUTURA DOS MATERIAIS CERÂMICOS

- ✓ Em relação aos metais, os materiais cerâmicos apresentam **organizações dos átomos mais complexas**. Em geral, isso se deve à presença de um maior número de tipos de átomos, de tamanhos e eletronegatividades distintas, nas suas estruturas químicas.
- ✓ As ligações atômicas podem apresentar, **em diversos níveis**, características:
 - **Iônicas**: quando este caráter prevalece 100%, as estruturas cristalinas são compostas por íons em vez de ser por átomos. São tipicamente compostos por **um metal** e **um não metal** com cargas elétricas diferentes.
 - **Covalentes**: São compostos formados por **dois não metais** ou, ocasionalmente, por **elementos puros**.
- ✓ De um modo geral, as microestruturas são **polifásicas**

Tabela. Correlação entre a diferença de eletronegatividade e caráter da ligação nos materiais cerâmicos.

Composto	Δ eletronegatividade	% iônico	% covalente
MgO	2,3	73	27
Al ₂ O ₃	2,0	63	37
SiO ₂	1,7	51	49
Si ₃ N ₄	1,2	30	70
SiC	0,7	11	89

$$\% \text{ caráter iônico} = \left[1 - e^{\left(-\frac{(x_A - x_B)^2}{4} \right)} \right] \times 100\%$$

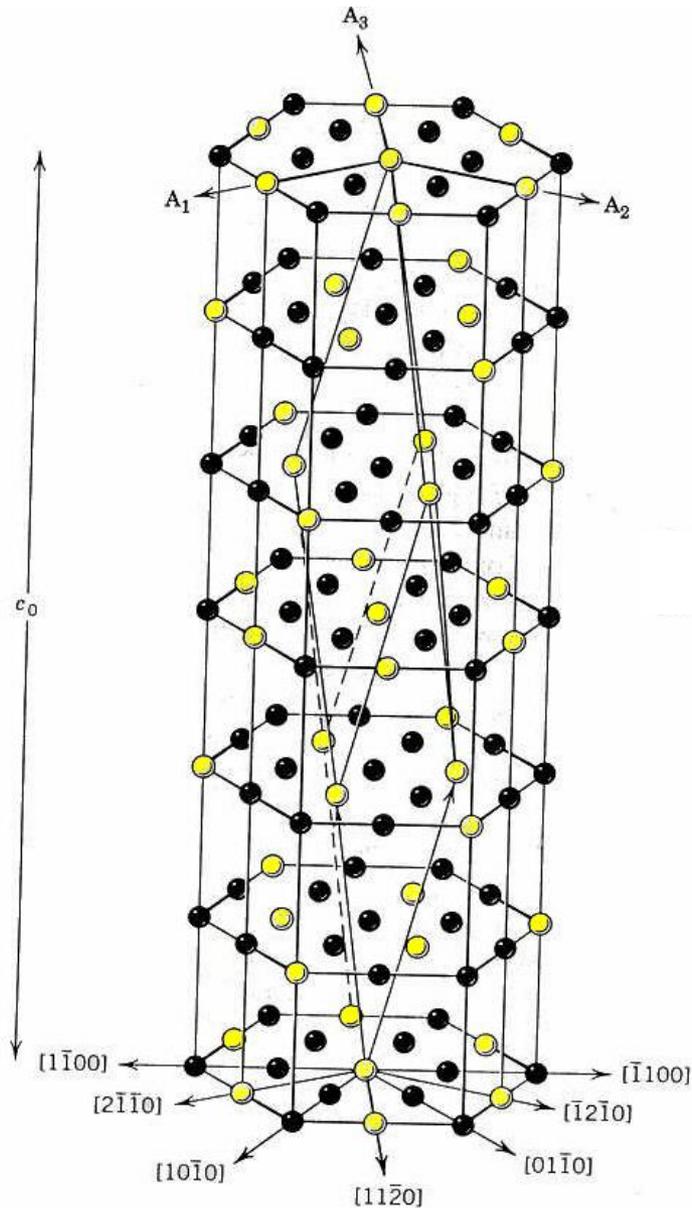
Onde, x_A e x_B são respectivamente as eletronegatividades dos átomos A e B do composto AB.



Onde, A e B = cátion e X = ânion.

- ✓ O caráter iônico, ou covalente, define, em parte, o tipo de estrutura cristalina que o material cerâmico exibirá. Quando o caráter iônico é predominante, os seguintes fatores são importantes na definição da sua estrutura cristalina:
 - A razão entre os raios do cátion (r_C) e do ânion (r_A);
 - Balanço de cargas: $\oplus = \ominus$.

EXEMPLO DE ESTRUTURA CRISTALINA COMPLEXA



Cela unitária do corindom
(alumina-alfa), mostrando
apenas as posições catiônicas

- Sítio vazio
- Íon Al^{3+}

DEFEITOS CRISTALINOS

- ✓ Os defeitos cristalinos observados nos metais, também, acontecem nos materiais cerâmicos.
- ✓ A presença de átomos totalmente, ou parcialmente, ionizados, combinado com ligações fortes e direcionais, impedem as movimentações nos planos e direções cristalográficas dentro destes planos.
- ✓ Os defeitos de Frenkel e Schottky não mudam a razão de cátions e ânions; o composto é **estequiométrico**. ▣

MICROESTRUTURA DOS MATERIAIS CERÂMICOS CRISTALINOS

- ✓ Na cerâmica cristalina, a microestrutura pode ser composta de vários cristais com orientações e tamanhos diferentes, ou os eixos cristalográficos dos grãos podem apresentar uma orientação preferencial dando origem a uma **textura**.
- ✓ Os contornos dos grãos são mais complicados do que aqueles dos metais, pois, pode existir fases vítreas.
- ✓ A microestrutura é definida por:
 - Forma e arranjo de grãos ou fases.
 - Tamanho e fração em volume dos poros presentes.

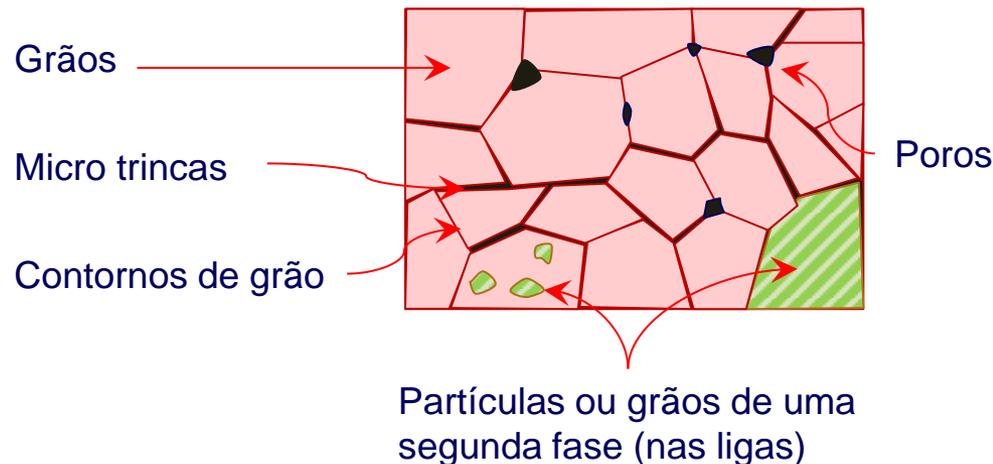
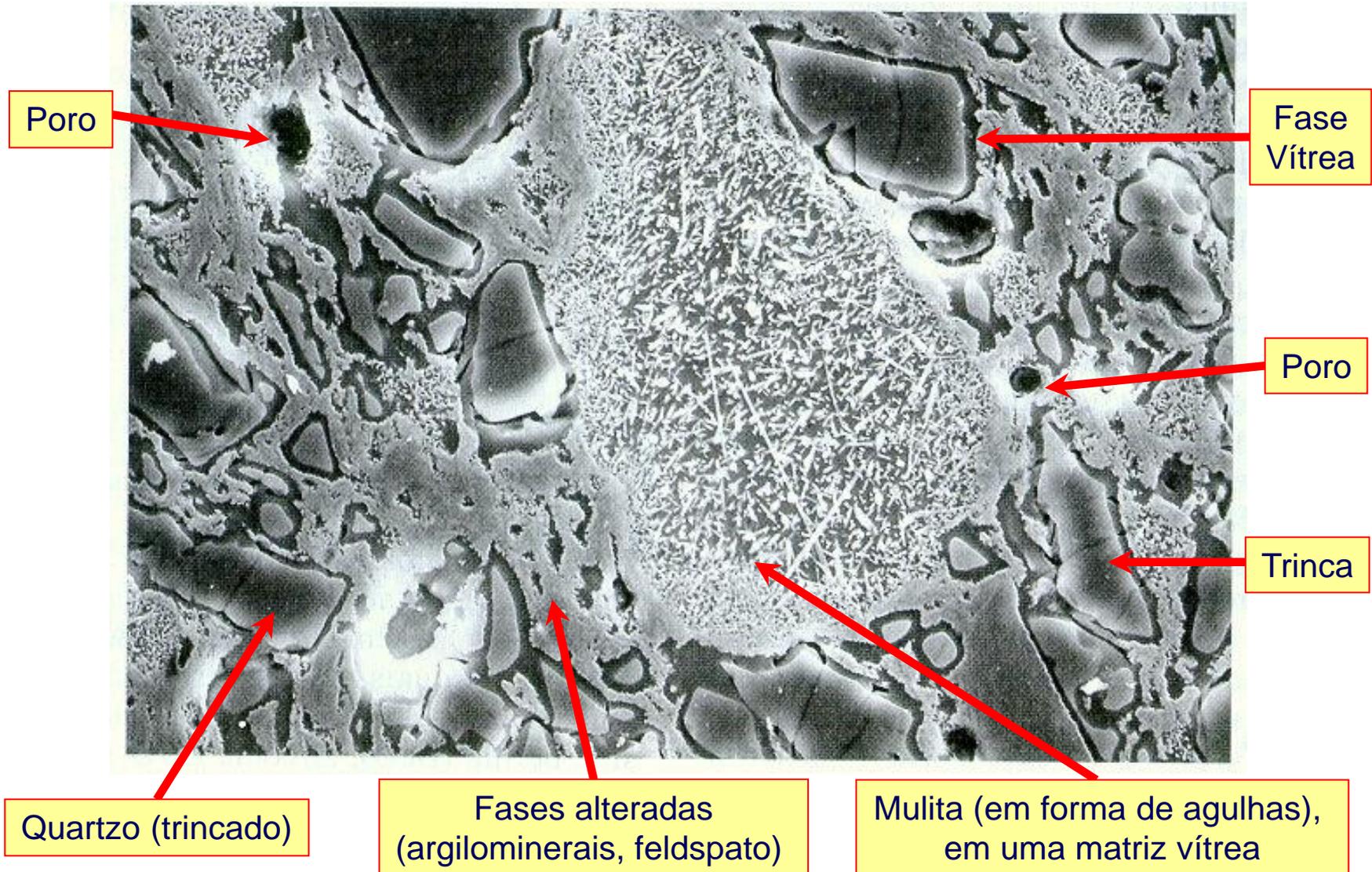


