Processos de Fabricação 2

Plano de ensino

Processos de Fabricação 2

- Conteúdo programático
  - Materiais cerâmicos
    - Estruturas e propriedades dos materiais cerâmicos
    - Apresentação dos processos de fabricação de materiais cerâmicos
    - Propriedades Mecânicas dos materiais cerâmicos
    - Aplicação e Processamento das Cerâmicas
  - Materiais poliméricos
    - Estrutura e propriedades dos materiais poliméricos
    - Apresentação dos processos de fabricação de polímeros
    - Propriedades Mecânicas dos materiais poliméricos
    - Aplicação e processamento de Polímeros
    - Estudo de Viabilidade Econômica para cada setor.

Processos de Fabricação 2

- Bibliografia

  - Callister W. D. – **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução,** 5.ed.,LTC 2002
  - Willian Smith – **Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais –** Mac Graw Hill, Portugal, 1999
  - www.cimm.com.br
  - www.dem.feis.unesp.br
  - www.dow.com
  - www.dupont.com.br

Processos de Fabricação 2

- Sistemática de avaliação
  - Provas bimestrais – P1 e P2
  - Substitutiva – P3 e exame

Processos de Fabricação 2

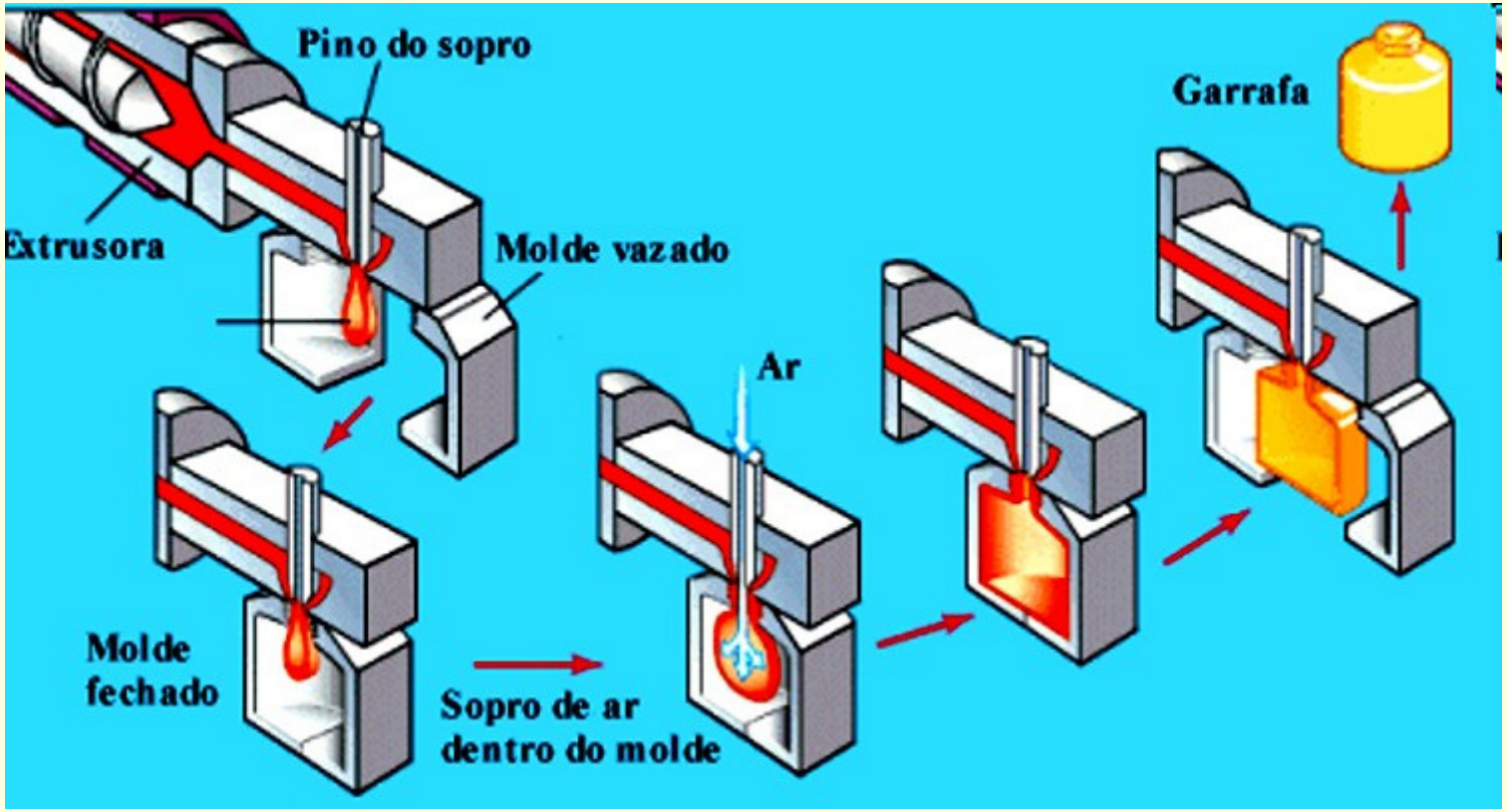
- Materiais cerâmicos – vidro prensado

Processos de Fabricação 2

- Materiais cerâmicos – vidro estirado

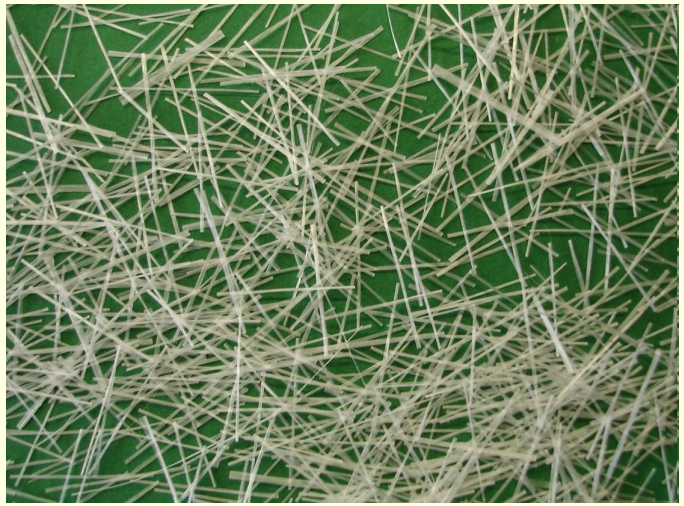
Processos de Fabricação 2

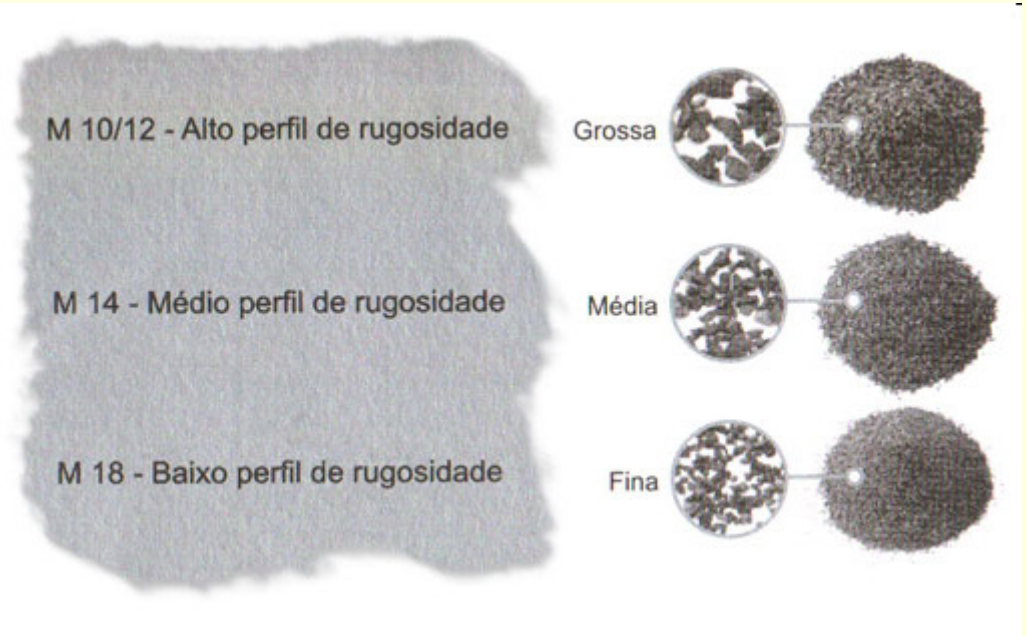
- Materiais cerâmicos –vidro soprado



Processos de Fabricação 2

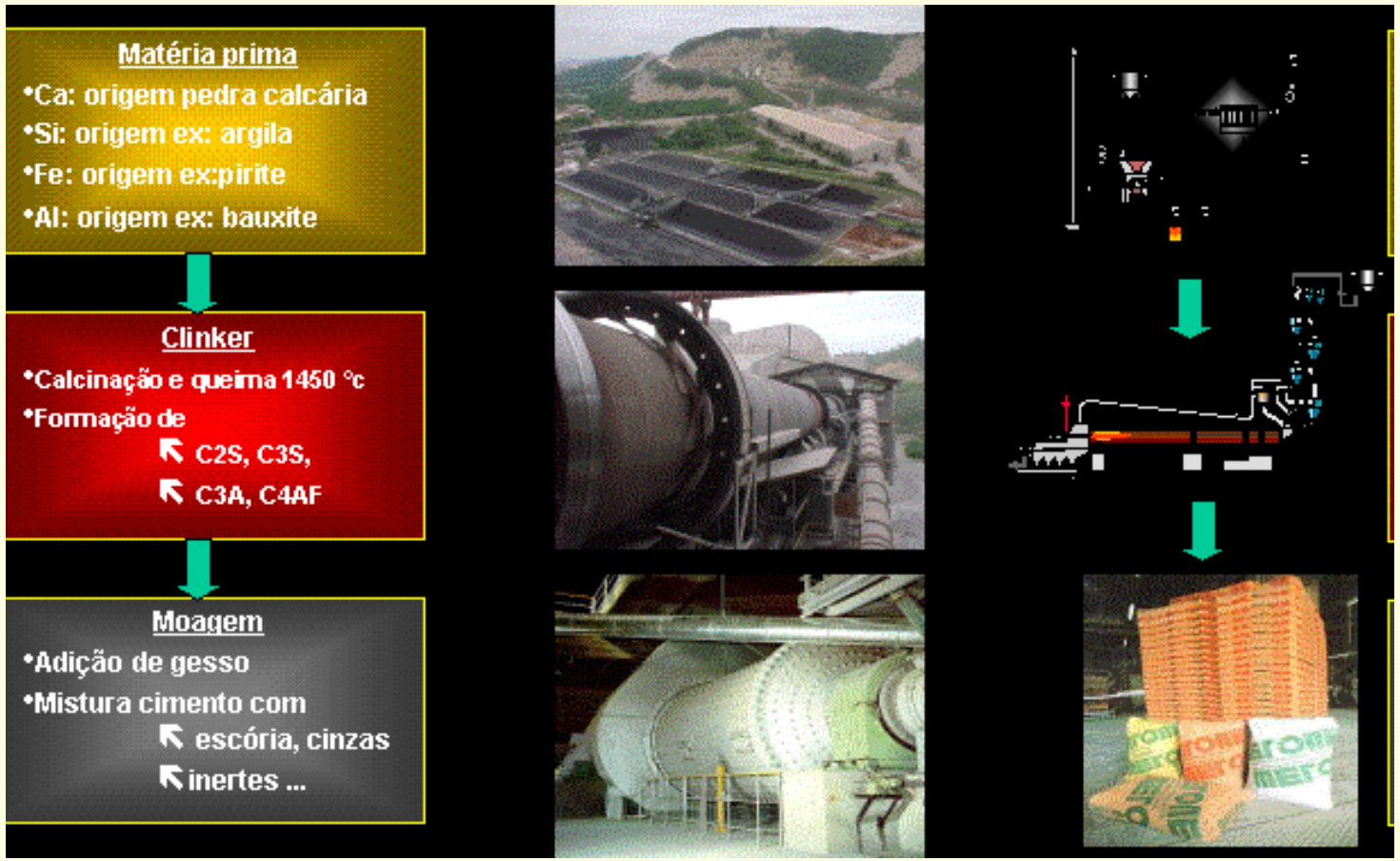
- Materiais cerâmicos – fibra e abrasivos





Processos de Fabricação 2

- Materiais cerâmicos – cimentos

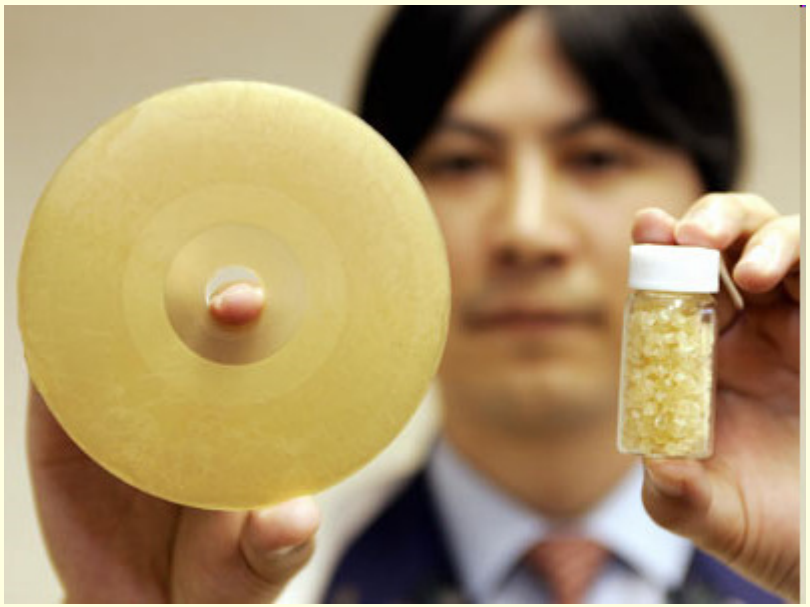


Processos de Fabricação 2

- Materiais cerâmicos - especiais

Processos de Fabricação 2

- Materiais poliméricos



Processos de Fabricação 2

Materiais Cerâmicos

Materiais cerâmicos

- Origem do termo

Cerâmica → keramikos → processo de queima

vaso de barro

(alta temperatura)

Até 40 anos atrás → cerâmicas tradicionais

Hoje → aplicações amplas desde eletrônica à aeroespacial

Materiais cerâmicos

- Elementos químicos - átomos

Regra geral:

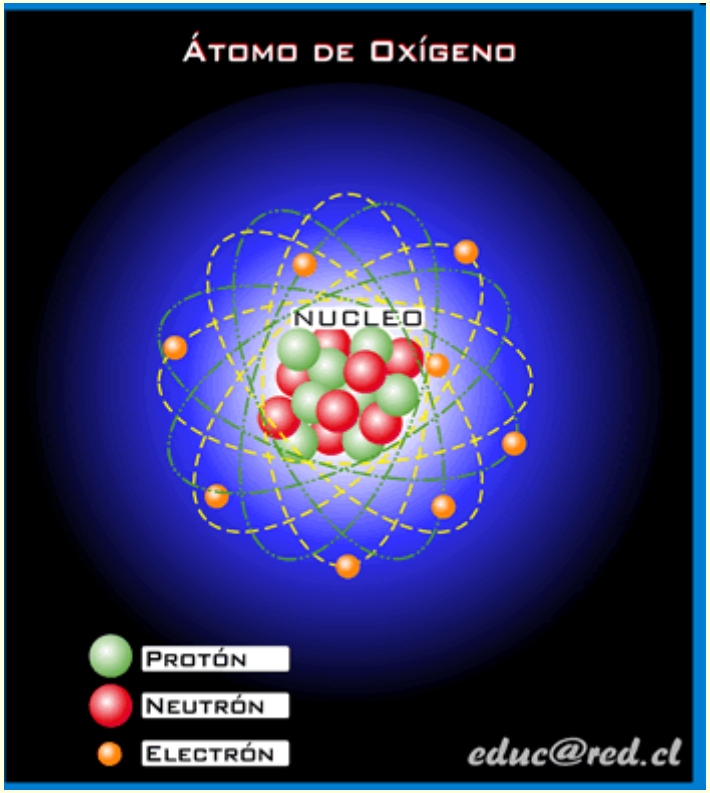
os átomos em geral adquirem estabilidade quando completam 8 elétrons na camada de valência.

Características: elétrons na camada de valência

Átomos com 8 – estável

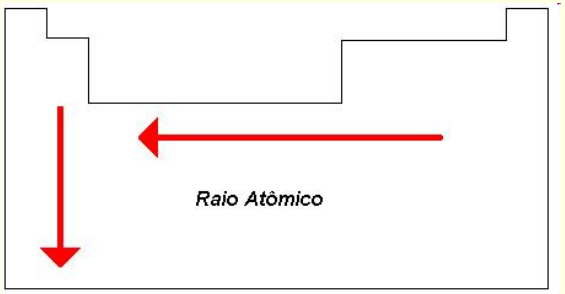
Átomos com poucos – eletro +

Átomos com muitos – eletro -

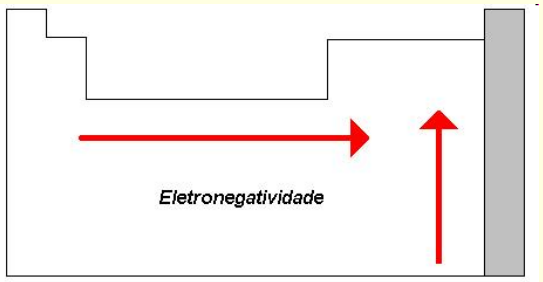


Materiais cerâmicos

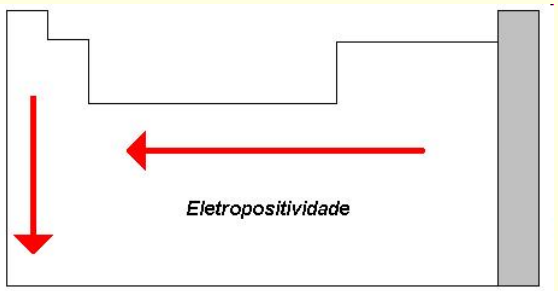
Raio atômico – diâmetro do átomo



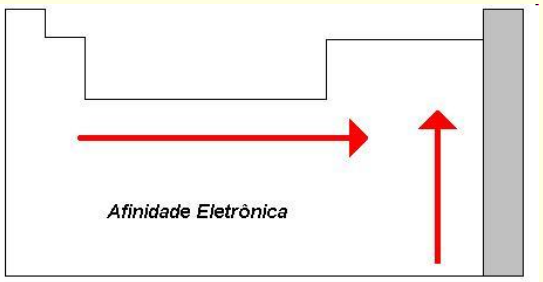
Eletronegatividade – poder de atrair eletróns