IMAGEM DE MEV MOSTRANDO UMA MICROESTRUTURA DE PORCELANA

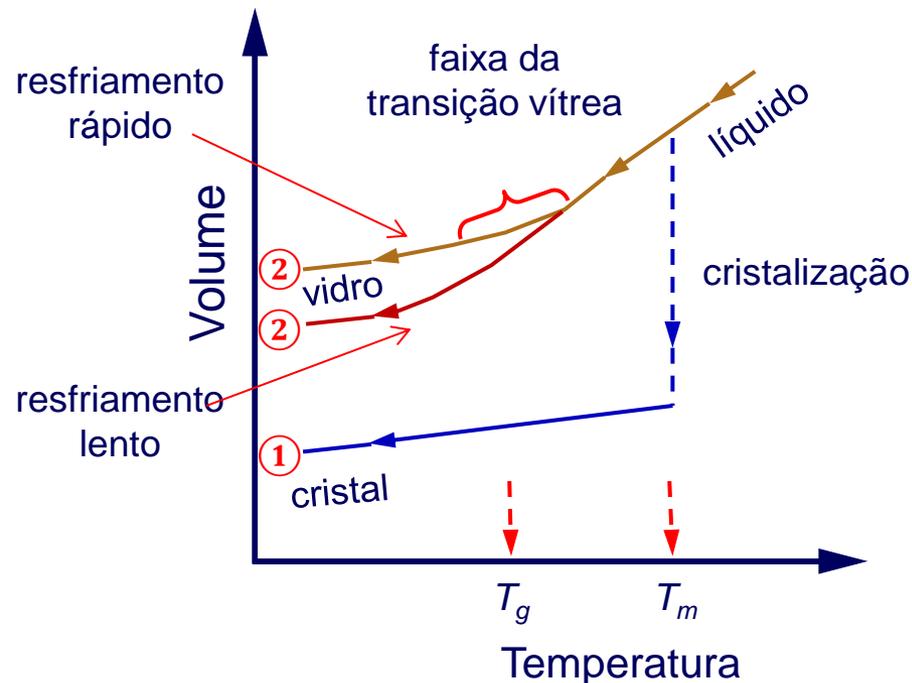


CERÂMICAS AMORFAS

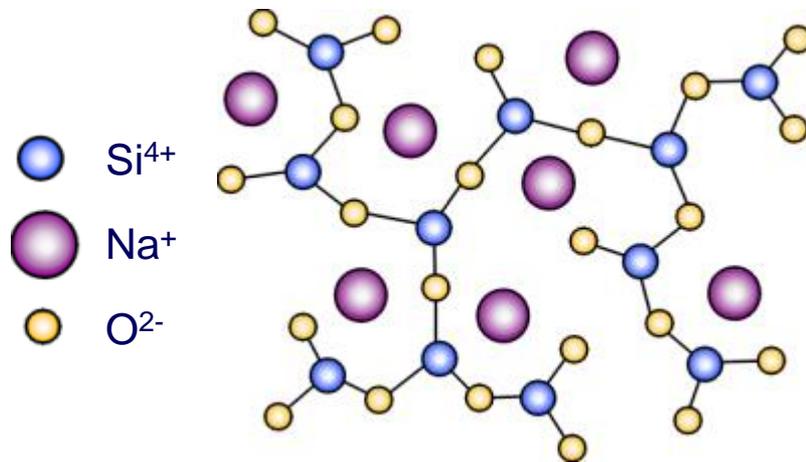
- ✓ Não há uma estrutura cristalina regular, ou seja, com os átomos dispostos de forma periódica, com a ordem de longo alcance.
- ✓ Apresentam **ordem de curto alcance**, cuja distância depende do(s) átomo(s) de sua estrutura química.
- ✓ Não existe simetria translacional.
- ✓ Os principais representantes desta categoria são os **vidros** que podem ser obtidos por diferentes processos.

VIDRO - DEFINIÇÕES

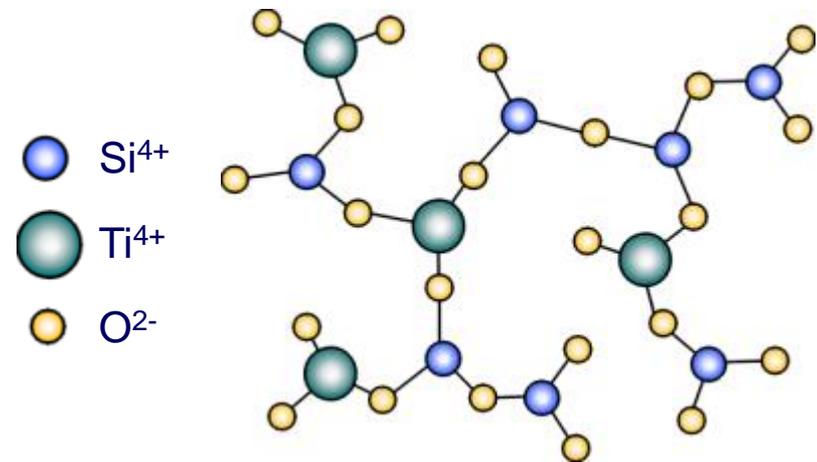
- ✓ **Operacional:** Um vidro é um sólido obtido pelo resfriamento de uma fase líquida (super resfriada). Ou seja, quando um líquido solidifica sem cristalizar.
- ✓ **Estrutural:** Um vidro é um sólido não cristalino.
- ✓ **Estrutural mais ampla:** Um vidro é um sólido não cristalino exibindo o fenômeno da transição vítrea.
- ✓ **Transição vítrea (T_g):** é uma transição reversível na qual um material fundido (líquido) super resfriado produz uma estrutura vítrea no resfriamento.



- ✓ Óxidos tais como SiO_2 , B_2O_3 , GeO_2 e P_2O_5 são capazes de formar vidros e são chamados de **formadores de redes**. Isto se deve a relação entre os átomos de oxigênio e o cátion do óxido que permite formar uma rede tetraédrica.
- ✓ Outros óxidos são adicionados à composição vítrea com funções ou de **modificar a rede** ou como substitutos do cátion do óxido principal (**intermediário**).



Adição de Na_2O (na forma de Na_2CO_3) como modificador de rede.



Adição de TiO_2 como intermediário

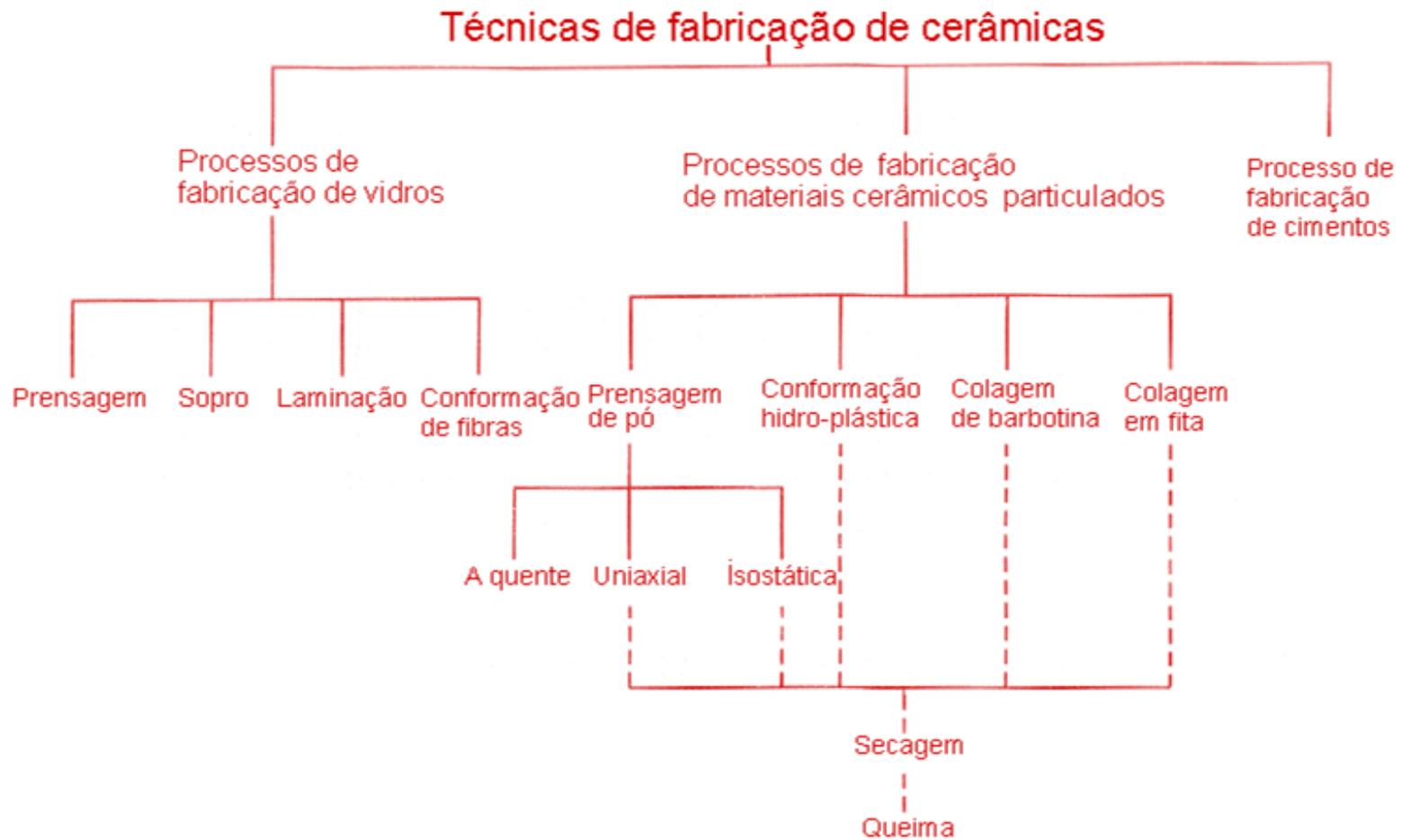
FABRICAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS CERÂMICOS

- ✓ Um dos aspectos que define o processamento dos materiais cerâmicos é a temperatura de processamento das matérias primas que são muito altas.
- ✓ A falta de plasticidade é outro aspecto que direciona o tipo de processo para um determinado produto cerâmico.
- ✓ Devido a estas características, grande parte das cerâmicas é fabricada a partir de pós prensados e queimados a altas temperaturas.
- ✓ As cerâmicas vítreas permitem outras alternativas.
- ✓ A argila úmida é hidroplástica, permitindo que seja conformada por meio de técnicas simples. Quando a argila é seca e queimada, forma-se uma fase vítrea, espalhando-se em torno das fases formadas, ligando-as.

FABRICAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS CERÂMICOS

- ✓ Grande parte dos cerâmicos é produzida a partir de pastas plásticas ou consolidação de pós cerâmicos.
- ✓ A conformação pode ser feita por: prensagem, torneamento, moldagem, laminação, extrusão, injeção, colagem e sopro.
- ✓ A consolidação dos componentes granulados pode realizar-se em fase sólida ou em fase sólida e líquida. A porosidade residual das peças é posteriormente reduzida por sinterização a altas temperaturas ou, em certos casos, a altas temperaturas e pressões.

FABRICAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS CERÂMICOS



FASES PRINCIPAIS

- ✓ Os processos de fabricação podem diferir de acordo com o tipo de peça ou material desejado.
- ✓ De um modo geral eles compreendem as seguintes etapas para as **cerâmicas cristalinas**:
 - Preparação da matéria-prima e da massa;
 - Formação das peças;
 - Tratamento térmico; e,
 - Acabamento.
- ✓ Alguns produtos são submetidos a esmaltação e decoração.
- ✓ Nas **cerâmicas amorfas** a etapa de tratamento térmico precede a formação da peça.

Preparação da matéria-prima e da massa

- ✓ As matérias-primas **naturais** são usadas nas cerâmicas tradicionais. Após a mineração, os materiais devem ser beneficiados: desagregados ou moídos, classificados de acordo com a granulometria e, as vezes, também purificadas.
- ✓ As matérias-primas **sintéticas** geralmente são fornecidas prontas para uso, necessitando apenas, em alguns casos, de um ajuste de granulometria.
- ✓ Os materiais cerâmicos geralmente são fabricados a partir da **composição de duas ou mais matérias-primas**, além de aditivos e água ou outro meio.
- ✓ Os diferentes tipos de massas são preparados de acordo com a técnica a ser empregada para dar forma às peças e podem ser:
 - **Suspensão** (barbotina) para obtenção de peças em moldes de gesso ou resinas porosas;
 - **Massas secas ou semi secas**, na forma granulada, para obtenção de peças por prensagem;
 - **Massas plásticas**, para obtenção de peças por extrusão, seguida ou não de torneamento ou prensagem.

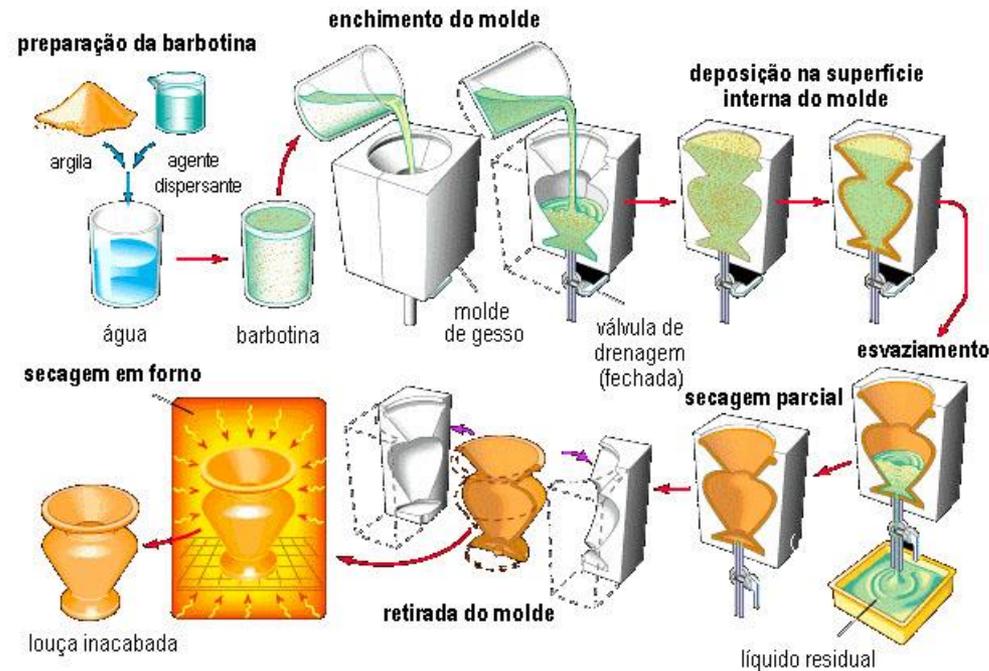
FORMAÇÃO DAS PEÇAS



Colagem,
Prensagem,
Extrusão e
Torneamento

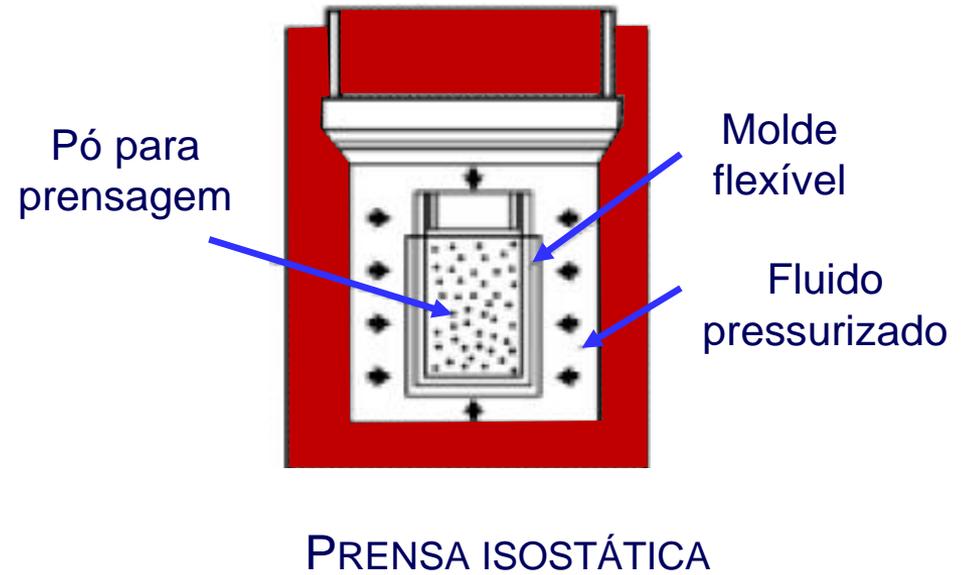
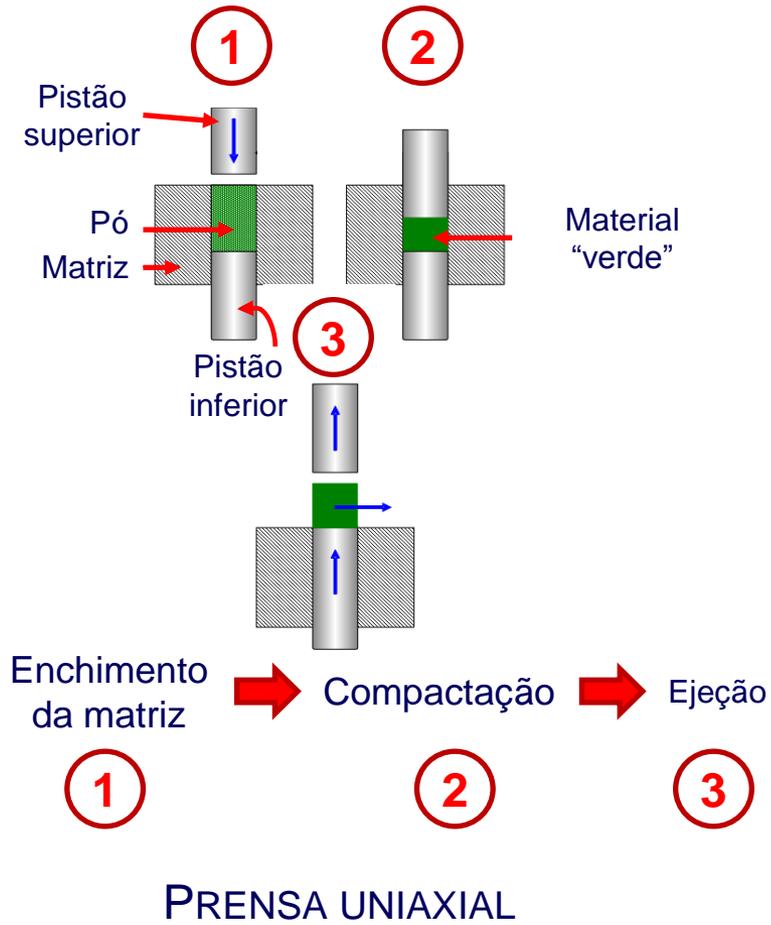
COLAGEM