Eletropositividade – poder de perder eletróns

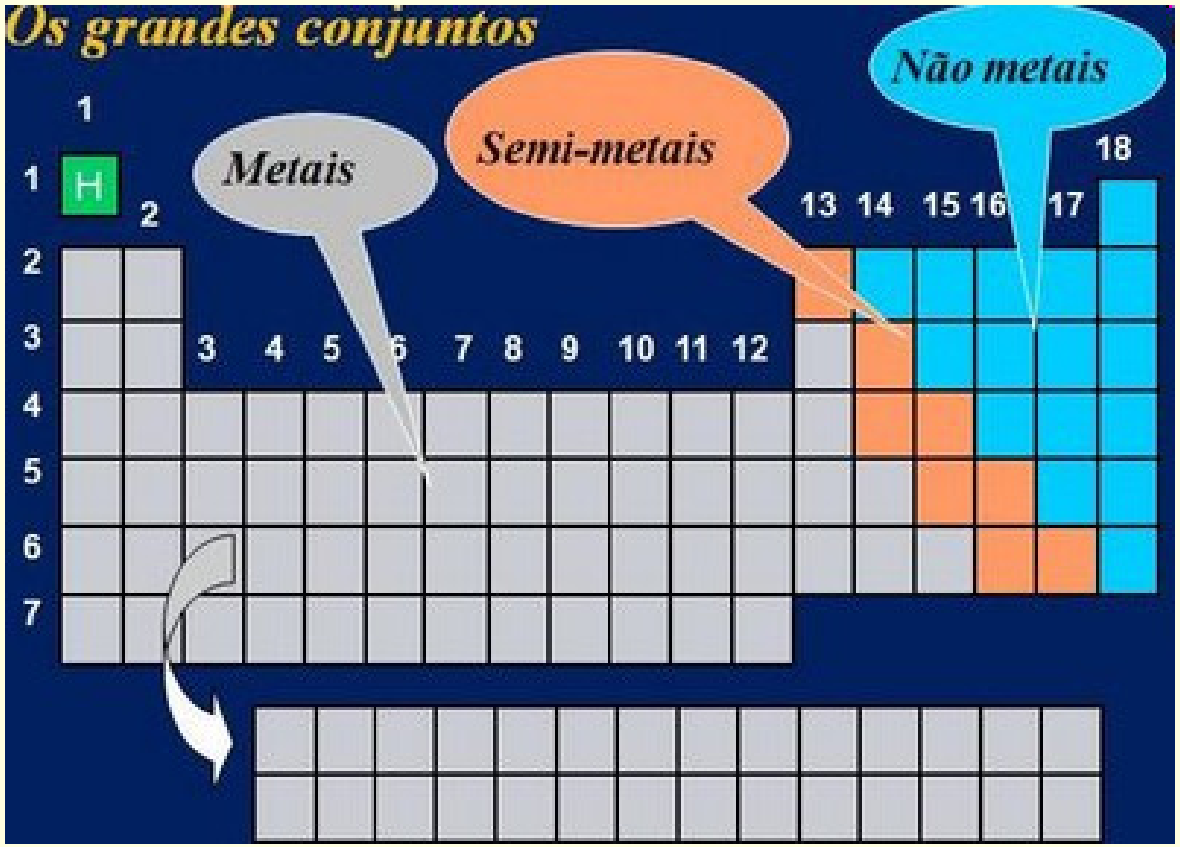


Afinidade eletrônica – afinidade para receber elétrons



Materiais cerâmicos

- Átomos e a tabela periódica

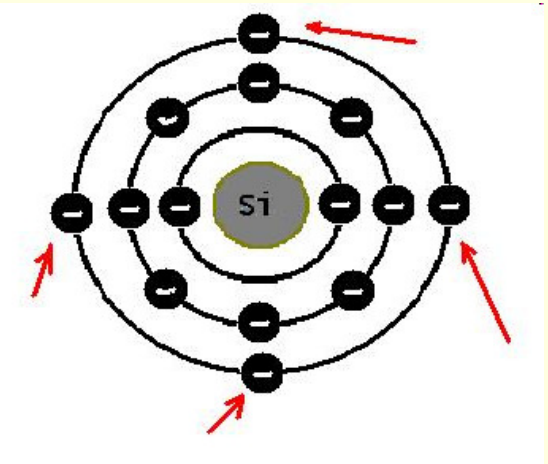


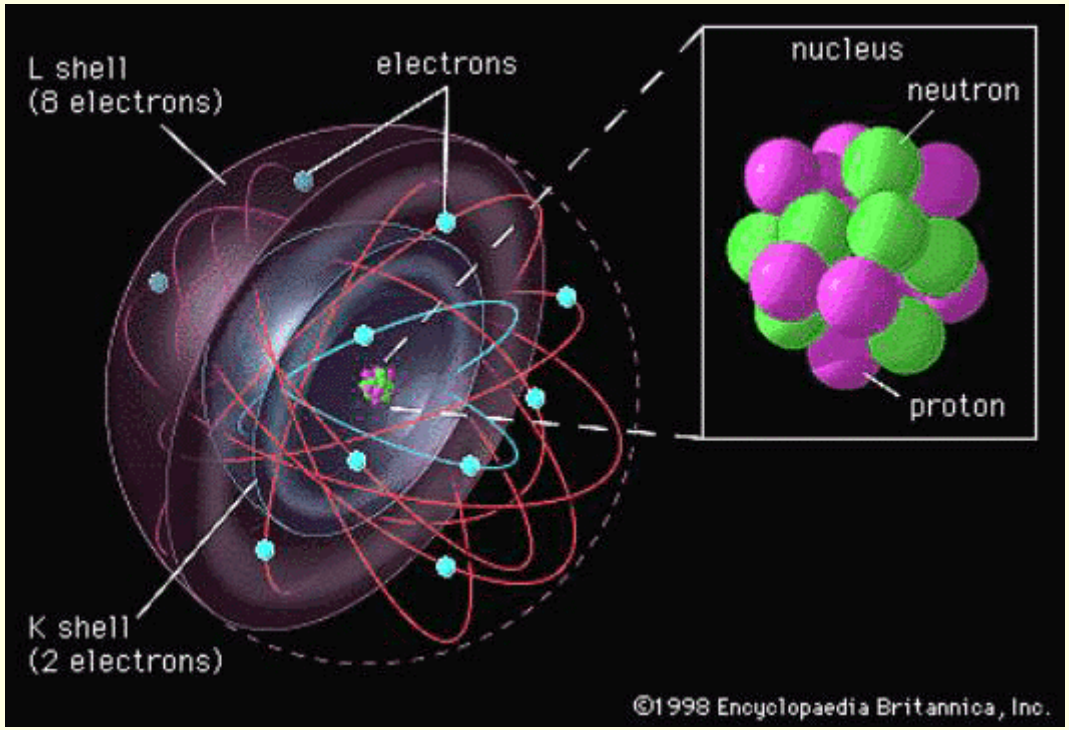
Materiais cerâmicos

- Átomos e a tabela periódica

Materiais cerâmicos

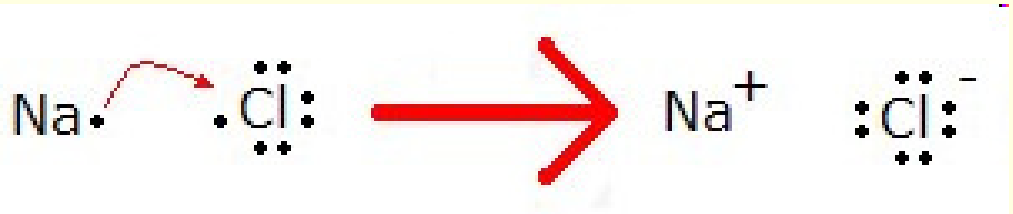
- Átomos e seus elétrons de valência





Materiais cerâmicos

- Estrutura cerâmica
  - Ligações iônicas entre elementos metálicos e não metálicos (metal + ametal) - eletrovalente
    - Estrutura estável compartilhando ions + e –
    - Sólida e cristalina
    - Ponto de fusão e ebulição são altos
    - Conduzem corrente elétrica qdo dissolvidos
    - (+) cátions – cedem elétrons e ficam “menores”
    - (-) ânions – recebem elétrons e ficam “maiores”



Ligação iônica 4”

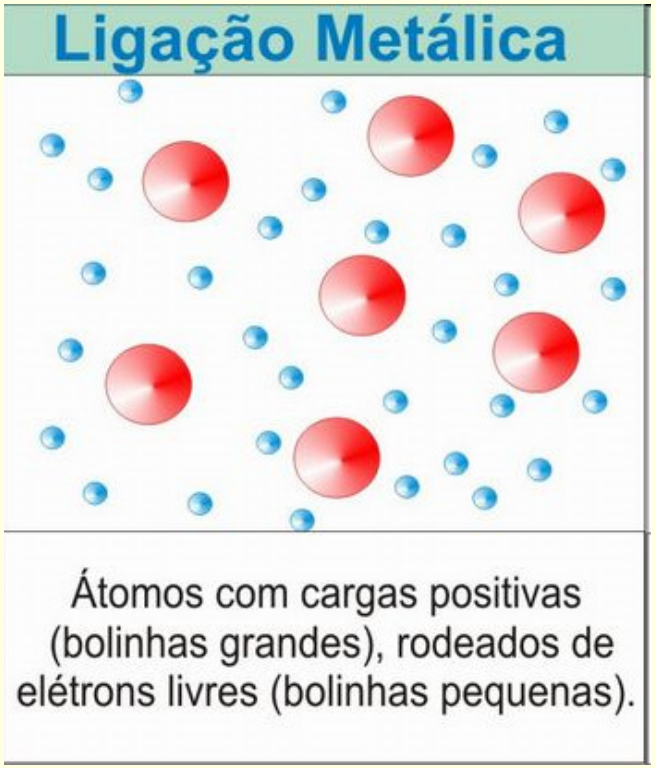
Materiais cerâmicos

- Ligações covalente
  - Compartilha elétrons entre átomos adjacentes
    - Como o metano (CH4)

Ligação covalente 4”

Materiais cerâmicos

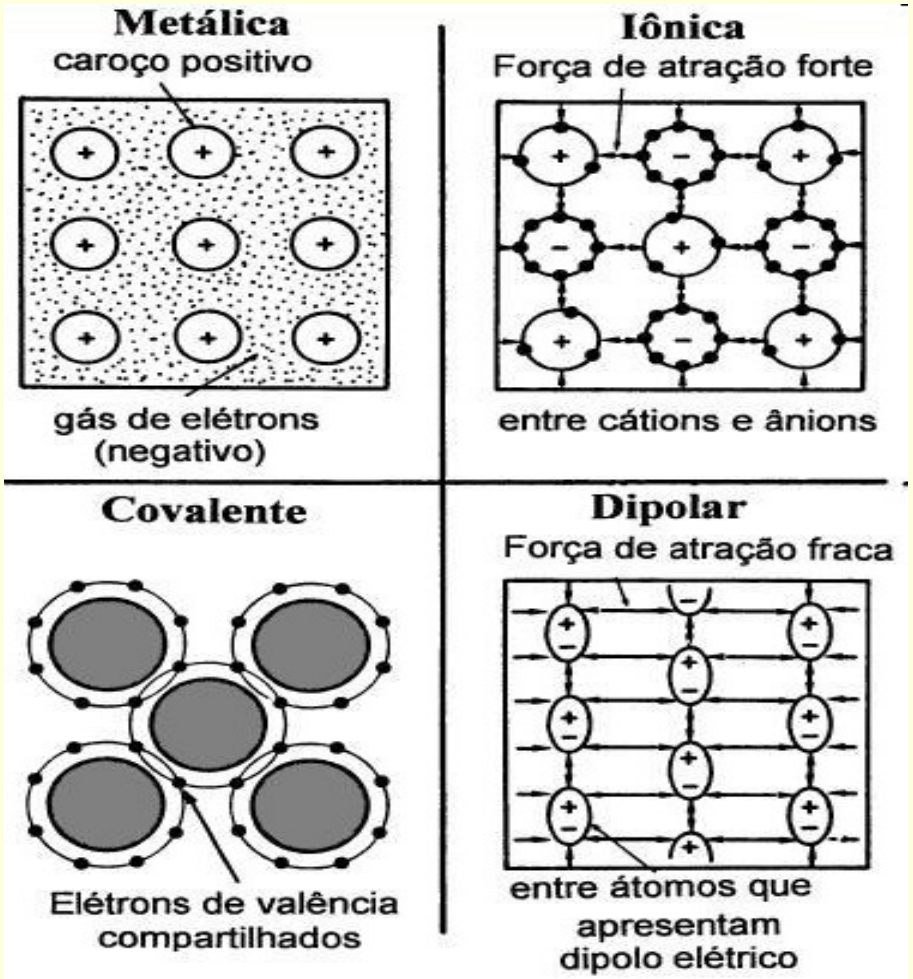
- Ligações metálica (entre metais)
  - Compartilha elétrons com todos os átomos
    - Núvem de elétrons



Resumo de todas as ligações químicas 1”

Materiais cerâmicos

Resumo das forças nas ligações químicas

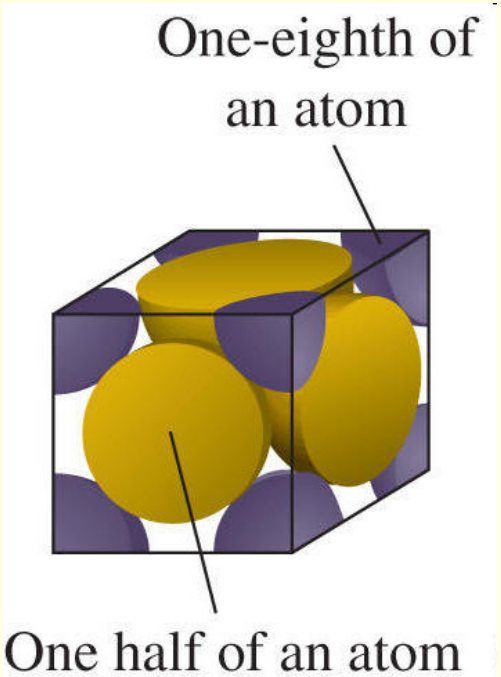


Materiais cerâmicos

- Estrutura cerâmica – cristalina
  - Rc/Ra < 1 nro de coordenação – nro de vizinhos de um cátion

Número de Coordenação (NC) = número de vizinhos mais próximos ligados a um íon central

Raios iônicos maiores conduzem a NC maiores (repulsão entre os contra – íons)



Estruturas cristalina 4”

Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas
  - Célula unitária

Raio iônico (Ra/Rc)

Ra/Rc < 0,155	NC = 2
0,155 < Ra/Rc < 0,255	NC = 3

NC mais comuns em cerâmicas

0,255 < Ra/Rc < 0,414	NC = 4
0,414 < Ra/Rc < 0,732	NC = 6
0,732 < Ra/Rc < 1,0	NC = 8

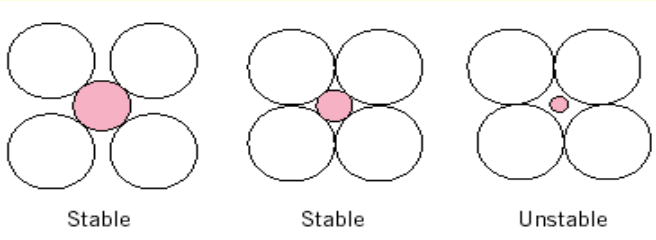
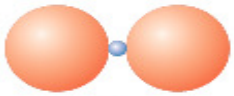
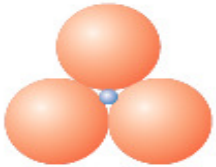
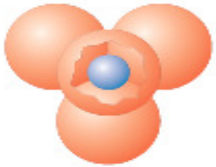
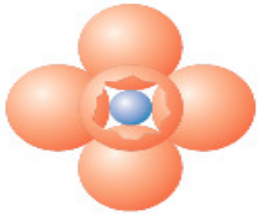
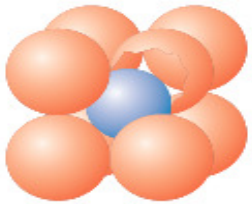


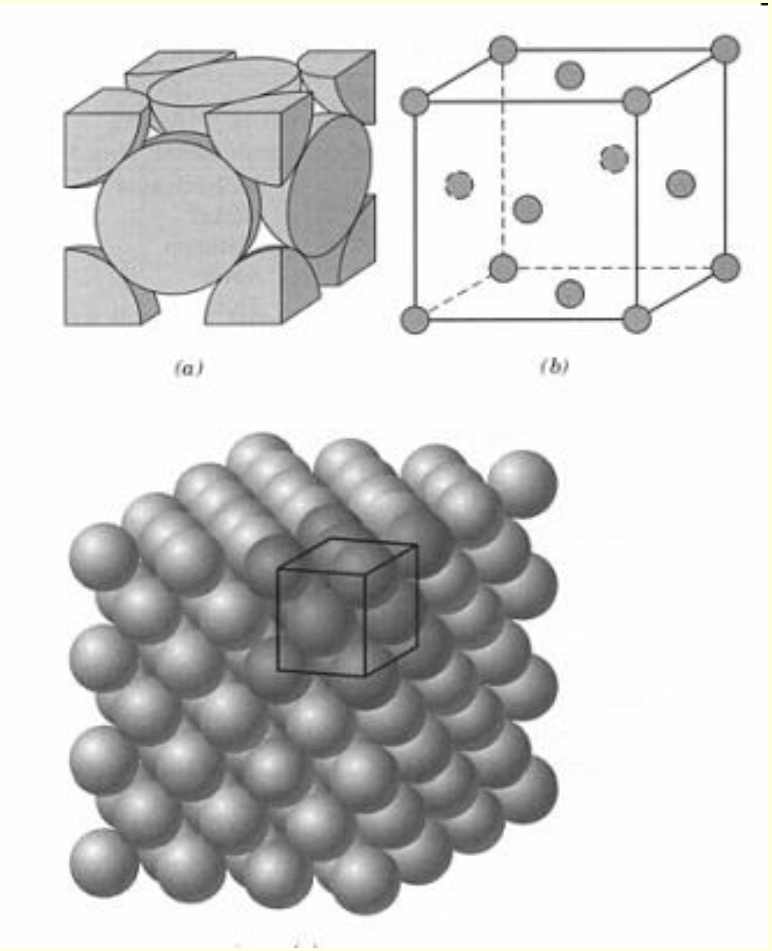
Table 12.2 Coordination Numbers and Geometries for Various Cation–Anion Radius Ratios (r_C/r_A)

Coordination Number	*Cation–Anion Radius Ratio*	*Coordination Geometry*
2	<0.155	
3	0.155–0.225	
4	0.225–0.414	
6	0.414–0.732	
8	0.732–1.0	

Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas
  - Célula unitária

Raio do cátion/raio do ânion (Ra/Rc)	
Ra/Rc < 0,155	NC = 2
0,155 < Ra/Rc < 0,255	NC = 3
NC mais comuns em cerâmicas	
0,255 < Ra/Rc < 0,414	NC = 4
0,414 < Ra/Rc < 0,732	NC = 6
0,732 < Ra/Rc < 1,0	NC = 8



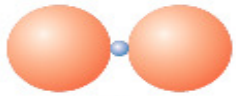
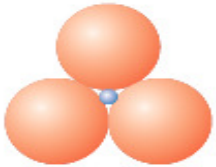
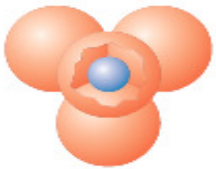
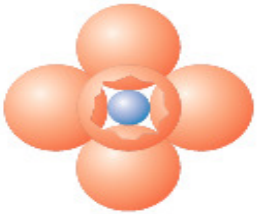
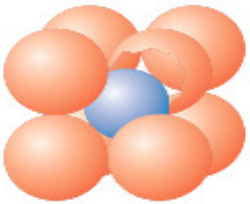
Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas
  - Arranjo cristalino de acordo com o NC

Forma geométrica predominante:

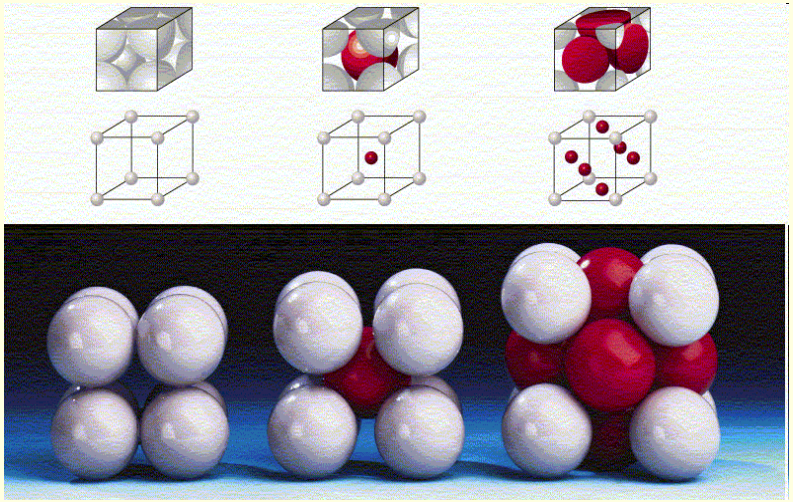
NC = 2	linear
NC = 3	plana
NC = 4	tetraédrica e quadrada
NC = 5	incomum
NC = 6	octaedro
NC = 8	cubica

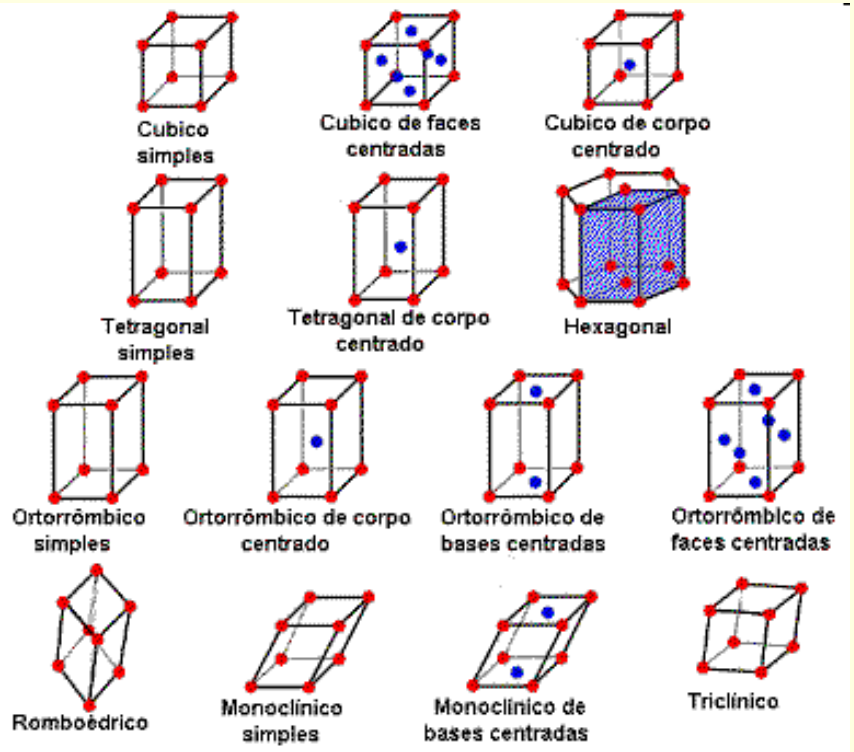
Table 12.2 Coordination Numbers and Geometries for Various Cation–Anion Radius Ratios (r_C/r_A)

Coordination Number	*Cation–Anion Radius Ratio*	*Coordination Geometry*
2	<0.155	
3	0.155–0.225	
4	0.225–0.414	
6	0.414–0.732	
8	0.732–1.0	

Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas
  - Tipos de arranjos cristalinos e as propriedades dos sólidos





Materiais cerâmicos

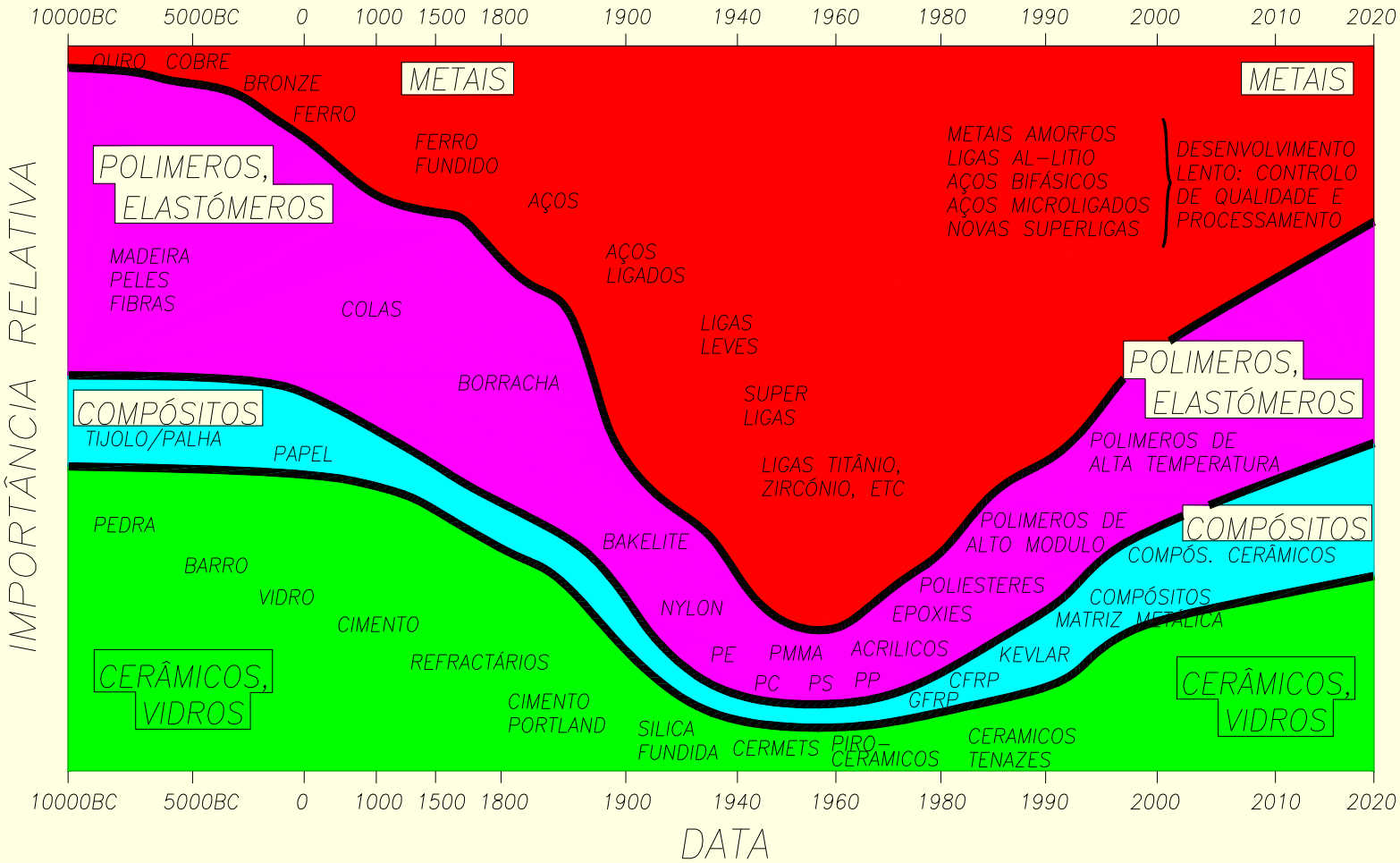
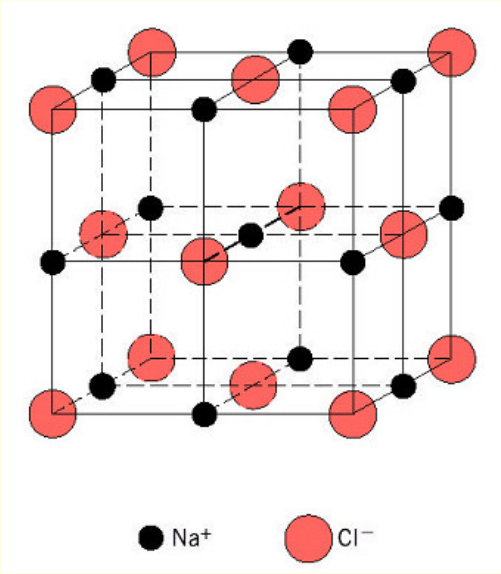
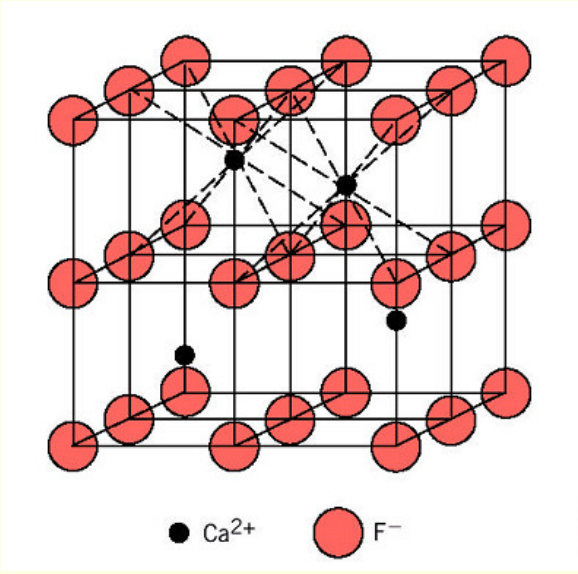


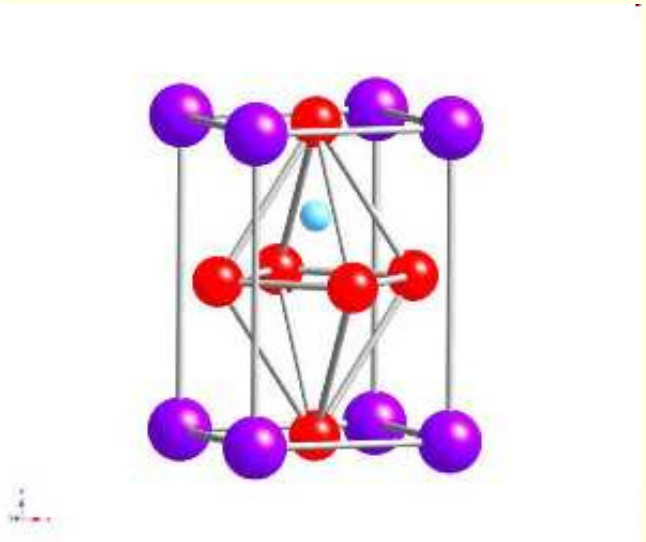
Figura copiada do material do Prof. Arlindo Silva do Instituto Superior Técnico da Universidade de Portugal

Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas
  - Tipos de estruturas cristalinas cerâmicas
    - Forma como se rearranjam os cátions (A) e ânions (X)
    - Nros iguais de cátions e ânions na estrutura – AX
    - Nros diferentes de cátions e ânions – AmXp
    - Nros diferentes de cátions (2 tipos) e ânions - AmBnXp







Materiais cerâmicos

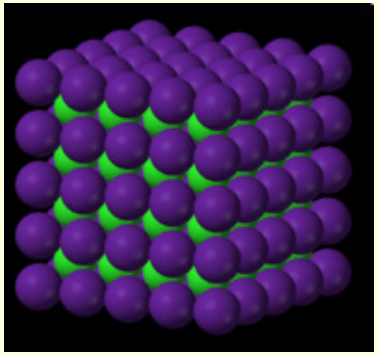
- Estruturas cristalinas do tipo AX

Estrutura de sal de rocha NaCl

(NC=6 e CFC) - 2 redes interpenetrantes (uma de cátion e outra de ânion)

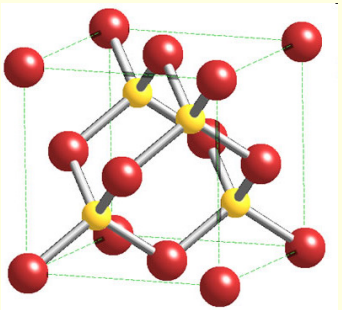
Estrutura de cloreto de Césio CsCl

(NC=8 e CCC)



Estrutura da blenda de zinco ZnS

(NC=4) de onde vem o ìndio



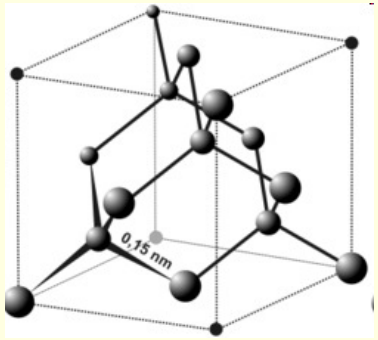
Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas do tipo AX

Estrutura cúbica do diamante C

Distância interatômica 0,15nm – empacotamento elevado

Ligação covalente e estrutura igual a do germanio



Estrutura da grafita C

Ligações covalente fortes entre os átomos

Ligações de Van der Walls fracas entre as camadas

Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas do tipo AmXp

m ou p é diferente de 1

O tamanho dos átomos é que determina a estrutura cristalina ocupada por cátions e ânions simultaneamente – exemplo: fluorita CaF_2 – fonte de fluor – teflon,freon, etc

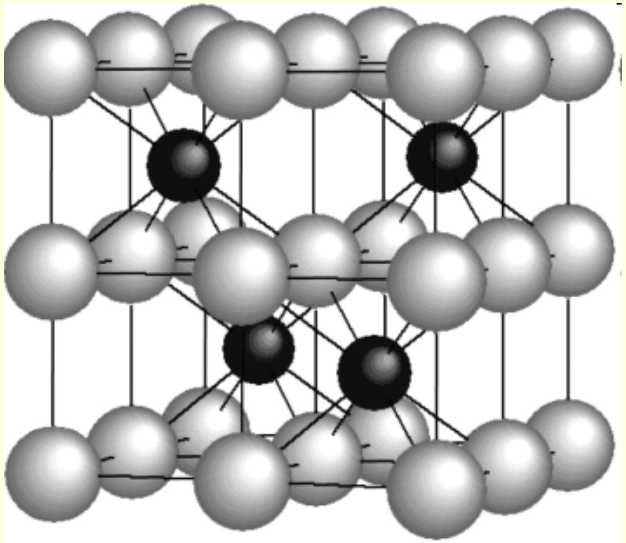


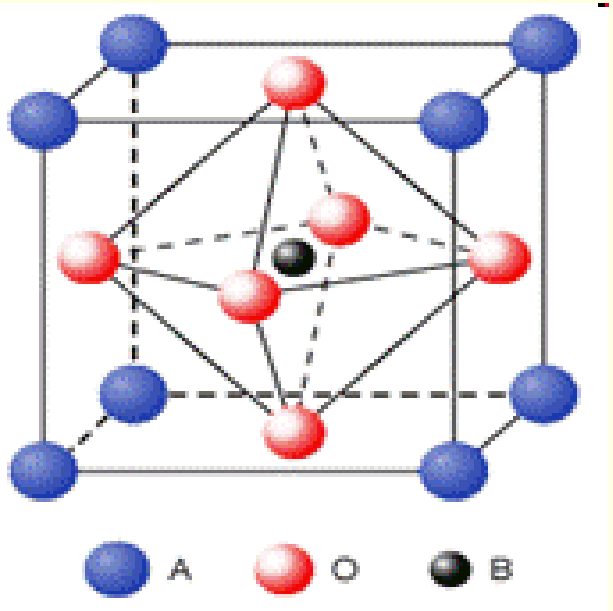
Figura 1: Estrutura fluorita do óxido de cério.
[Figure 1: Fluorite structure of cerium oxide.]

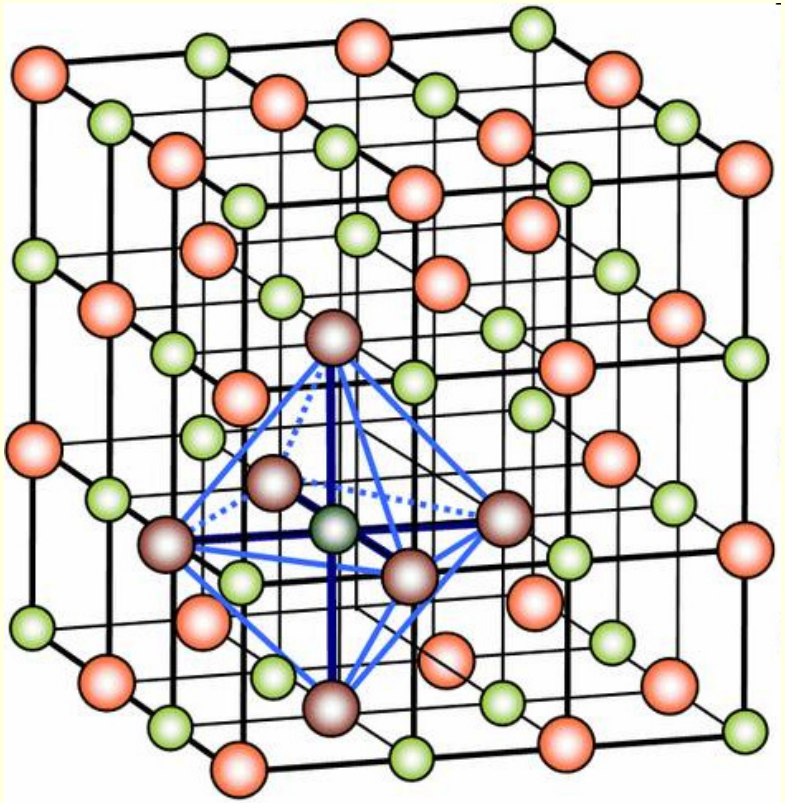
Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas do tipo AmBnXp

Há mais de um tipo de cátion

Perovskita poder de quebrar as moléculas do hidrogênio ou do oxigênio e gerar eletricidade





Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas – empacotamento denso de ânions

Planos de empacotamento denso de átomos (cfc ou hc)

↓

Nos <u>interstícios</u>: locais de residência dos cátions

↓

<u>Posições intersticiais</u>:

4 átomos (3 em um plano e 1 em outro)

6 átomos (3 em um plano e 3 em outro)

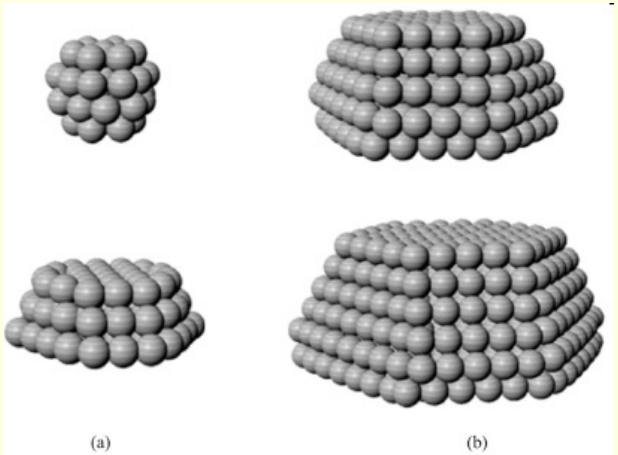
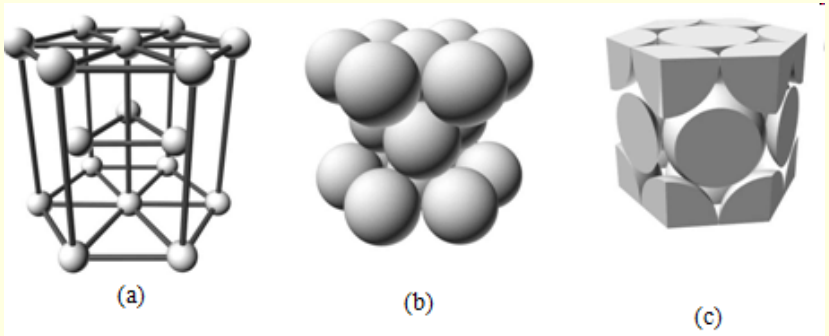