- ✓ Uma suspensão (barbotina) é vazada num molde de gesso, onde permanece até que a água seja absorvida pelo gesso; enquanto isso, as partículas sólidas vão se acomodando na superfície do molde, formando a parede da peça.
- ✓ O produto apresentará uma configuração externa que reproduz a forma interna do molde de gesso.



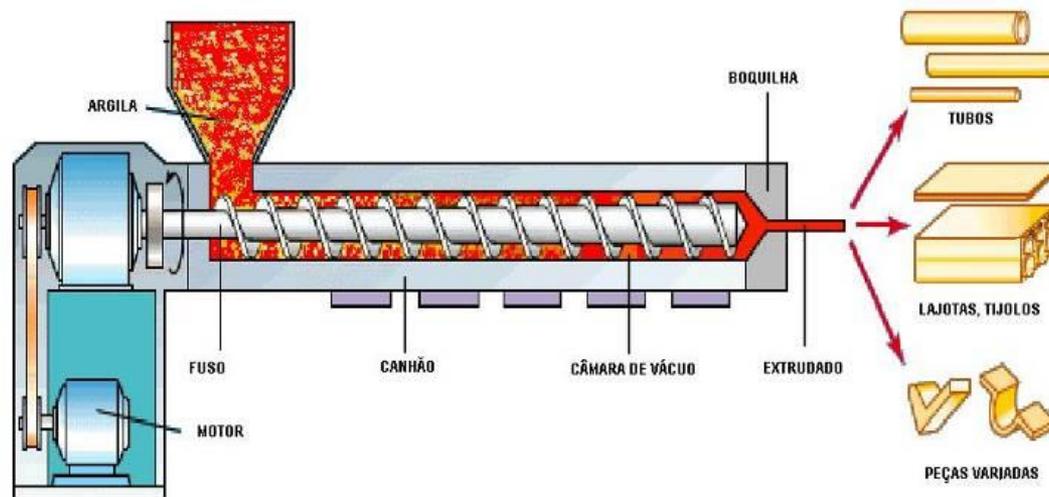
PRENSAGEM

- ✓ Utiliza-se sempre que possível massas granuladas e com baixo teor de umidade.
- ✓ Tipos de prensa utilizados:
 - **Uniaxial:** são carregadas com um volume pré -ajustado de massa cerâmica, na qual é aplicada uma pressão (geralmente de cima para abaixo) por pistões, dirigidos pela ação de um dispositivo mecânico e ajudados por volantes;
 - **Isostática:** promove uma prensagem uniforme em toda a superfície, exigida em alguns produtos de alta qualidade com densidade uniforme. Os moldes da borracha são enchidos com a massa cerâmica que, em seguida, é submetida a uma pressão isostática elevada, moldando o objeto.



EXTRUSÃO

- ✓ A massa plástica é colocada numa extrusora onde é compactada e forçada por um pistão, ou eixo helicoidal, através de um bocal com determinado formato, seguindo-se o corte do extrudado.
- ✓ Obtem-se desse modo peças como tijolos vazados, blocos, tubos e outros produtos de formato regular.
- ✓ A extrusão pode ser uma etapa intermediária do processo de formação, seguindo-se, uma prensagem como é no caso da maioria das telhas, ou o torneamento, como no caso dos isoladores elétricos, xícaras e pratos, etc.



TORNEAMENTO

Em geral, é uma etapa posterior à extrusão, realizada em tornos mecânicos ou manuais, onde a peça adquire seu formato final.



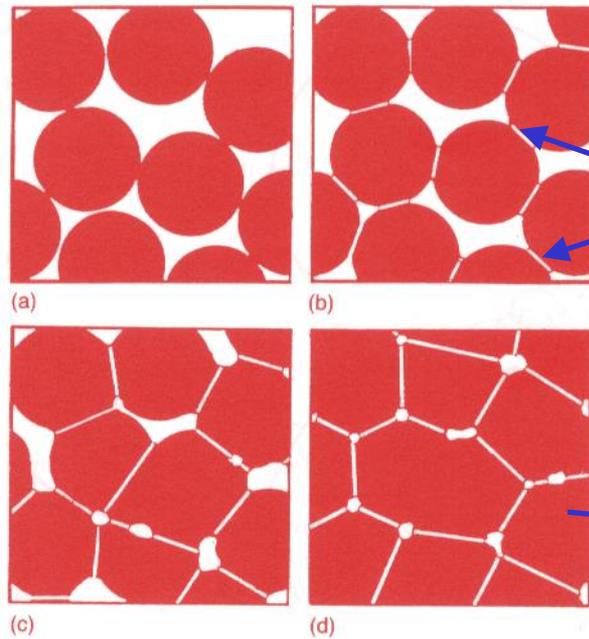
Tratamento Térmico

- ✓ É muito importante, pois dele dependem o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos. Eles são:
 - **Secagem:** Após a etapa de formação, as peças em geral continuam a conter água, proveniente da preparação da massa. Para evitar tensões e, conseqüentemente, defeitos nas peças, é necessário eliminar essa água, de forma lenta e gradual, em secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas variáveis entre 50°C e 150°C.
 - **Queima:** É realizada após a secagem, cuja função é a de reduzir a umidade, prevenindo o excesso de água na peça e as conseqüentes trincas provocadas pelo surgimento de bolhas de vapor. Desta forma, as peças são levadas para fornos contínuos ou intermitentes e submetidas a um tratamento térmico entre 800°C e 1700°C.

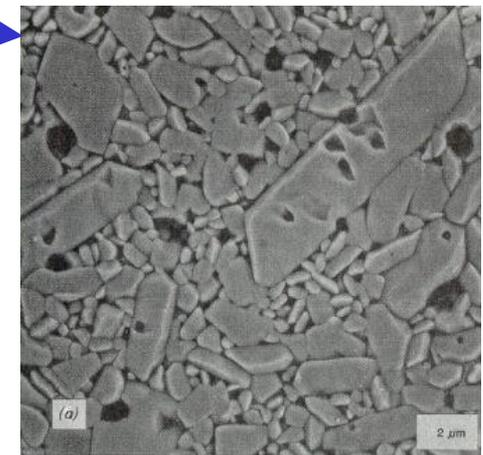
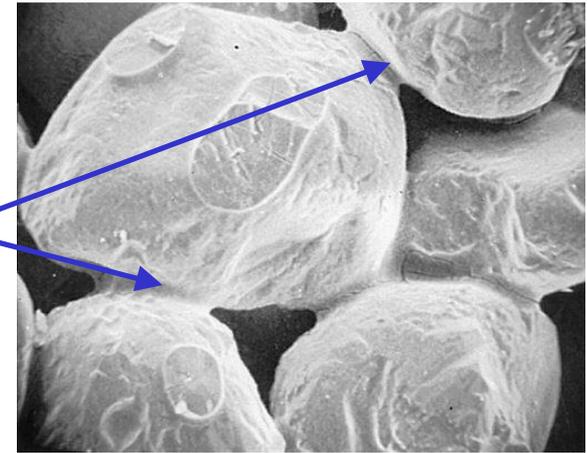
- ✓ Etapas da queima:
 - Aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada;
 - Patamar durante certo tempo na temperatura especificada (**reação e/ou sinterização**); e,
 - Resfriamento até temperaturas inferiores a 200°C.
- ✓ Transformações observadas na queima:
 - Perda de massa;
 - Desenvolvimento de novas fases cristalinas;
 - Formação de fase vítrea; e,
 - Sinterização das partículas.

- ✓ **Sinterização:** processo de consolidação do produto durante a queima. Pode ser definida como a remoção dos poros entre as partículas iniciais, acompanhada por retração da peça, combinada com crescimento e união entre partículas adjacentes.
- ✓ **Tipos de sinterização**
 - Sinterização no estado sólido (SSS): somente partículas sólidas e poros.
 - Sinterização com fase líquida (LPS): três componentes, mas concentra-se na parte sólida (<20% líquido).
 - Sinterização vítrea viscosa (VGS) ou de fluxo viscoso: somente líquido (vidro fundido) e porosidade.
 - Sinterização compósita viscosa (VCS) ou vitrificação: conteúdos de líquido maiores que LPS (>20% líquido).

SINTERIZAÇÃO NO ESTADO SÓLIDO: ESTÁGIOS E MICROESTRUTURA



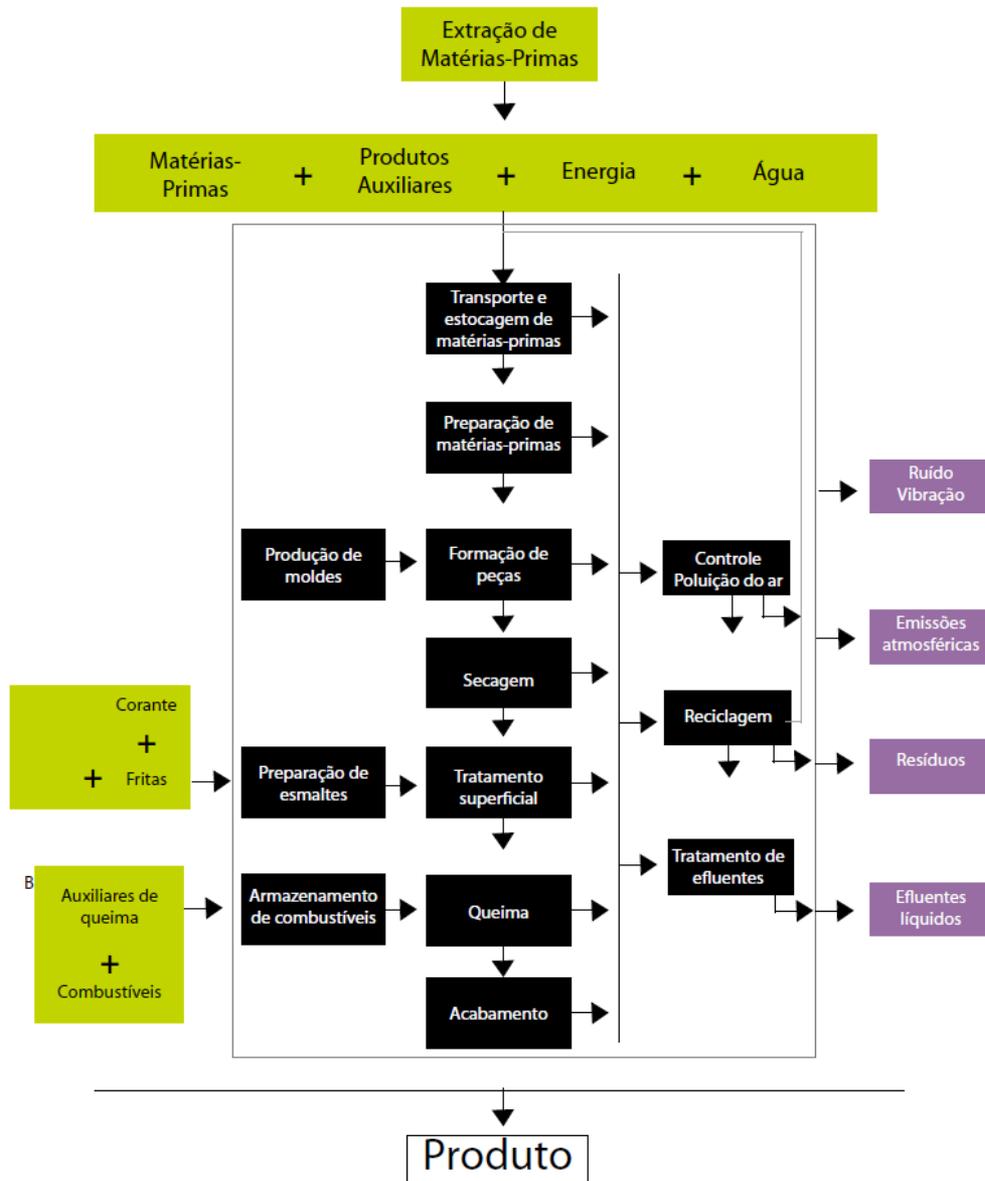
*Formação do
"pesçoço"*



- (a) Partículas soltas de pó;
- (b) Estágio inicial (compactação);
- (c) Estágio intermediário (crescimento do pesçoço);
- (d) Estágio final (crescimento do pesçoço acompanhado pela densificação).

*Produto Cerâmico
Sinterizado*

Fluxograma genérico do processo produtivo das indústrias cerâmicas



PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS VÍTREOS

Os vidros a temperatura ambiente apresentam alta viscosidade (η). Como ela muda com a temperatura, são definidas pontos na correlação viscosidade versus temperatura que são usados para se trabalhar esse material.

Ponto de deformação (Strain Point)

abaixo desta temperatura o vidro adquire comportamento frágil: $\eta \approx 3 \times 10^{14}$ Poise

Ponto de recozimento (Annealing Point)

as tensões residuais surgidas na conformação podem ser eliminadas: $\eta \approx 10^{13}$ Poise

Ponto de amolecimento (Softening Point)

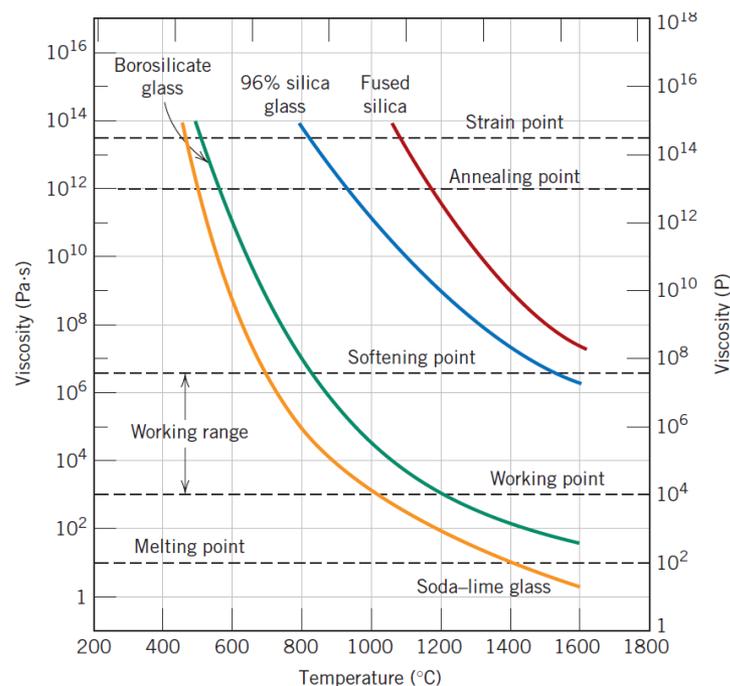
$\eta \approx 4 \times 10^7$ Poise

Ponto de trabalho (Working Point)

O vidro líquido pode ser facilmente deformado (ou seja, conformado): $\eta \approx 10^4$ Poise

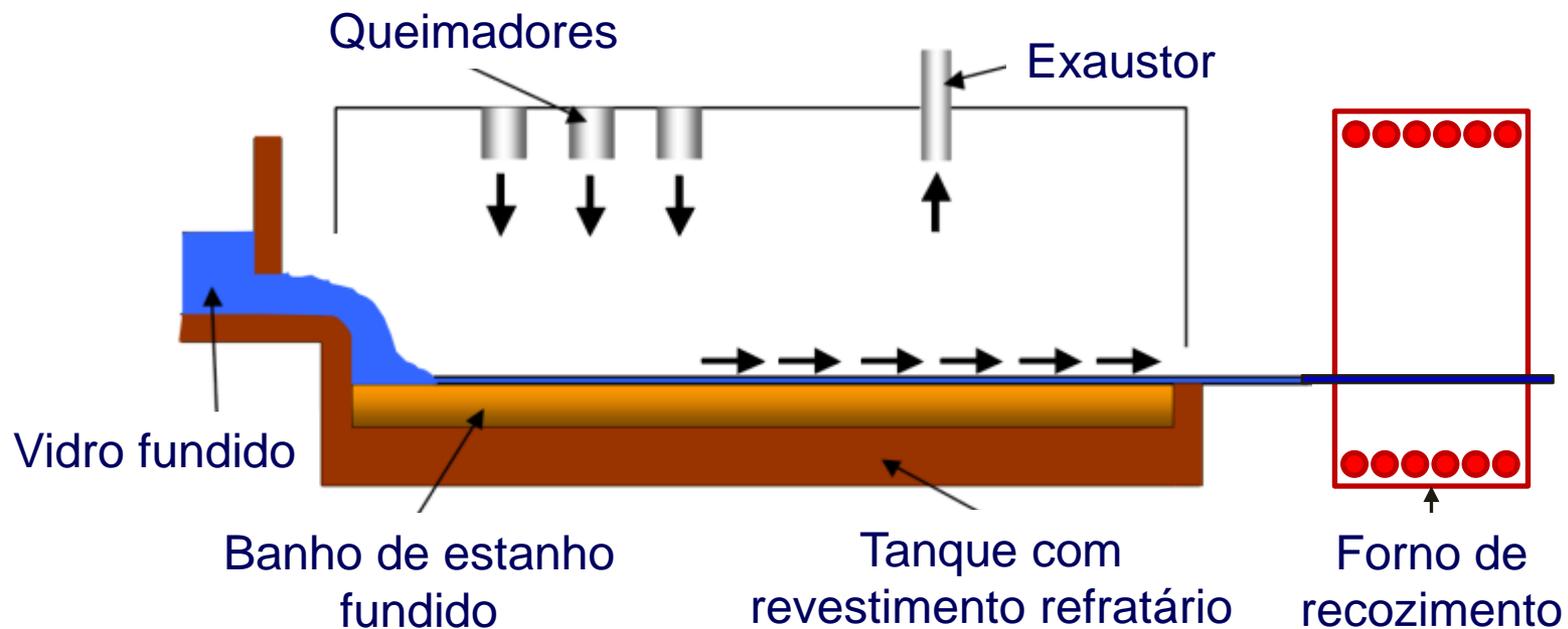
Abaixo de $\eta \approx 100$ Poise

O vidro pode ser considerado um líquido.