Figura 2. Exemplos de partículas modelo de ouro de catalisadores do tipo (a) Au/Al_2O_3 e (b) $Au/MgAl_2O_4$. As partículas em (a) são mais redondas que aquelas em (b) e possuem mais átomos nas extremidades em relação ao volume do agregado. Adaptado da ref. 60



Materiais cerâmicos

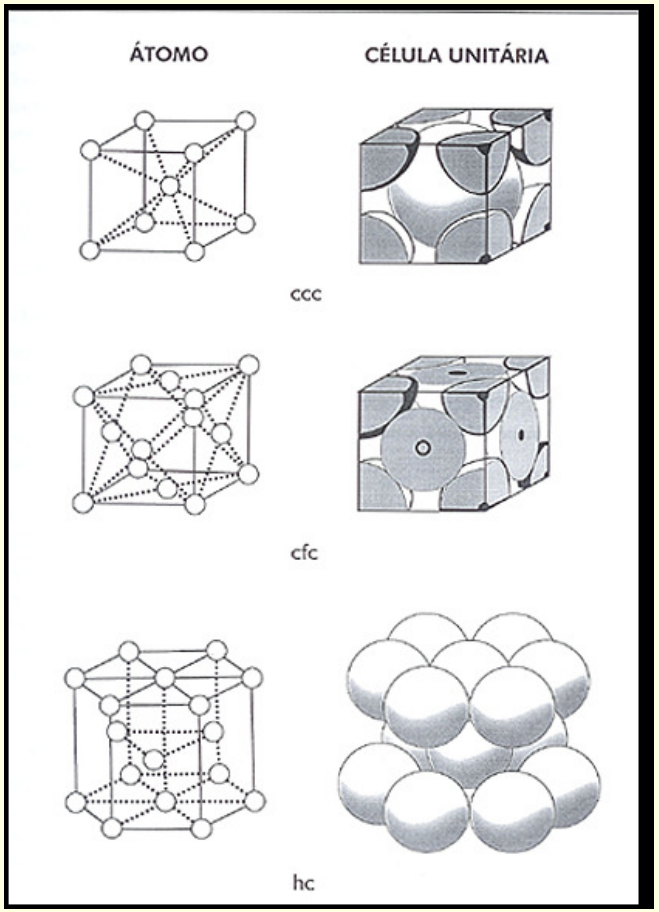
- Estruturas cristalinas – empacotamento denso de ânions

Fator de empacotamento atômico (APF)

APF = volume dos átomos / volume da célula

Densidade atômica

Depende da estrutura cristalina e da composição química

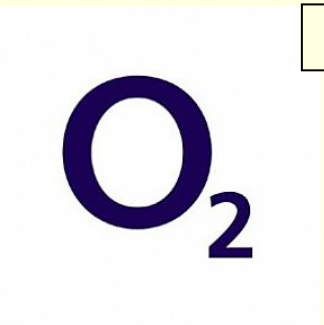


Materiais cerâmicos

- Cerâmicas de silicatos

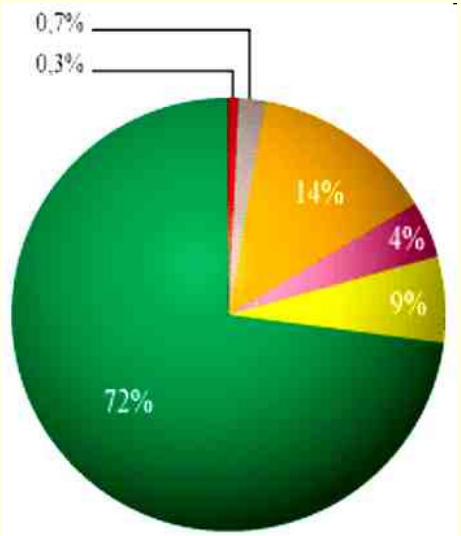
Silício e oxigênio – 2 elementos mais abundantes na crosta terrestre

¼ da crosta da terra e 2º. mais abundante



Elemento mais abundante

São encontrados: solo, rochas, argilas e areias



Produtos: sílica, vidros de sílica (vidros comuns – janelas) – 72% do vidro é sílica (areia) - vitrificante

Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas - imperfeições cerâmicas

Defeitos atômicos pontuais

Vacância: falta do elemento na estrutura

Intersticial: inclusão do elemento na borda das células

Regra básica

mantêm a eletro neutralidade

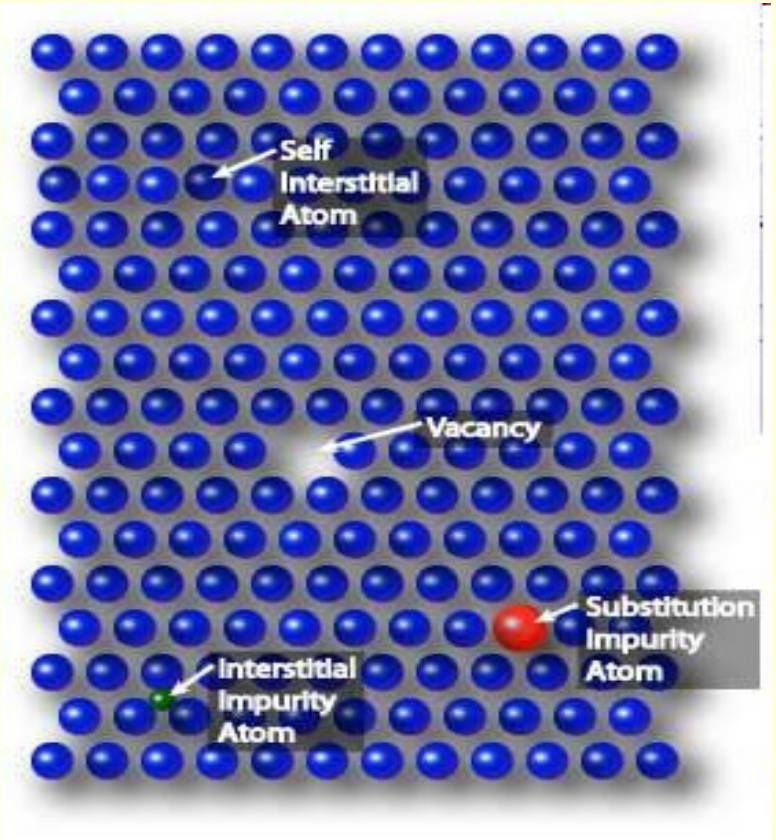
Dois tipos de defeitos:

Vacância de cátion = intersticial de cátion

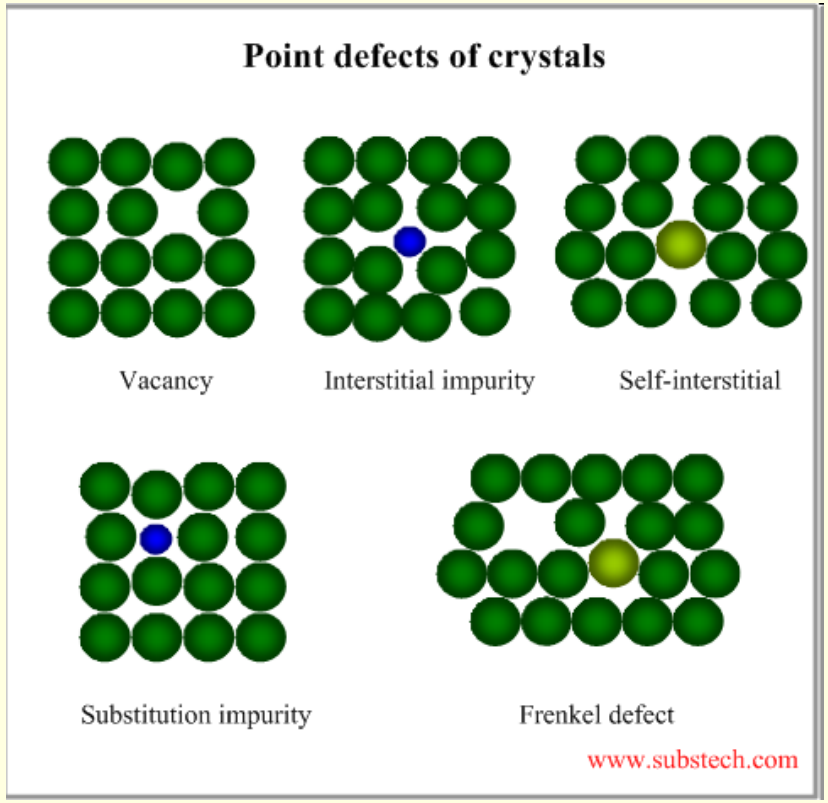
(Defeito de Frenkel)

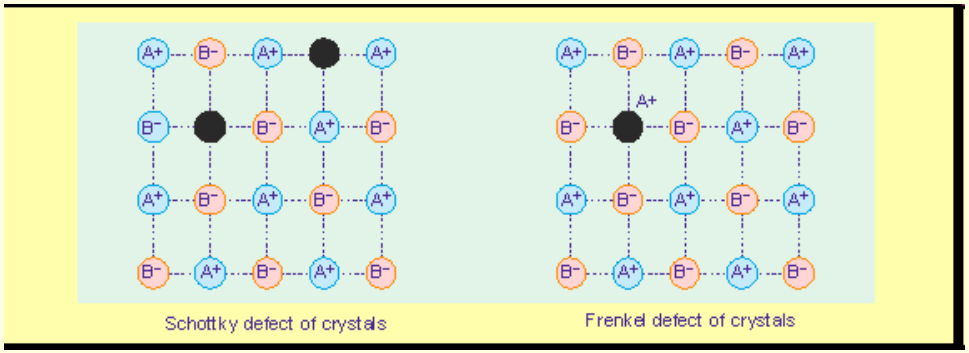
Vacância de cátion = vacância de ânion

(Defeito de Schottky)



Materiais cerâmicos





Materiais cerâmicos

- Estruturas cristalinas - imperfeições cerâmicas

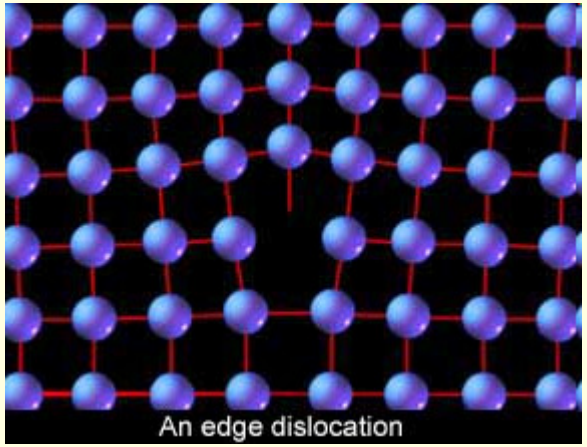
Impurezas em cerâmicas

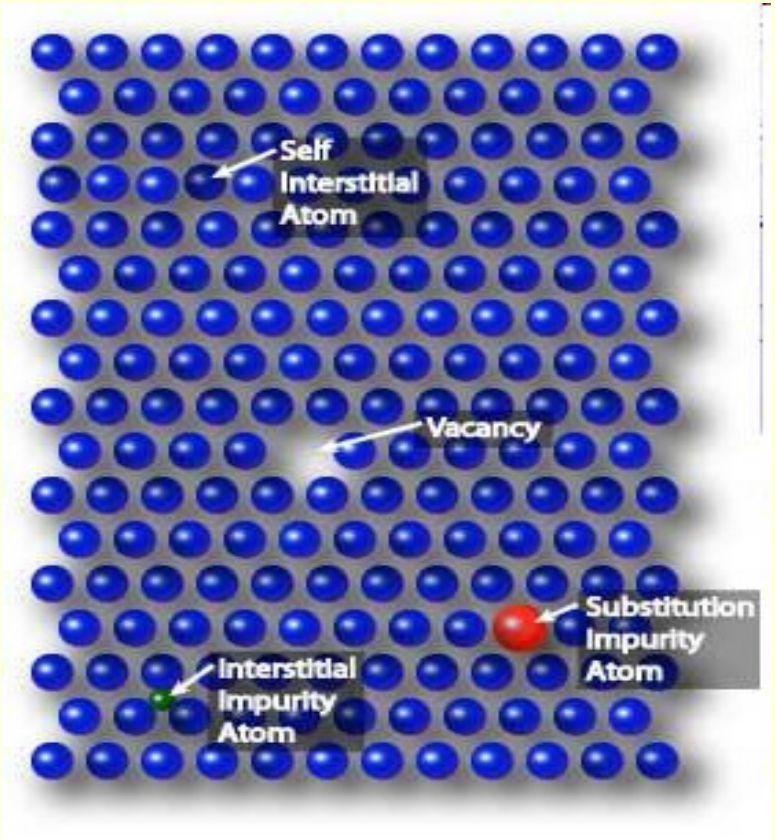
Substitucional: íon hospedeiro

Intersticional: nos interstícios

Regra básica

mantêm a eletro neutralidade





Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

Alta limitação ▶ disposição a fratura catastrófica ▶ pouca absorção de energia

is260-297 fotosearch.com.br

- <u>Fratura frágil</u> de cerâmicas

processo ▶ Formação e propagação de trincas (⊥ a carga aplicada)

<u>Tipos de fratura</u>:

A – intergranular (contorno dos grãos)

B – transgranular (planos cristalográficos – de clivagem)

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

- Tipos de fratura cerâmica

A – intergranular (contorno dos grãos)

B – transgranular (planos cristalográficos - clivagem)

A

B

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

- Fratura frágil de cerâmicas

defeitos

amplificam a tensão ⇨

Trincas superficiais (comprimento)

Cantos de grãos

Equação explicativa da resistência cerâmica a fratura:

$$K_{Ic} = Y \cdot \sigma \cdot (\pi \cdot a)^{1/2}$$

Onde:

Y – adimensional relativo ao tipo e geometria da trinca

σ – tensão aplicada

a – comprimento da trinca presente

Quanto maior o valor de K_{Ic} maior sua resistência a fratura

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

Valor de resistência a fratura (Klc em Mpa)

Materiais

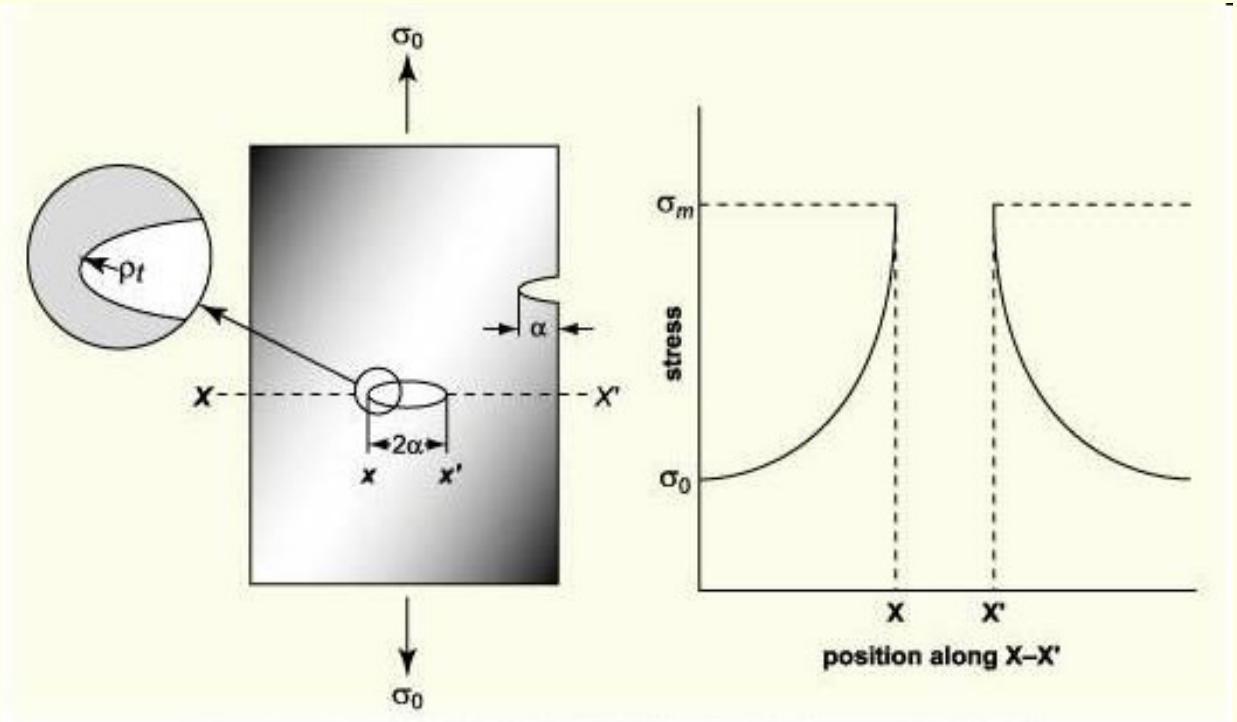
Metals	
Aluminum(7075-T651)	24
Aluminum(2024-T3)	44
Titanium(Ti-6Al-4V)	55
Alloy Steel(4340 tempered @ 260C)	50.0
Alloy Steel(4340 tempered @ 425C)	87.4
Ceramics	
Concrete	0.2–1.4
Soda-Lime Glass	0.7–0.8
Aluminum Oxide	2.7–5.0
Polymers	
Polystyrene	0.7–1.1
Poly(methyl methacrylate)	0.7–1.6
Polycarbonate	2.2

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

- Fratura frágil

Equação explicativa da resistência cerâmica a fratura:

$$K_{Ic} = Y \cdot \sigma \cdot (\pi \cdot a)^{1/2}$$



Schematic stress profile along a specimen with a crack

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

- Fractografia de cerâmicas
  - Uma das formas de se analisar a fratura (origem e configuração das trincas)

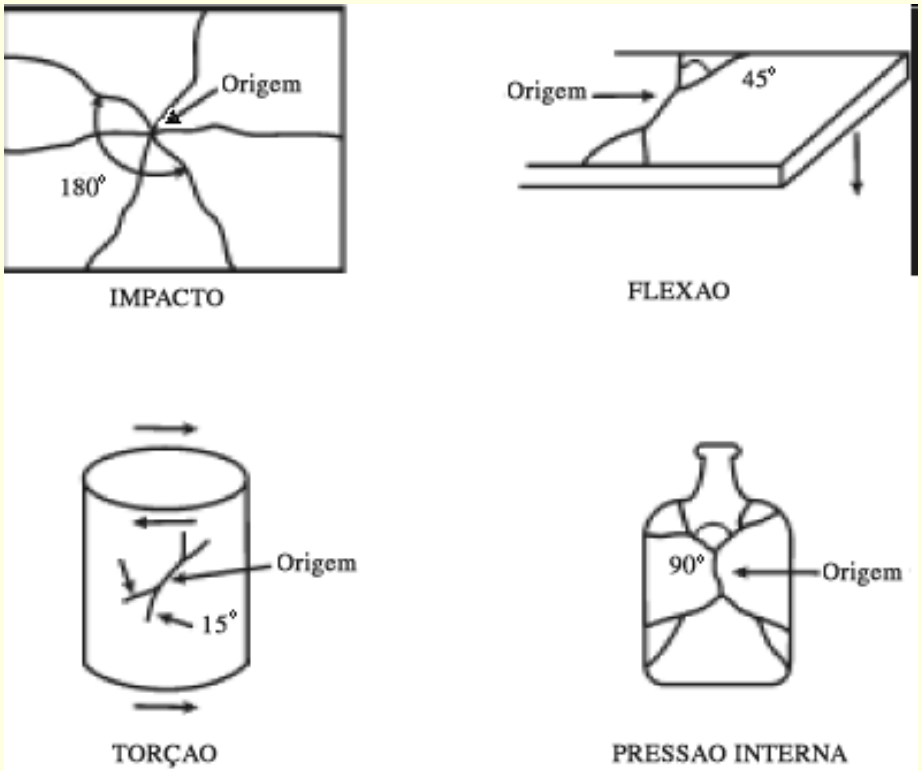
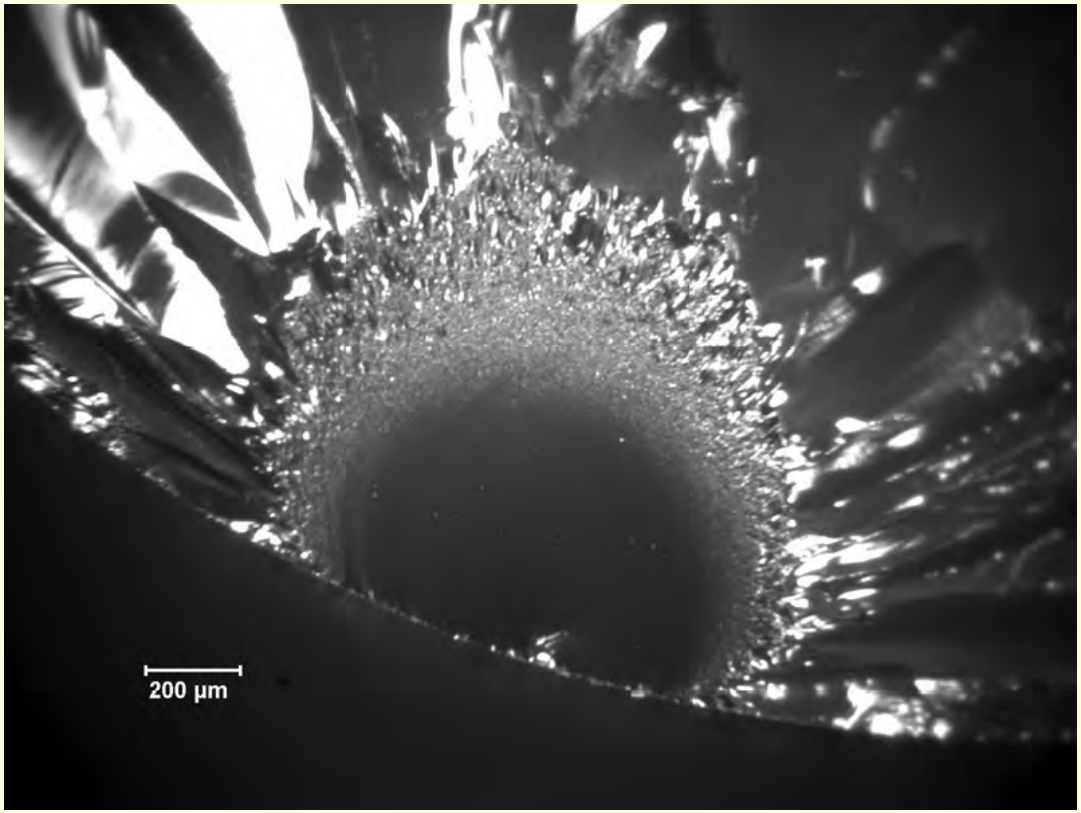


Figura 1: Relação existente entre o ângulo de ramificação das trincas e o tipo de carregamento que causou a fratura. (a) Impacto; (b) Flexão; (c) Torção; (d) Pressão interna.

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

- Fractografia de cerâmicas
  - Análise da fratura



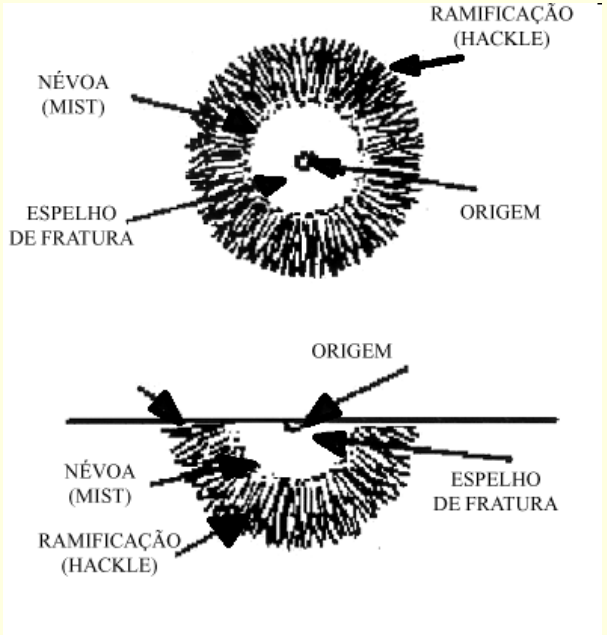
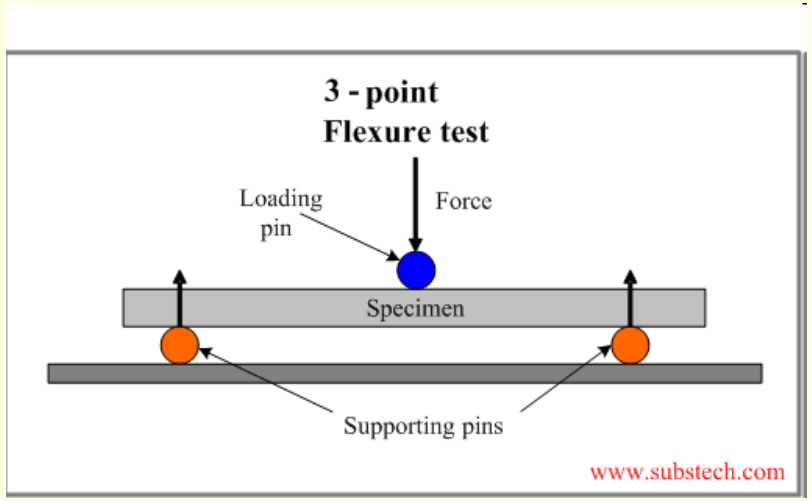


Figura 2: Representação esquemática de uma fratura típica em vidros. (a) Fratura com início no interior do vidro; (b) Fratura com início na superfície do vidro.

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

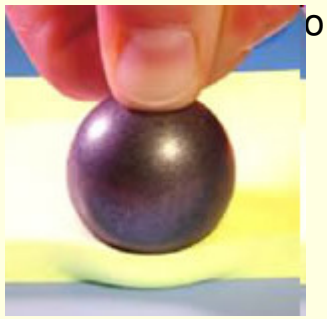
- Comportamento tensão-deformação
  - Módulo de ruptura - determinação diferente dos metais:



Dificuldade em preparar corpo de prova devido a geometria

Grande diferença entre testes de

o



  - Módulo elástico – ligeiramente superior a dos metais

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

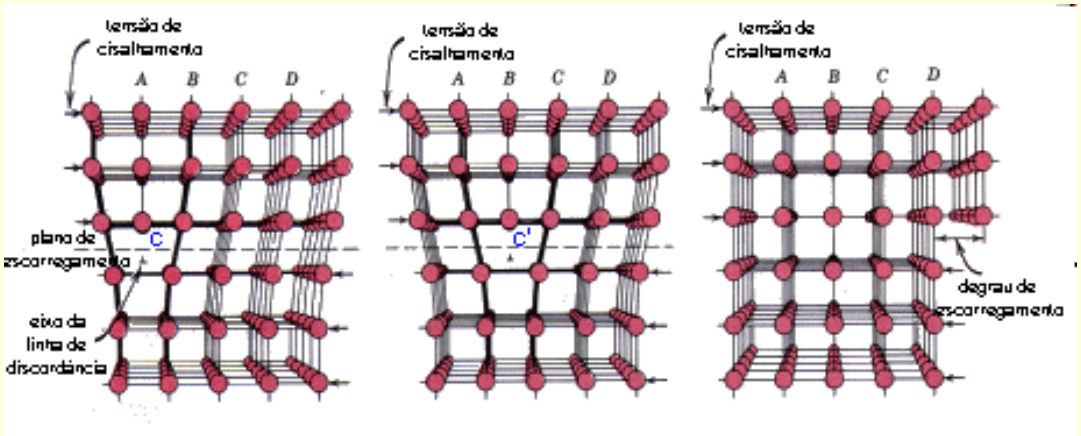
- Mecanismos de deformação plástica

Cerâmicas cristalinas

Deformação plástica → movimento de discordâncias

poucos sistemas de escorregamentos → razão da dureza e fragilidade cerâmica

forte ligação iônica → Força eletrostática restringe escorregamento



<u>metais</u>
eletricamente neutros

Tratamento térmico e melhora do desempenho 2”

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

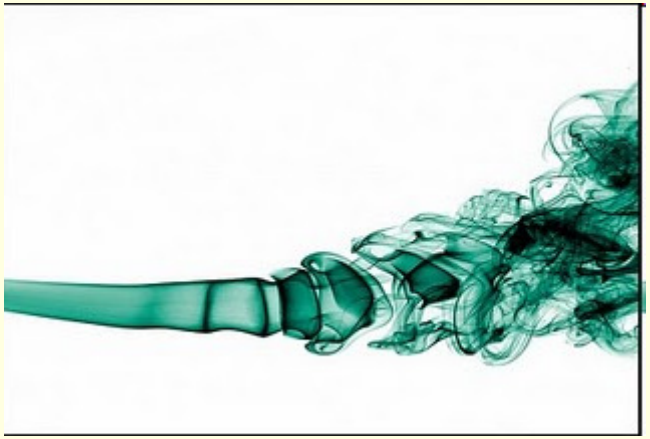
- Mecanismos de deformação plástica

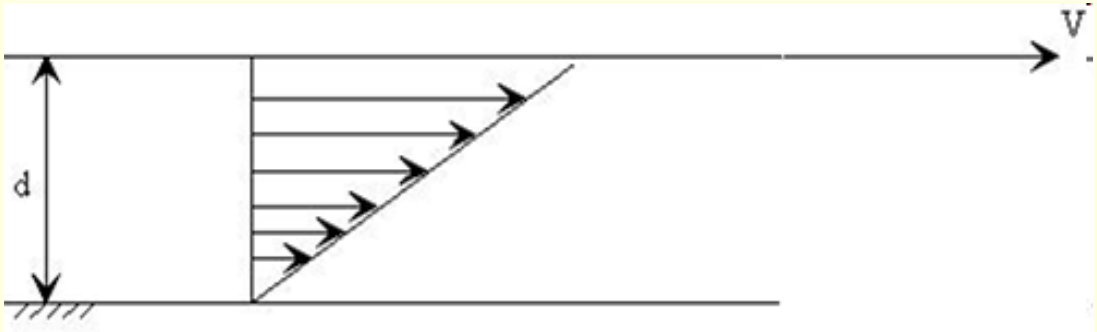
Cerâmicas não-cristalinas

Deformação plástica → não existe estrutura cristalina: escoamento viscoso (líquido)

Taxa de deformação proporcional a tensão aplicada.

Base do deslizamento: átomos e íons deslizam uns sobre os outros, quebrando e recompondo ligações





Viscosidade
função das ligações interatômicas

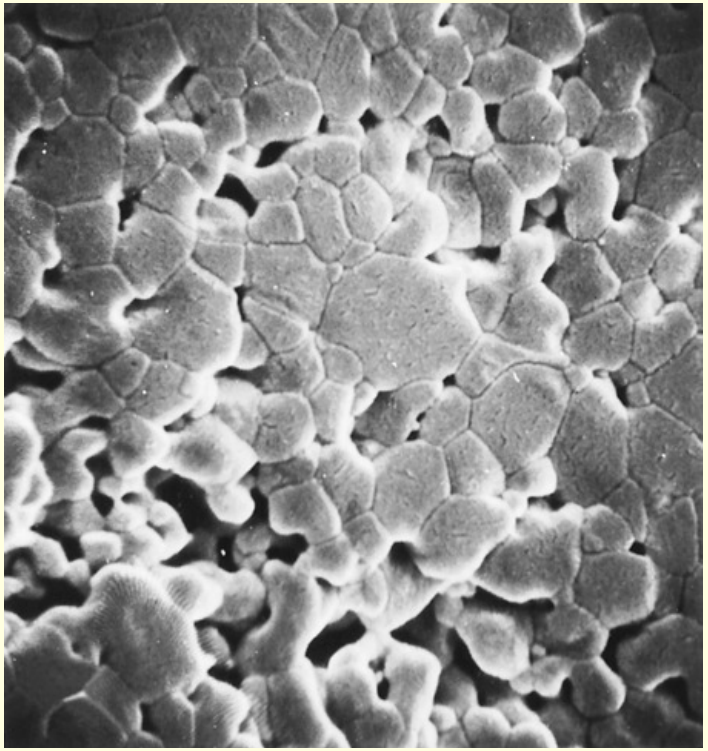
Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

Cerâmicas não-cristalinas

Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

- Influência da porosidade

Matéria prima cerâmica: particulado → mesmo após processamento há poros

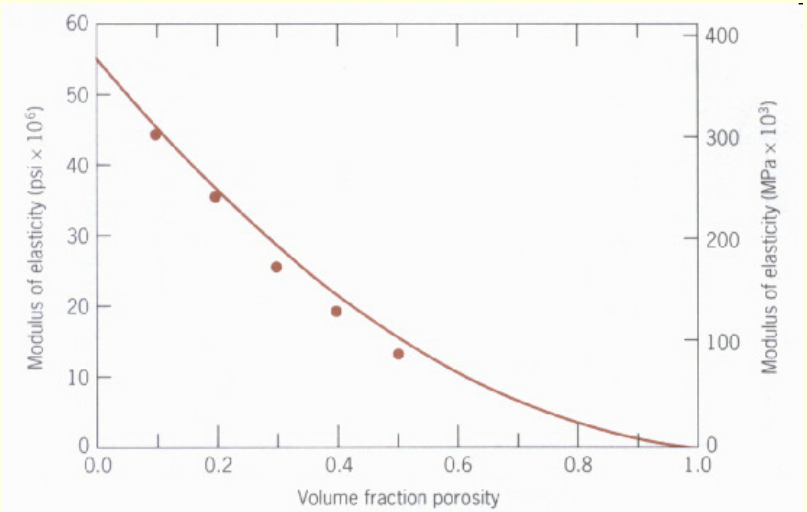


Óxido de alumínio compactado e sinterizado a 1700º.C por 6 minutos

Altos volumes de fração de porosidade diminuem:

Módulo de elasticidade

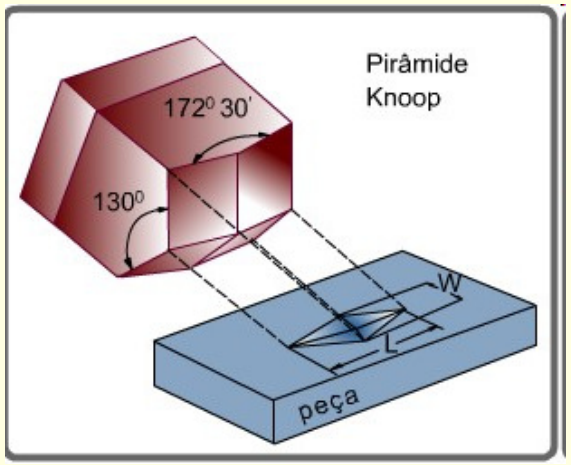
Resistência



Materiais cerâmicos – propriedades mecânicas

- Dureza – medida em Knoop

Materiais cerâmicos: + duros conhecidos → aplicações em abrasivos



Approximate Material Knoop Hardness	
Diamond (carbon)	7000
Boron carbide (B4C)	2800
Silicon carbide (SiC)	2500
Tungsten carbide (WC)	2100
Aluminum oxide (Al2O3)	2100
Quartz (SiO2)	800
Glass	550

Materiais abrasivos

Knoop acima de 1000

ROCKWELL Cone 120° com raio r = 0,200 mm

VICKERS Pirâmide 148°7` ângulo de canto / 136° ângulo diedro

KNOOP romboedro com 130° ou respec. 172°30` ângulo de canto

BERKOVIC pirâmide de 3 lados (Tetraedro)

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Características físicas

Metais → grandes diferenças 1” → Cerâmicas

método de fabricação

Fundição

Conformação (deformação plástica)

Etc.....