PRODUÇÃO DE VIDROS PLANOS

- ✓ De um modo geral, a produção de vidros planos é realizada através do processo “float glass” (como óleo em água); requer baixa viscosidade.
- ✓ A lamina de vidro formada na superfície de estanho resfria lentamente a medida que se move ao longo do banho em uma atmosfera controlada.
- ✓ Uma vez endurecido, ele sai do banho e passa através de um forno de recozimento para eliminar a tensão residual.

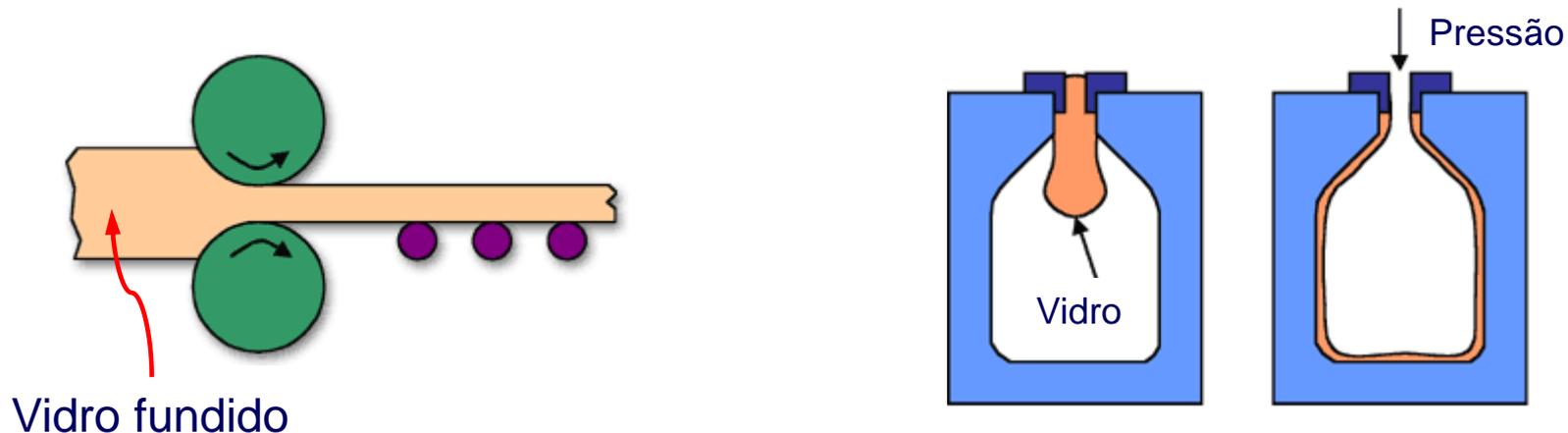


PRODUÇÃO DE PLACAS DE VIDRO

- ✓ A produção de vidros planos pode ser também realizada através do processo de **laminação** em que o vidro fundido passa através de dois rolos circulantes; é um processo que requer alta viscosidade.
- ✓ A lamina de vidro formada apresenta qualidade inferior ao do processo de banho flutuante.

PRODUÇÃO DE GARRAFAS E RECIPIENTES

- ✓ O processo de obtenção de vasilhames é o de **moldagem por sopro**. Neste caso, o vidro é colocado no molde e forçado a adquirir a sua forma através da aplicação de alta pressão gasosa; o processo requer baixa viscosidade.

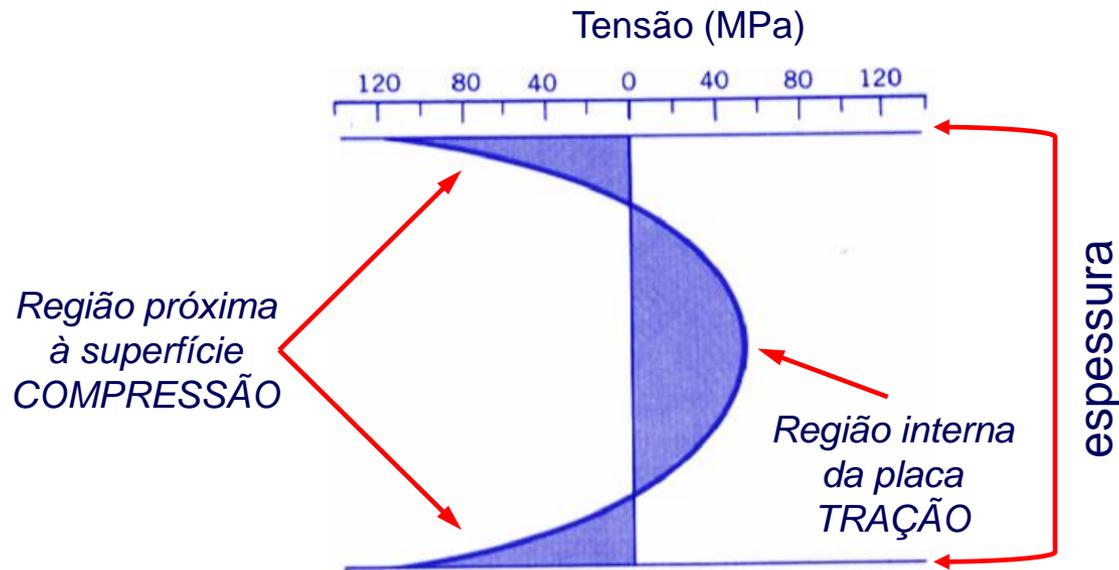


PROCESSO DE TÊMPERA TÉRMICA

- ✓ Este processo melhora significativamente a resistência do vidro, ao mesmo tempo que altera as suas características de quebra.
- ✓ O aumento da resistência é conseguido pelo desenvolvimento intencional de tensões superficiais, residuais, de compressão.
- ✓ Neste processo, o vidro é aquecido até $T > T_g$ e menor que a sua temperatura de amolecimento. Em seguida, o material é resfriado rapidamente com um fluxo de ar de modo uniforme e controlado até a T_{amb} .
- ✓ Este processo cria um gradiente de temperatura, onde a superfície fica mais fria enquanto o seu interior está mais quente; ou seja, o processo de resfriamento ocorre com diferentes taxas na superfície e no núcleo interno.



- ✓ A superfície exterior se resfria e contrai, enquanto o interior permanece fluido, com a temperatura mais alta do que aquela da superfície.
- ✓ Há uma contração no interior colocando a superfície em um estado de compressão.
- ✓ Uma tensão de tração de equilíbrio é desenvolvida no interior da espessura do vidro.



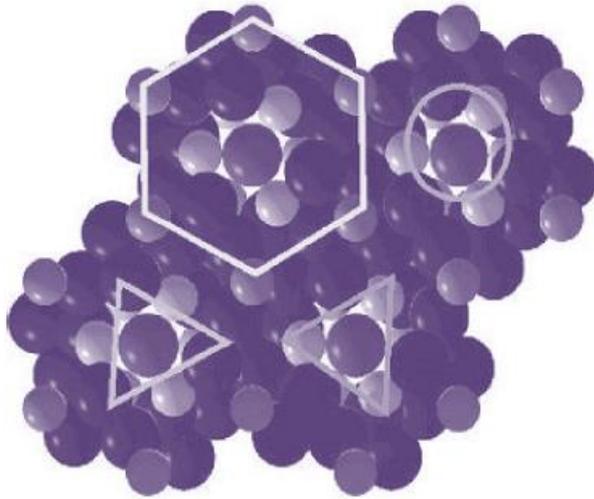
Distribuição de tensões residuais na seção transversal de uma chapa de vidro temperada.

REFERÊNCIAS

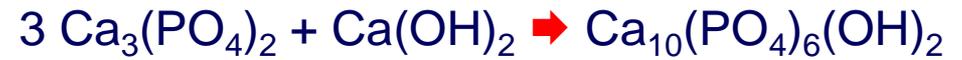
- Ashby, MF, Jones, DRH, Engineering Materials 2. Na Introduction to microstructures, processing and design. Pergamon Press, Oxford (1986).
- William D. Callister, Jr., Materials Science and Engineering – An Introduction, John Wiley, NY, 8ª ed (2010), Cap. 12 e 13.
- Padilha, A.F. – Materiais de Engenharia. Hemus. São Paulo. (1997).
- *IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book").