Ponto de fusão alto (não dá para fundir)

Frágil (não dá para conformar)

Classificação dos materiais cerâmicos com base na aplicação

vidros

produtos de argila

refratários

abrasivos

cimentos

cerâmicas avançadas

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Vidros: cerâmicas familiares não cristalinas (silicatos + óxidos)

→ transparente e de fácil fabricação

Propriedades

Não há estado sólido ou líquido e sim maior ou menor viscosidade

viscosidade → função da temperatura

Temperaturas características do vidro:

de transição vítrea – abaixo dela o material é considerado vidro

de fusão – acima o vidro é considerado líquido

de amolecimento – vidro é manuseado sem grandes alterações dimensionais

de trabalho – vidro pode ser trabalhado facilmente

de recozimento – alívio rápido de tensões (duração 15”)

de deformação – abaixo o vidro fratura

vidros

Materiais cerâmicos

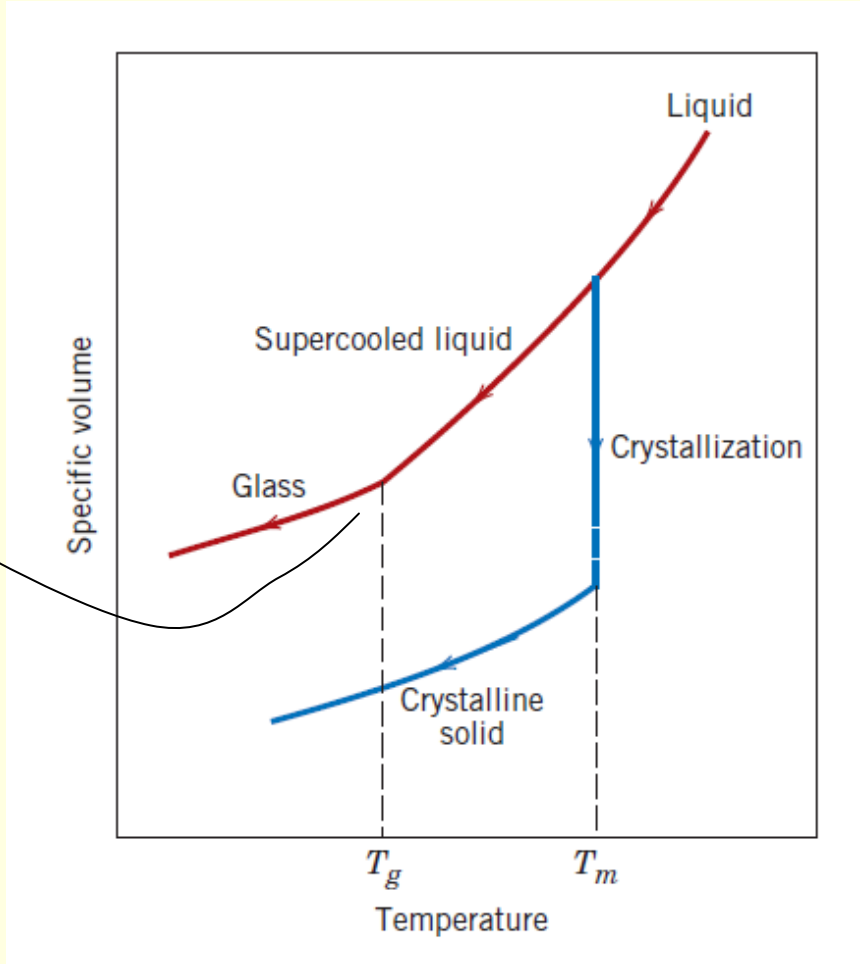
aplicações e processamento

Temperaturas de transição do vidro

Líquido superresfriado

Temperatura de transição vítrea (Tg)

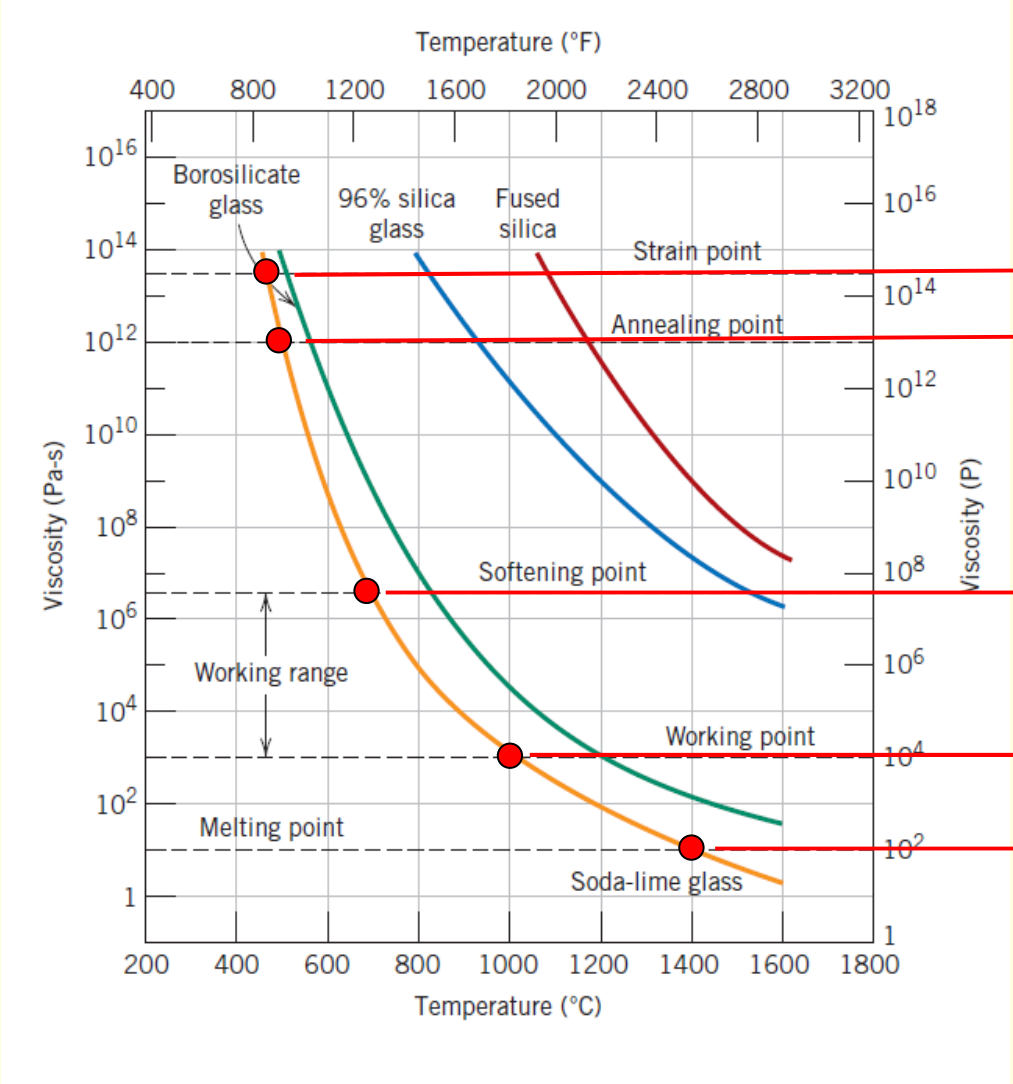
vidro



vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento



Ponto de transição vítrea (abaixo é vidro)

Ponto de recozimento (alívio de tensões 3”)

Ponto de amolecimento (manuseio difícil)

Ponto de trabalho (fácil manuseio)

Ponto de fusão

vidros

Materiais cerâmicos

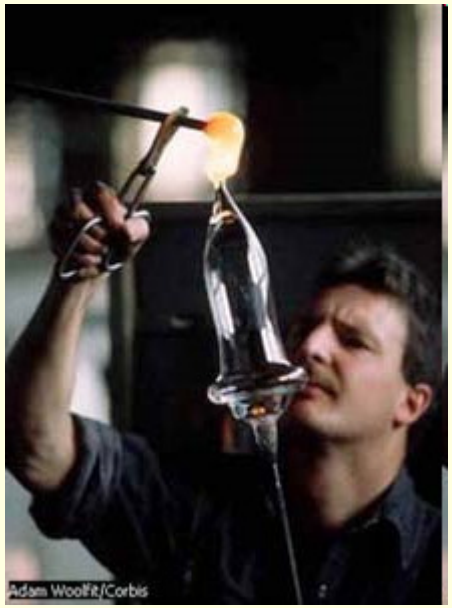
aplicações e processamento

Métodos de conformação

Vidro comum: sílica + soda + cálcia

(mistura e fusão) areia quartzítica barrilha (Na_2CO_3) calcário ($CaCO_3$)

Métodos de conformação



Quatro tipos:

Prensagem – produtos de paredes grossas e uso de prensas

Sopro – produtos ocos e uso de máquinas ou homem

Estiramento – produção de laminados

Fibra de vidro contínua – produtos em filamentos

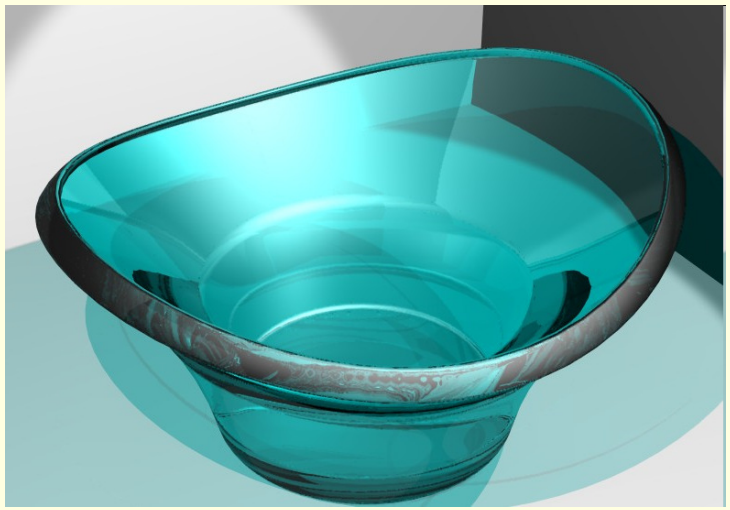
vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação - prensagem

- Produção de peças de paredes grossas como pratos e tigelas
- Usa-se molde em fofo(ferro fundido) aquecido

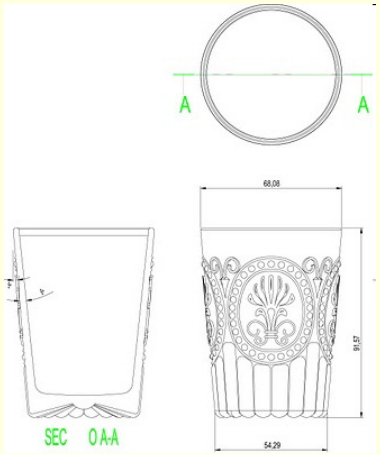


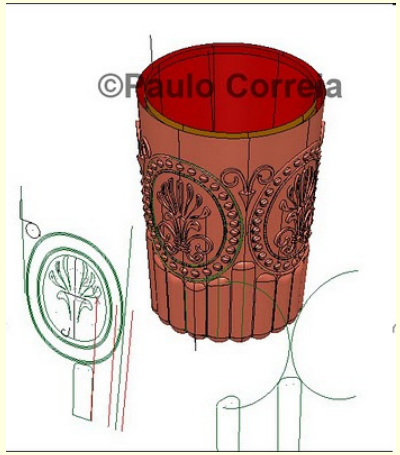
vidros

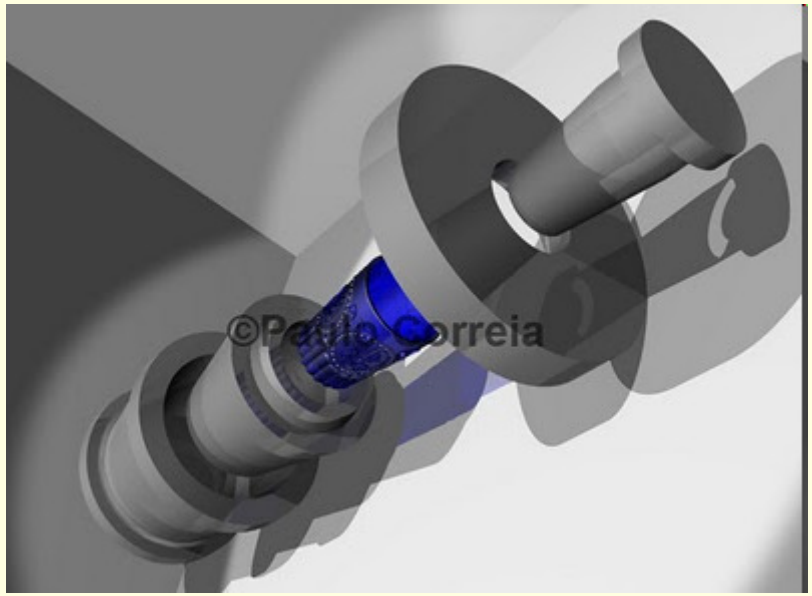
Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação – prensagem (etapas de produção do copo)







vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação - prensagem

Fabricação de prato cerâmico 1”

vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação - sopro

- Produção de materiais de geometria complexa
  - Garrafas
  - Vidraria para perfumes
  - Lâmpadas

Etapas:

Pré forma de partida

Conformação mecânica

Sopro

Desmolde

Produção de garrafas de vidro 2”

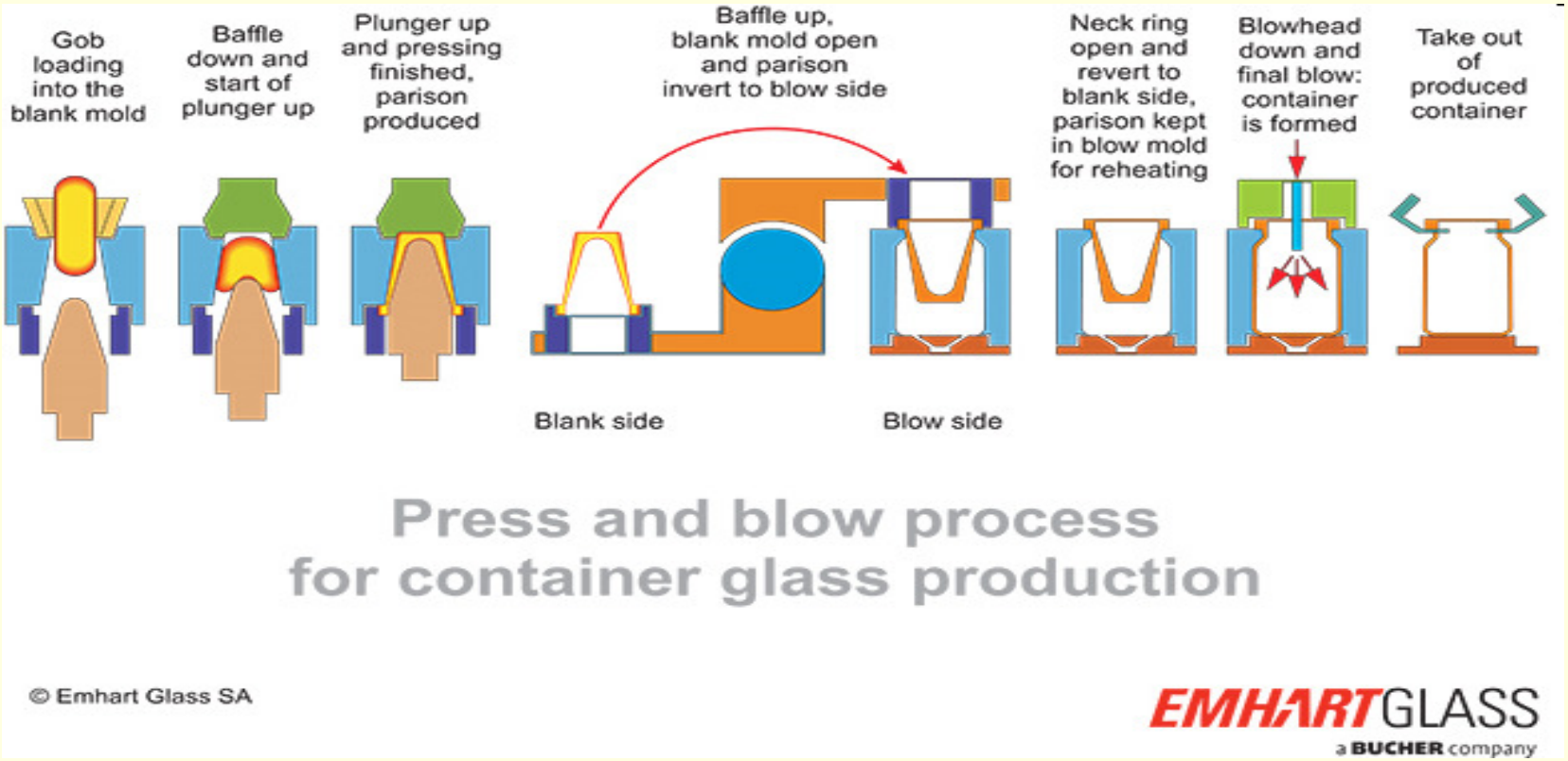
vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação - sopro

Etapas: Pré forma de partida - Conformação mecânica – Sopro - Desmolde BOCA LARGA



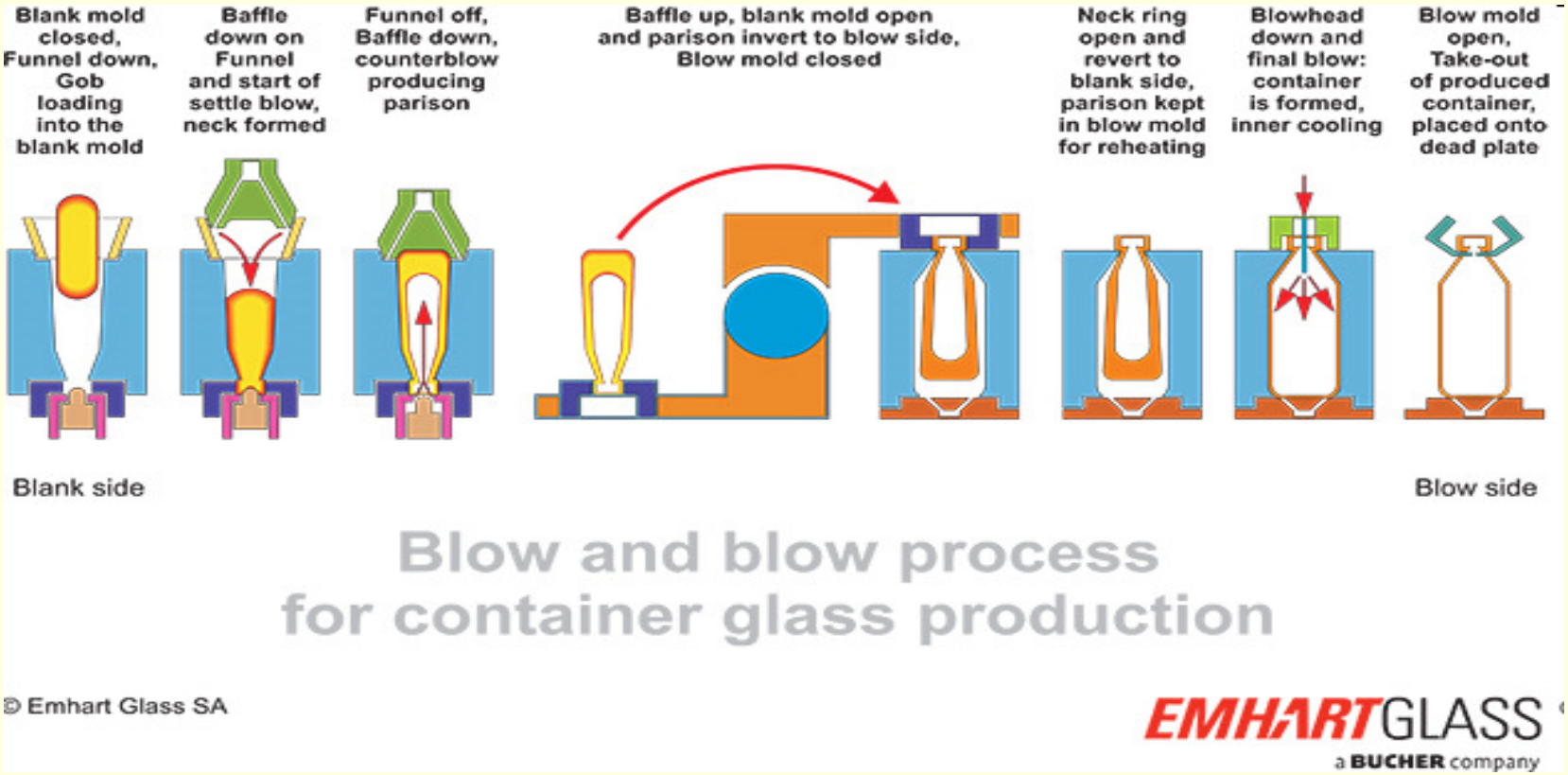
vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação - sopro