APÊNDICE

ESTRUTURA DA HIDROXIAPATITA*



(a)



(b)

Estrutura cristalina (a) e fórmula química da biocerâmica hidroxiapatita – HA (b)

* <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000500025>



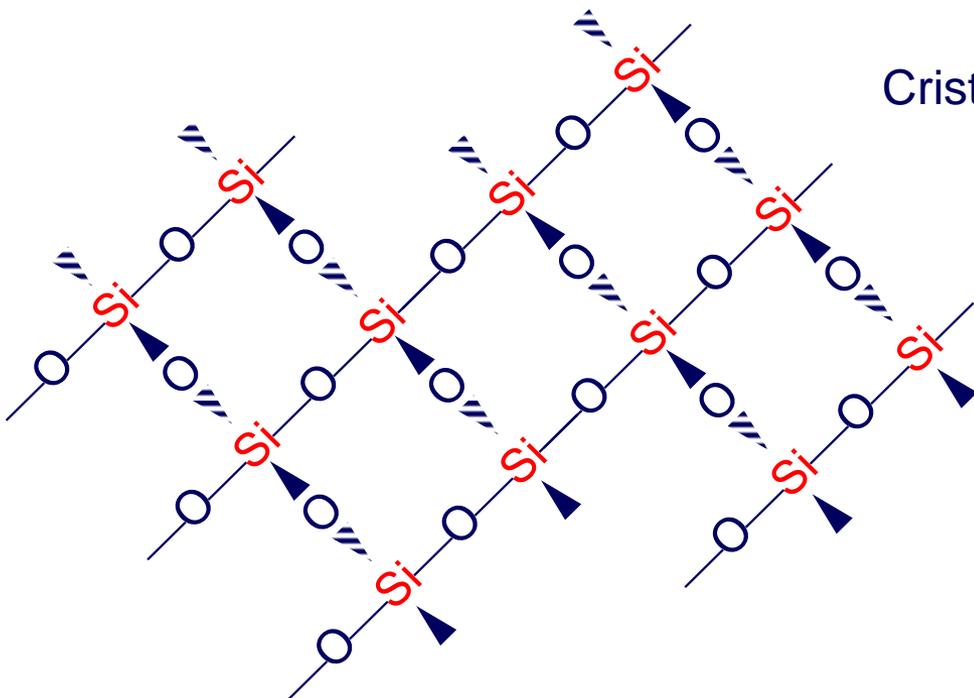
		Elementos de transição															8A	
1	1A 1 H Hidrogênio																2 2 He Hélio	
2	3 Li Lítio	4 Be Berílio											5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrogênio	8 O Oxigênio	9 F Flúor	10 Ne Neônio
3	11 Na Sódio	12 Mg Magnésio	Elementos de transição										13 Al Alumínio	14 Si Silício	15 P Fósforo	16 S Enxofre	17 Cl Cloro	18 Ar Argônio
4	19 K Potássio	20 Ca Cálcio	21 Sc Escândio	22 Ti Titânio	23 V Vanádio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganês	26 Fe Ferro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinco	31 Ga Gálio	32 Ge Germânio	33 As Arsênio	34 Se Selênio	35 Br Bromo	36 Kr Criptônio
5	37 Rb Rubídio	38 Sr Estrôncio	39 Y Ítrio	40 Zr Zircônio	41 Nb Nióbio	42 Mo Molibdênio	43 Tc Tecnécio	44 Ru Rutênio	45 Rh Ródio	46 Pd Paládio	47 Ag Prata	48 Cd Cádmio	49 In Índio	50 Sn Estanho	51 Sb Antimônio	52 Te Telúrio	53 I Iodo	54 Xe Xenônio
6	55 Cs Césio	56 Ba Bário	57-71 * Lantanídeos	72 Hf Háfnio	73 Ta Tântalo	74 W Tungstênio	75 Re Rênio	76 Os Ósmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platina	79 Au Ouro	80 Hg Mercúrio	81 Tl Tálio	82 Pb Chumbo	83 Bi Bismuto	84 Po Polônio	85 At Astato	86 Rn Radônio
7	87 Fr Frâncio	88 Ra Rádio	89-103 ** Atinídeos	104 Rf Rutherfordório	105 Db Dúbnio	106 Sg Seabórgio	107 Bh Bório	108 Hs Hássio	109 Mt Meitnério	110 Uun Ununílio	111 Uuu Ununúlio	112 Uub Unúbio	113 Uut Ununtrio	114 Uuq Ununquádio	115 Uup Ununpentio	116 Uuh Ununhexio	117 Uus Ununséptio	118 Uuo Ununóctio

* 6	57 La Lantânio	58 Ce Cério	59 Pr Praseodímio	60 Nd Neodímio	61 Pm Promécio	62 Sm Samário	63 Eu Európio	64 Gd Gadolínio	65 Tb Térbio	66 Dy Disprósio	67 Ho Hólmio	68 Er Érbio	69 Tm Túlio	70 Yb Ítérbio	71 Lu Lutécio
** 7	89 Ac Actínio	90 Th Tório	91 Pa Protactínio	92 U Urânio	93 Np Netúnio	94 Pu Plutônio	95 Am Americio	96 Cm Cúrio	97 Bk Berquélio	98 Cf Califómio	99 Es Einstênio	100 Fm Férmio	101 Md Mendelévio	102 No Nobélio	103 Lw Laurêncio



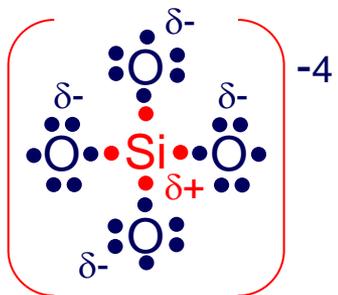
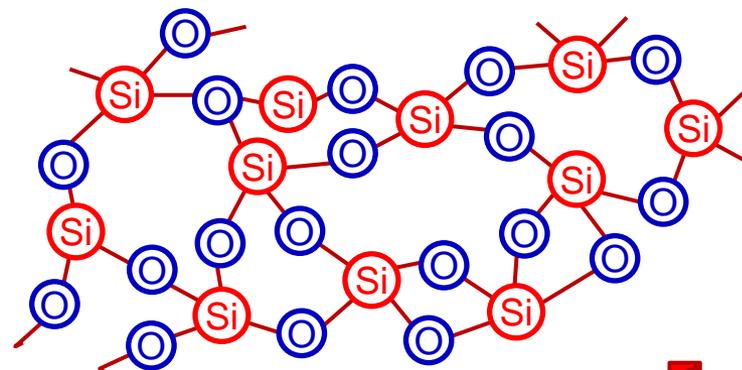


Não existe



Cristalino

Amorfo



Notação de Lewis mostrando a origem do caráter iônico nas ligações atômicas.



ESCALA DE ELETRONEGATIVIDADE CONFORME L. PAULING

Maior facilidade em
ganhar elétrons.
ÂNIONS

IA 1 H 2.1	IIA												0 2 He -				
3 Li 1.0	4 Be 1.5											5 B 2.0	6 C 2.5	7 N 3.0	8 O 3.5	9 F 4.0	10 Ne -
11 Na 0.9	12 Mg 1.2	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIII			IB	IIB	13 Al 1.5	14 Si 1.8	15 P 2.1	16 S 2.5	17 Cl 3.0	18 Ar -
19 K 0.8	20 Ca 1.0	21 Sc 1.3	22 Ti 1.5	23 V 1.6	24 Cr 1.6	25 Mn 1.5	26 Fe 1.8	27 Co 1.8	28 Ni 1.8	29 Cu 1.9	30 Zn 1.6	31 Ga 1.6	32 Ge 1.8	33 As 2.0	34 Se 2.4	35 Br 2.8	36 Kr -
37 Rb 0.8	38 Sr 1.0	39 Y 1.2	40 Zr 1.4	41 Nb 1.6	42 Mo 1.8	43 Tc 1.9	44 Ru 2.2	45 Rh 2.2	46 Pd 2.2	47 Ag 1.9	48 Cd 1.7	49 In 1.7	50 Sn 1.8	51 Sb 1.9	52 Te 2.1	53 I 2.5	54 Xe -
55 Cs 0.7	56 Ba 0.9	57-71 La-Lu 1.1-1.2	72 Hf 1.3	73 Ta 1.5	74 W 1.7	75 Re 1.9	76 Os 2.2	77 Ir 2.2	78 Pt 2.2	79 Au 2.4	80 Hg 1.9	81 Tl 1.8	82 Pb 1.8	83 Bi 1.9	84 Po 2.0	85 At 2.2	86 Rn -
87 Fr 0.7	88 Ra 0.9	89-102 Ac-No 1.1-1.7															

Maior "facilidade" em
ceder elétrons.
CÁTIONS

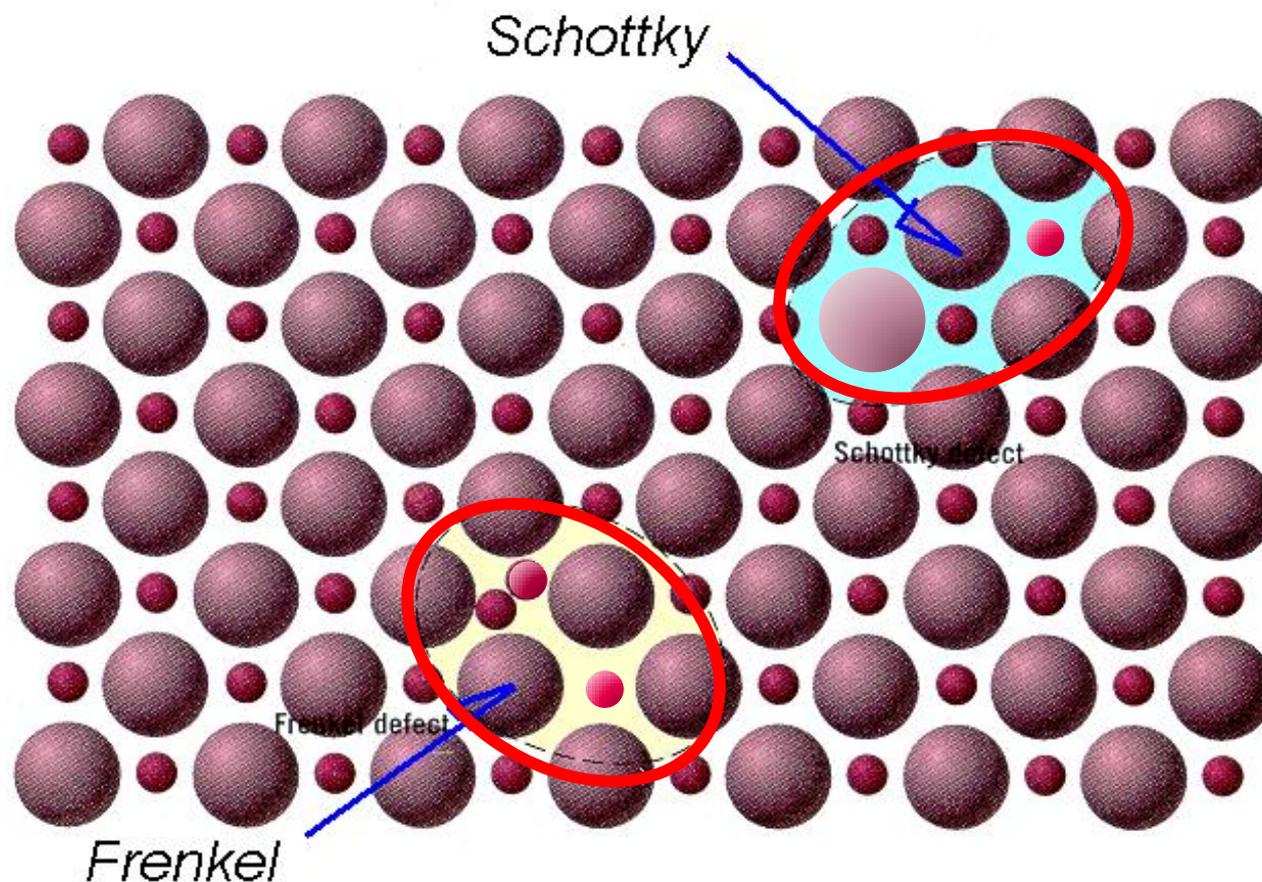
Inertes –
Gases Nobres

A eletronegatividade é o poder que um átomo tem de atrair elétrons para si.



Defeitos Pontuais em Sólidos Iônicos

- *A neutralidade elétrica deve a ser respeitada.*
- ✓ **DEFEITO SCHOTTKY:** *lacuna aniônica + lacuna catiônica*
- ✓ **DEFEITO FRENKEL:** *cátion intersticial + lacuna catiônica*

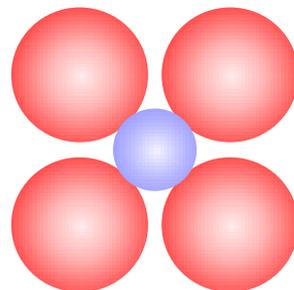
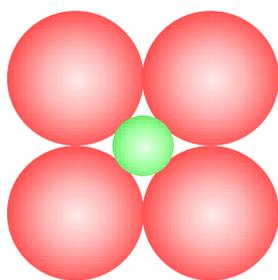


FATORES NA FORMAÇÃO DA ESTRUTURA CRISTALINA DE UM MATERIAL CERÂMICO

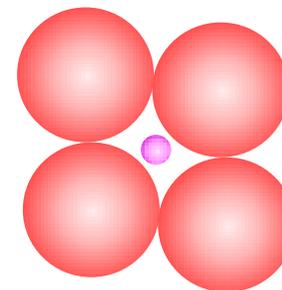
Depende da relação entre o número de coordenação (NC) e a razão r_C/r_A que corresponderá à maximização dos contatos entre os átomos vizinhos de cargas opostas.

Número de Coordenação	Razão (r_C/r_A) ideal
3	0,155
4	0,225
6	0,414
8	0,732
12	1,00

Cada tipo de átomo ocupa posições determinadas na rede cristalina.



Estáveis



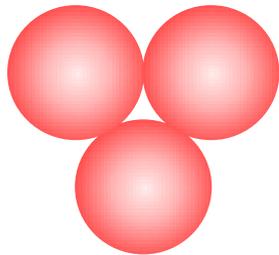
Instável

EMPILHAMENTO NA ESTRUTURA CRISTALINA DE UM MATERIAL CERÂMICO

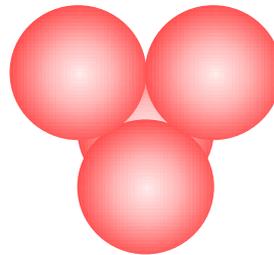
As estruturas cristalinas cerâmicas podem ser consideradas em termos de **planos de íons densamente compactados**, bem como de células unitárias.

Normalmente, os planos densamente compactados são compostos pelos ânions, de maiores dimensões.

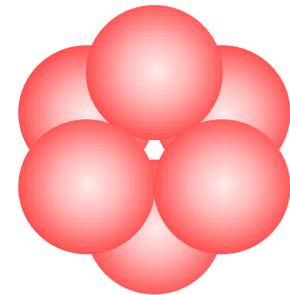
À medida que os planos são empilhados uns sobre os outros, vazios intersticiais são criados entre eles, onde os cátions podem ser alojados.



Triangular

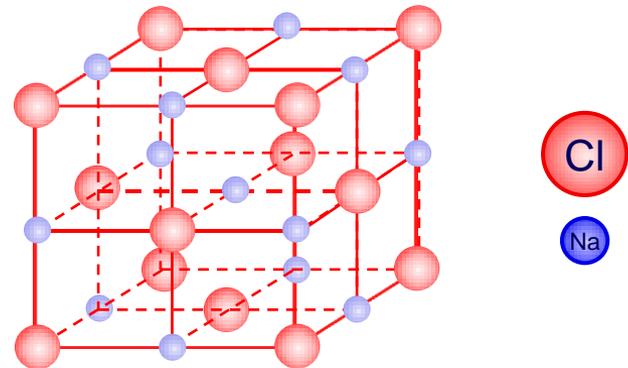
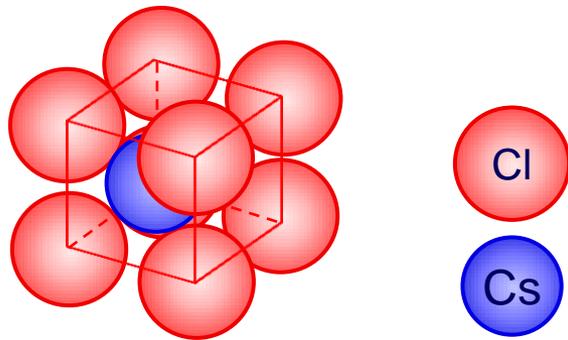


Tetraédrico



Octaédrico

- ✓ As estruturas cristalinas das cerâmicas, embora possam aparentemente ter uma organização semelhante ao de um sistema cristalino metálico, a sua classificação não será a mesma, devido a presença de mais de um tipo de átomo. Exemplos:
- A estrutura cristalina cúbica da cerâmica iônica CsCl se parece com uma CCC, porém, não o é pois, o átomo (Cs - cátion) no centro da estrutura cúbica é diferente daqueles nos vértices (Cl - ânion).
 - Se os tamanhos relativos dos íons forem bem diferentes, o íon positivo pode se ajustar nos espaços intersticiais entre os íons negativos maiores como no NaCl (estrutura cúbica de face centrada - CFC).



DENSIDADE TEÓRICA DE UM MATERIAL CERÂMICO CRISTALINO

$$\rho = \frac{n' (\sum A_C + \sum A_A)}{V_C N_A}$$

- Onde, n' = número de íons da fórmula dentro da célula unitária;
 $\sum A_C$ = somatória dos pesos atômicos de todos os cátions;
 $\sum A_A$ = somatória dos pesos atômicos de todos os ânions;
 V_C = volume da célula unitária;
 N_A = número de Avogrado ($6,022 \times 10^{23}$ átomos por mol).

SINTERIZAÇÃO COM FASE LÍQUIDA: ESTÁGIOS E CARACTERÍSTICAS

- ✓ **Rearranjo de partículas:** formação e fluxo viscoso de um líquido que molha o sólido, se espalha e junta as partículas por pressão capilar, causando alguma densificação.
- ✓ **Solução-precipitação:** dissolução de
 - partículas sólidas pequenas no líquido e precipitação nas superfícies sólidas de partículas grandes;
 - contatos partícula-partícula e precipitação em grãos não comprimidos;
 - cantos agudos e precipitação em superfícies côncavas.
- ✓ **Coalescência:** crescimento do grão ocorre de modo a formar uma estrutura sólida de partículas.