Etapas: Pré forma de partida - Conformação mecânica – Sopro - Desmolde BOCA ESTREITA



vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação – sopro (conformação seguida de sopro)

vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação - estiramento

Peças longas e seções constantes

- Produção de vidros planos e contínuos
  - Portas grandes
  - Para brisas

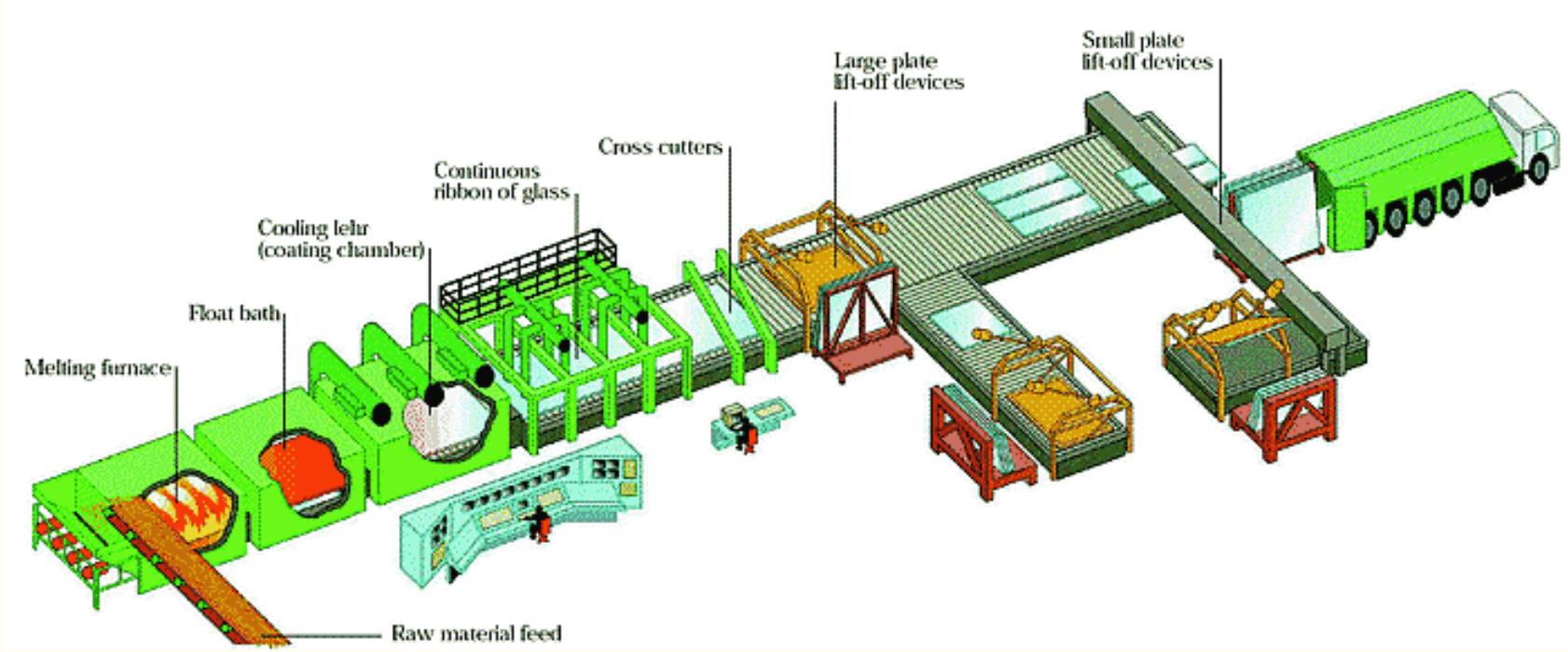
vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação – estiramento (Processo de fabricação de Vidro Float)

(desenvolvido pela Pilkington em 1952)



Vidro processo de floating 10”

Como se hace el vidrio 6”

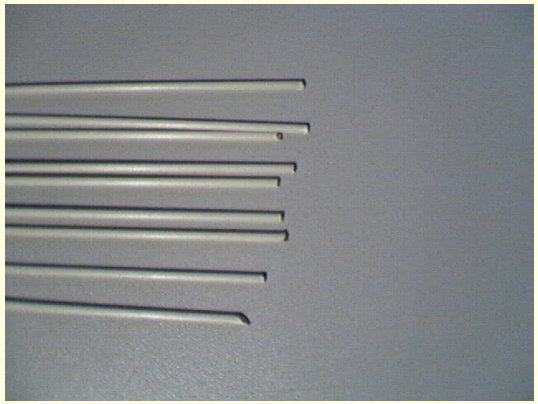
Materiais cerâmicos

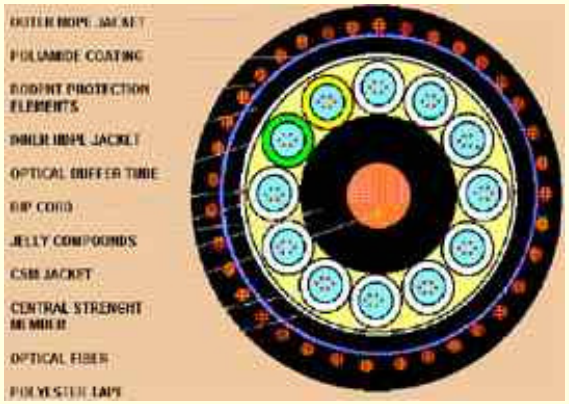
aplicações e processamento

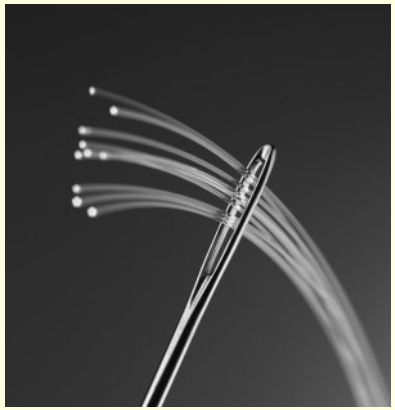
Conformação – fibra de vidro contínua

Produção de fibras de vidro

- Fibras de vidro de alta resistência mecânica
- Fibras de vidro óptico
  - Núcleo (sílica de alta pureza)
  - Camada sílica (cladding)
  - Camada protetora (coating ou buffer)
  - Malha protetora (fibras de Kevlar) e outra
  - Malha plástica (sela o cabo)





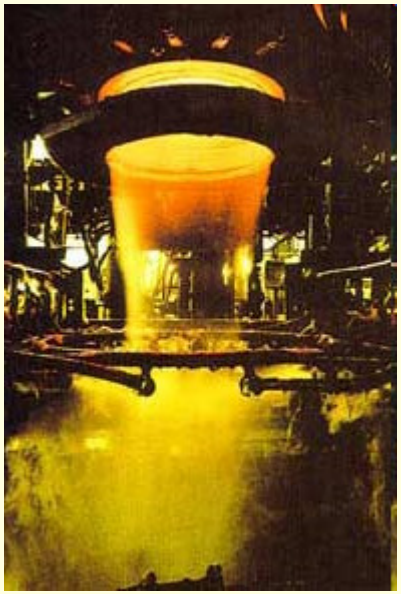


vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Conformação – produção de fibra de vidro contínua



Produção de lã de vidro

Vidro líquido e, recipiente em rotação atravessa minúsculos furos e caem, esfriando e recebendo cobertura protetiva. Caem entrelaçados sobre esteira metálica que os leva ao forno, comprimindo-os por outra esteira e formando a lã de vidro.

Produção de fibra de vidro 2”

Produção de fibra de vidro

Vidro líquido aquecido passa por minúsculos orifícios ao fundo de bulbo de platina e é estirado mecanicamente até ficar com 8 a 25 microns de diâmetro. Recebe protetivo polimérico (encimagem) e enrolada e levadas ao forno. Após poderão ser transformadas em fios, tecidos, fibras, etc.

vidros

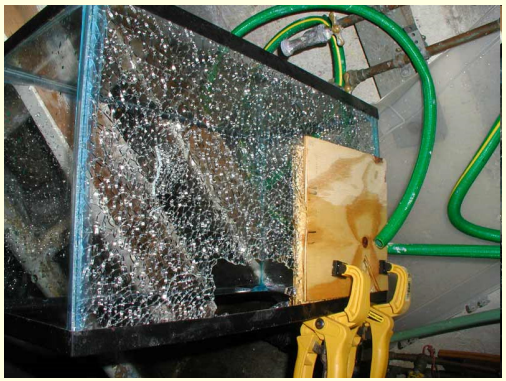
Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Tratamentos térmicos

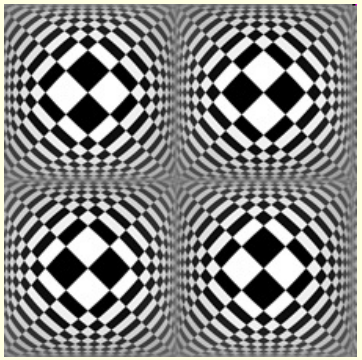
Recozimento

Em função da *grande diferença da taxa de resfriamento do vidro* (ext. e int), ***tensões internas*** se apresentam podendo levar a fraturas denominadas de ***choque térmico***. O recozimento é o processo de elevar o material a ***temperatura de recozimento*** e resfriá-lo lentamente, para eliminar ou diminuir tais tensões.



Revenimento

O revenimento térmico tem a função de aumentar a resistência mecânica do material através do desenvolvimento de ***tensões superficiais residuais compressivas***. O processo ocorre em duas etapas: **a** - vidro aquecido acima de Tg mas abaixo da temp. de amolecimento e **b** – resfriado rapidamente, por jato de ar ou óleo até temp. ambiente.



Materiais cerâmicos

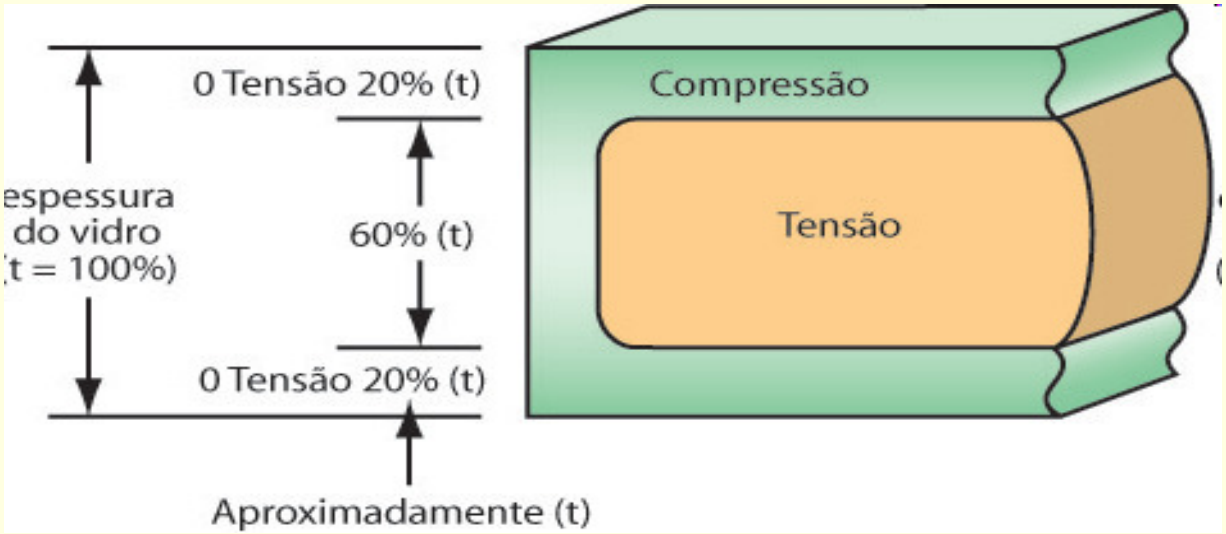
aplicações e processamento

Tratamentos térmicos – processo de revenimento

Revenimento

O processo de revenimento eleva a temperatura do material e resfria apenas sua superfície rapidamente.

Resultado: superfície encolhe sofrendo contração e o interior resfria lentamente, tracionando a superfície para dentro e sendo tracionada para fora igualmente.



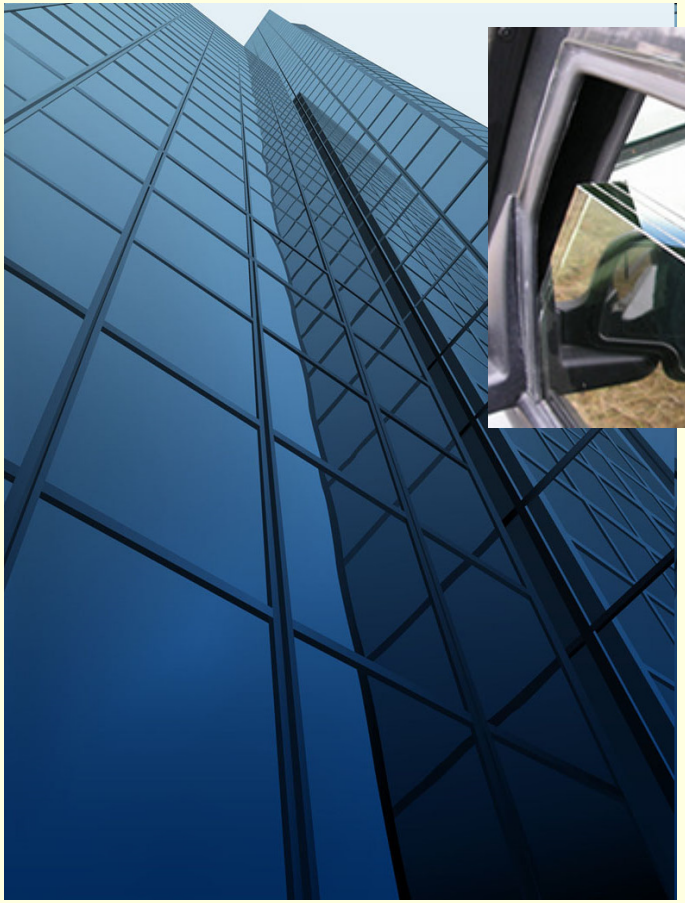
Vidro temperado curvo 2”

vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Tratamentos térmicos – vidros revenidos (temperados)



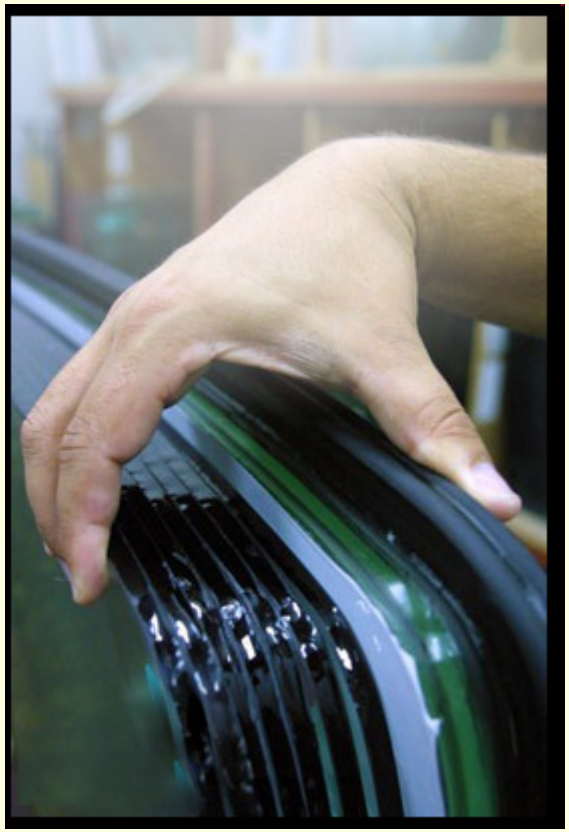
uperficiais em vidros revenidos

tensão superficial de compressão
sionar a trinca para propagá-la

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Blindagem de vidros



vidros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Vitro cerâmicos (material cristalino – processo de devitrificação)

Vidro comum → Não cristalino → Transparência

↓

Processo de devitrificação

↓

Cristalino (policristalino) → Vitro cerâmcos

Propriedades:

Livre de tensões residuais

Material finamente granulado (isento de poros)

Baixo coeficiente de expansão térmica (não experimenta choque térmico)

Facilidade de produção e processamento

Aplicações:

Louças de forno estufa; louças de mesa, isoladores, etc.

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Características gerais dos produtos de argila

Matéria prima: abundante, barata e de fácil conformação

Classificação:

produtos estruturais de argila (telhas, tijolos, etc)

louças brancas – tornam-se brancas após a queima (porcelanas, sanitários, etc.)

Características:

hidroplasticidade: com água tornam-se plástica

faixa larga de temp. de fusão: pçs podem ser produzidas sem fusão completa mantendo a forma original

estrutura da Caolinita (em camadas): qdo água é adicionada, se ajusta entre as camadas (filme fino), explicando a plasticidade

Composição: são 3 os principais constituíntes

argila (50%)

quartzo (25%) – barato, enchimento, duro e não reativo

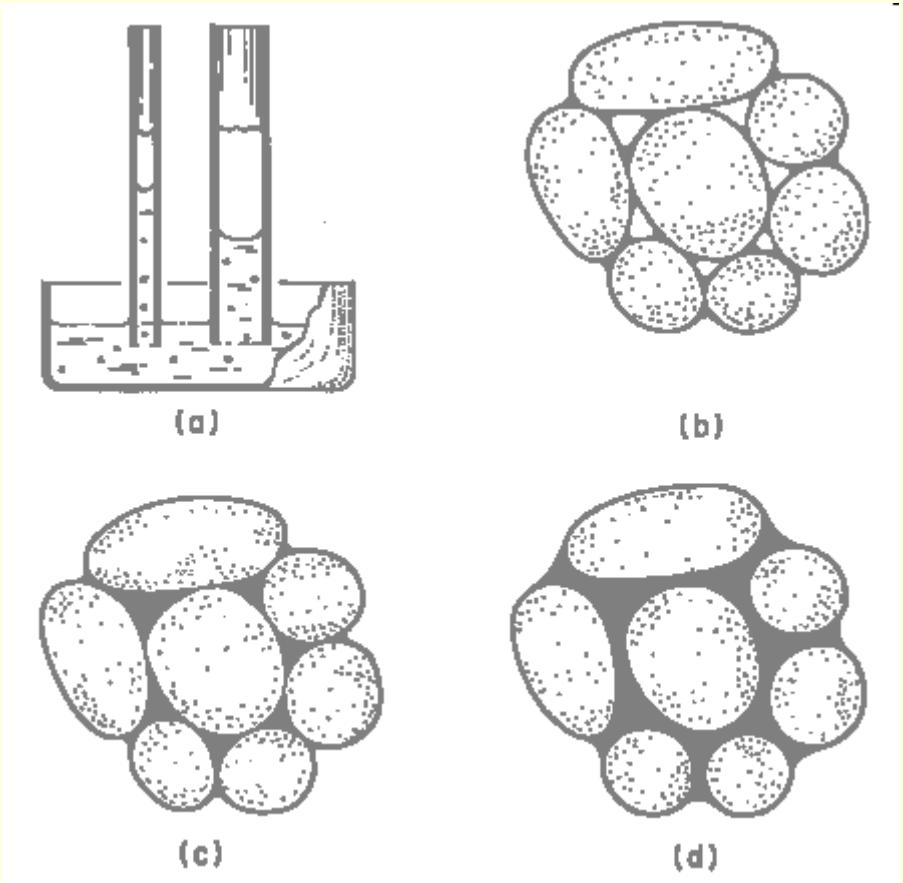
feldspato (25%) - fundente

Porcelana típica

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

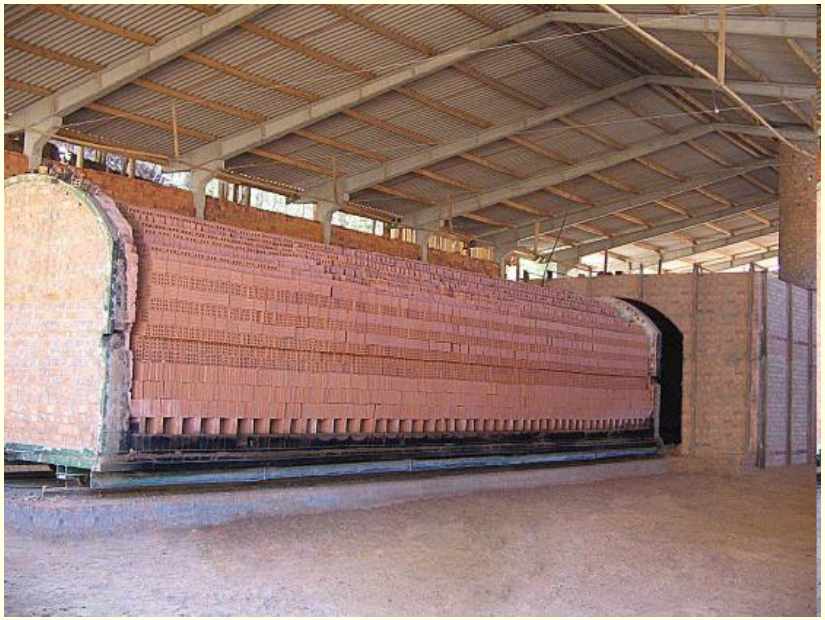
Produtos de argila - hidroplasticidade



Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Produtos estruturais de argila



Hidroforming produção de tijolos manual 2”

Hidroforming produção de tijolos automatico 3”

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Produtos de argila – louças brancas

produtos de argila

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Técnicas de fabricação

Pré fabricação: moagem → peneiramento ou classificação granulométrica

Conformação: há duas técnicas básicas

conformação hidroplástica – com adição de água e seguido de extrusão

moldagem em barbotina – lama de alta densidade vazado dentro de molde poroso; pode ser classificada de duas formas

moldagem sólida – lama vira sólido no molde e se descola

moldagem por drenagem – lama seca parcialmente e restante é retirado

Secagem e queima

secagem – remoção do líquido

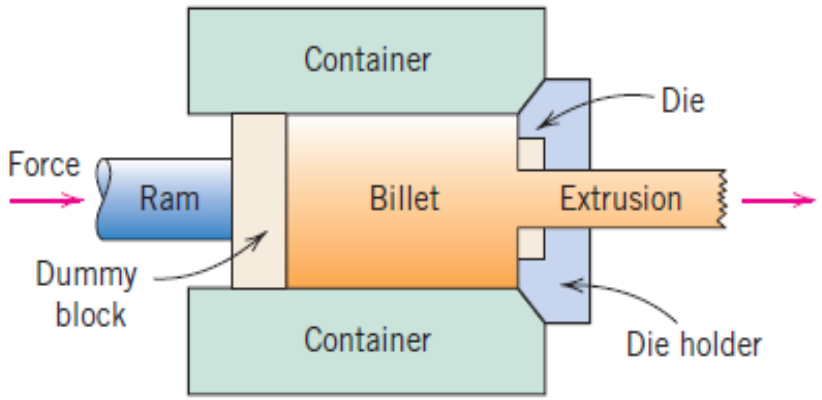
queima – melhora a densidade e a resistência. O material seca mas sem queimar

produtos de argila

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

conformação hidroplástica



(c)

Hidroforming cerâmica moderna 10”

Hidroforming indústria Pauluzi 4”

produtos de argila

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

moldagem em barbotina (a – moldagem sólida, b – moldagem por drenagem)

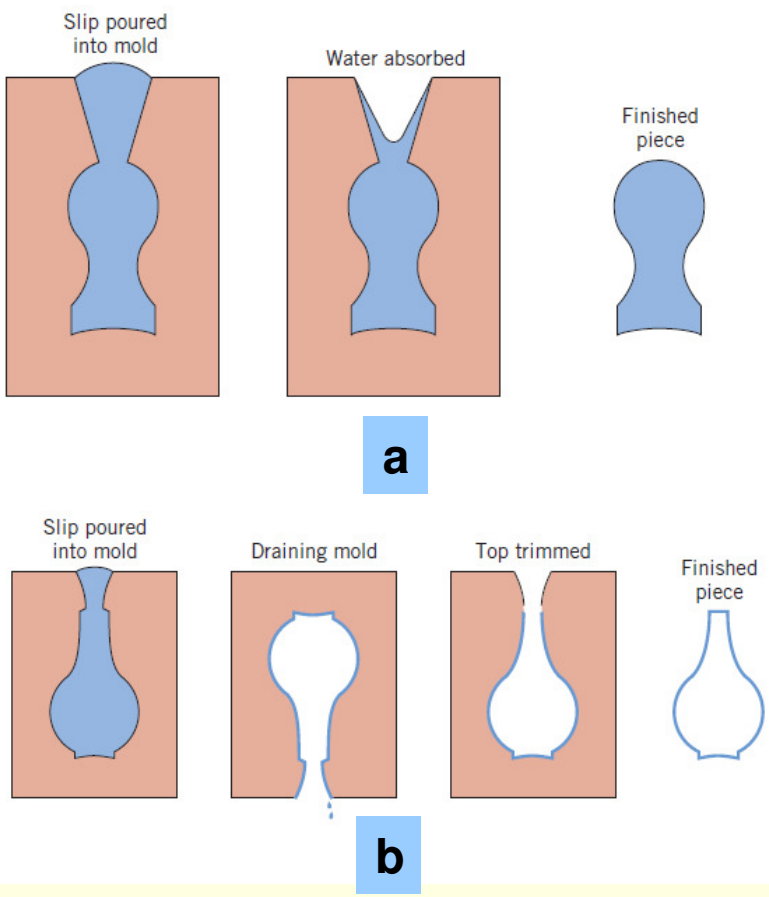


Figure 13.12 The steps in (*a*) solid and (*b*) drain slip casting using a plaster of paris mold. (From W. D. Kingery, *Introduction to Ceramics.* Copyright © 1960 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

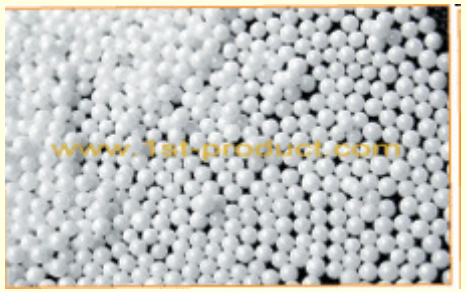
secagem do material cerâmico

Cuidado

Taxas de remoção de água ↑ superfície

Taxas de remoção de água ↑ interior

→ contração



Superfície – processo de evaporação

Interior – processo de difusão das moléculas para a superfície

Perigo

Taxas de remoção de água da superfície > que a do interior

superfície secará mais rápido e formará defeitos

controle: temperatura / umidade / vazão do ar

característica: quanto mais água tiver, mais encolherá

produtos de argila

Materiais cerâmicos

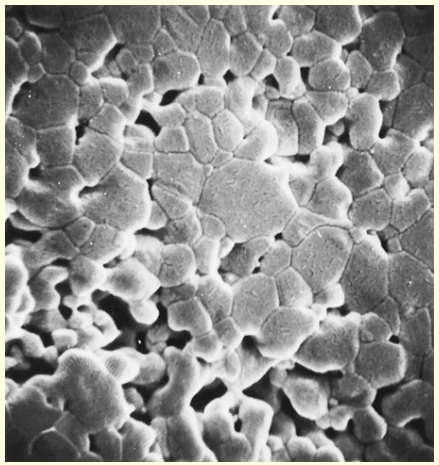
aplicações e processamento

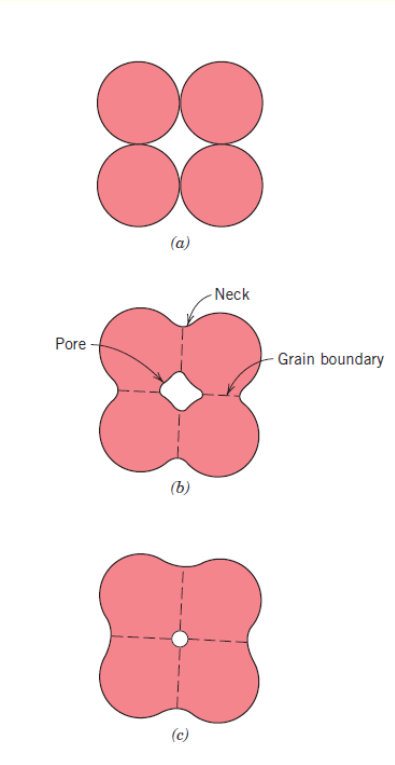
queima do material cerâmico

Processo de queima → temperatura entre 900 e 1400º.C → vitrificação

Vitrificação: líquido escoa para dentro dos poros – matriz vítrea densa e forte

Cuidado - a vitrificação completa é evitada pois corpo pode tornar-se macio e entrar em colapso





refratários

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Refratários: classe cerâmica que suporta altas temperaturas sem fusão

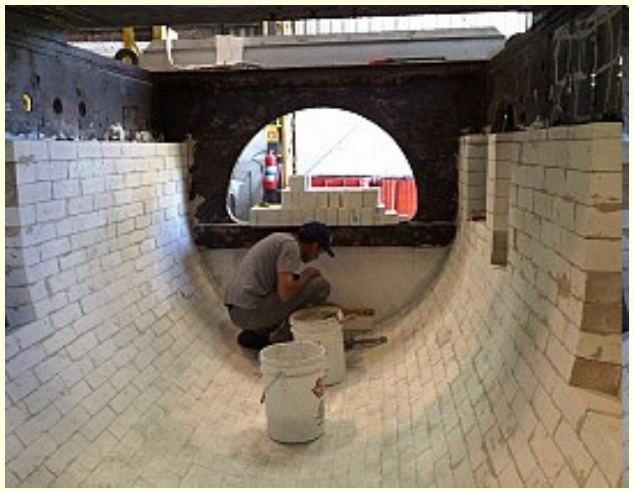
Características:

resiste a altas temperaturas sem sofrer fusão e nem decomposição; isolante térmico

Aplicação principal:

revestimento de fornos para metais (trabalha de 1400 a 1700º.C)

trabalha a temperaturas abaixo da sua de queima



Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

A porosidade nos refratários

controle

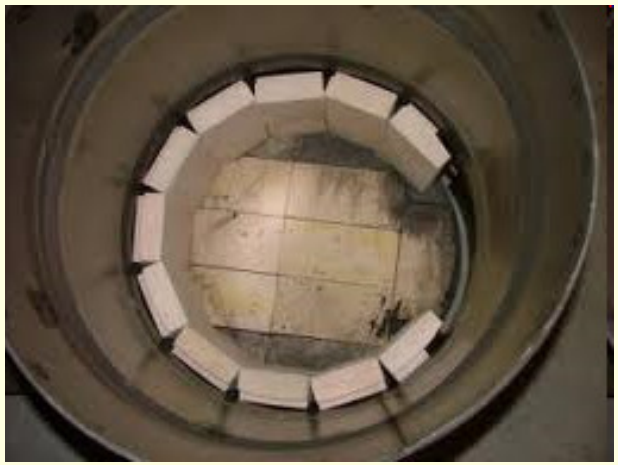
Porosidade baixa

Resistência mecânica alta

Resistência alta a ataque corrosivo

Resistência baixa a choque térmico

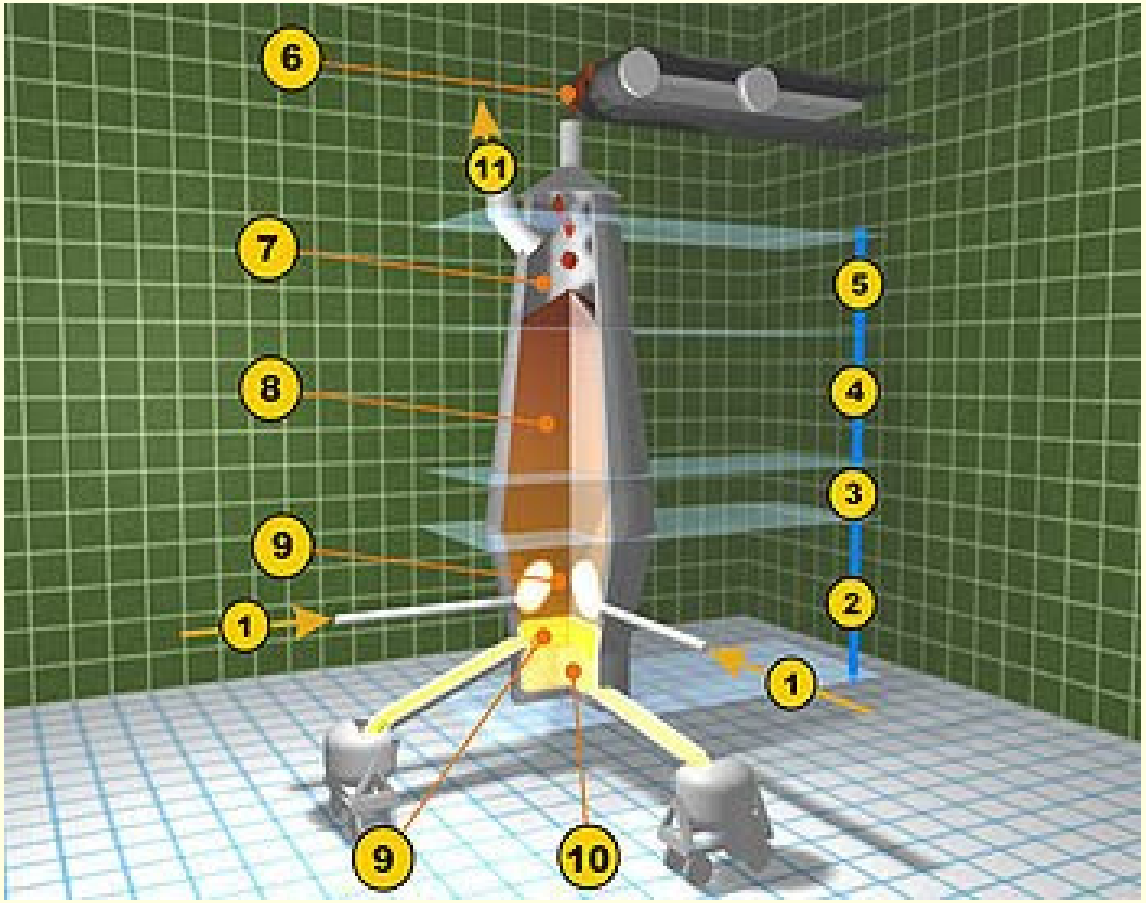
Isolamento térmico baixo



Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Refratários – revestimento de altos fornos



01.Fornalha Cowper
02.Zona de derretimento
03. Zona de redução de óxido ferroso
04.Zona de redução de óxido férrico
05.Zona de pré-aquecimento (garganta)
06. Alimentação de minério, pedra calcária e coque siderúrgico
07. Escapamento de gases
08. Coluna de minério, coque e pedra calcária
09. Remoção de escória
10. Ferro-gusa
11. Chaminé para escoamento dos gases liberados

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Tipos de refratários

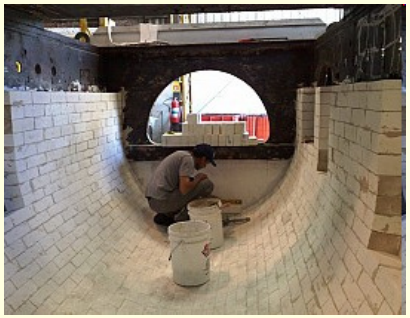
Silico-aluminosos	**construção de fornos** →	até 1587º.C sem liquefazer
De sílica	**uso em abóbodas de fornos de aços e vidro** →	até 1650º.C sem liquefazer
Básicos	**uso em fornos de aço** →	resistente a escória
Especiais	**material para cadinho, componentes int. de fornos – muito caro** →	óxido de alta pureza – quase sem poros

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Tipos de refratários

Silico-aluminosos → **construção de fornos**



De sílica → **uso em abóbodas de fornos de aços e vidro**

Especiais → **material para cadinho, componentes int. de fornos – muito caro**

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Técnicas de conformação cerâmica – prensagem de pó

Considerações:

semelhante a metalurgia do pó, mas não há deformação plástica como o metal

Aplicações:

cerâmicas eletrônicas e magnéticas e tijolos refratários

Características:

contém água ou ligante para a forma

compactação maximizada

espaços minimizados: partículas grandes + partículas pequenas

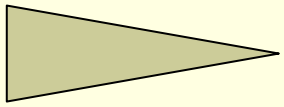
uso de lubrificante – partículas escorregarem na compactação

***Tipos de prensagem*: são de 3 tipos**

Uniaxial

Isostático a frio

Isostático a quente



sinterização

refratários

Materiais cerâmicos

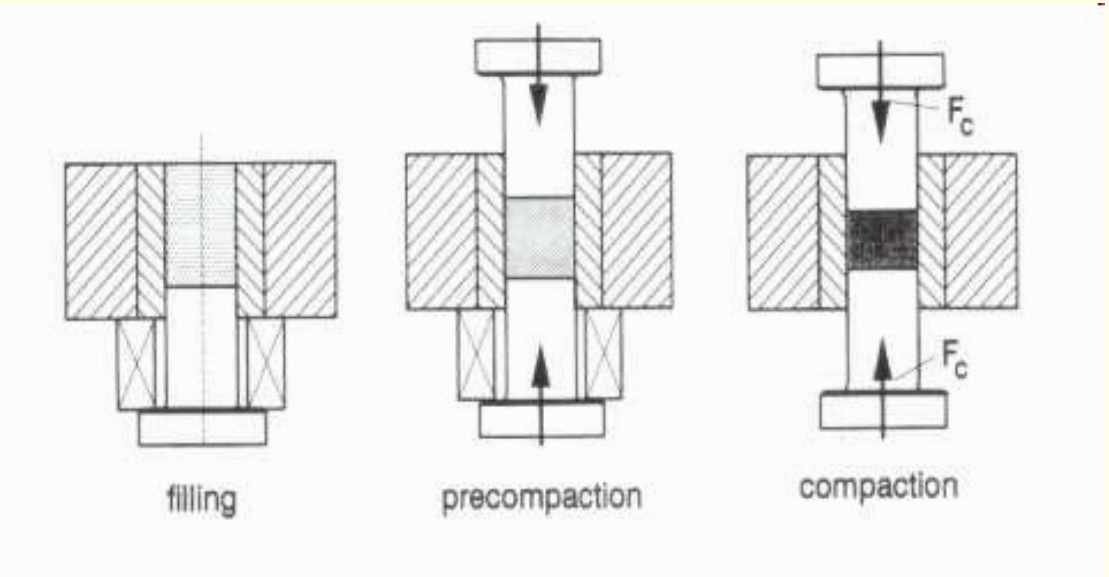
aplicações e processamento

Prensagem de pó – UNIAXIAL (a frio)

Característica: pressão de compactação em uma direção apenas

volume

custo



Próxima etapa: **sinterização** → contração → porosidade → res. mec.

Poros → poros circulares

refratários

Materiais cerâmicos

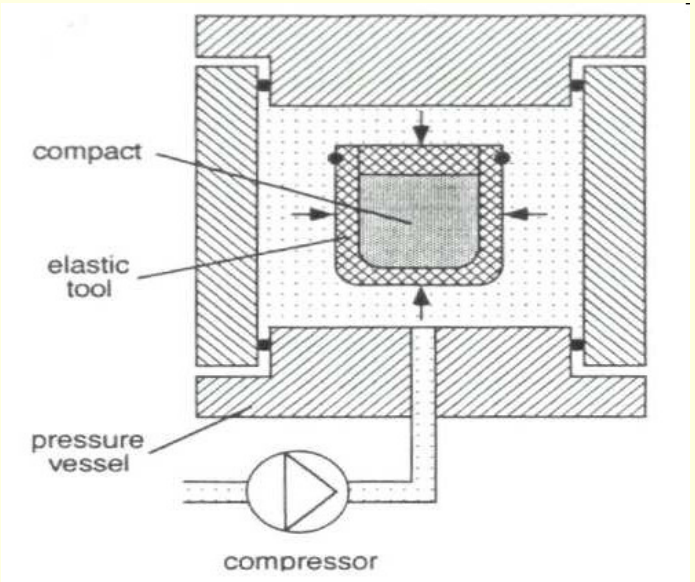
aplicações e processamento

Prensagem de pó – ISOSTÁTICA (a frio)

custo

volume

Característica: pó dentro de recipiente de borracha e imerso em líquido pressurizado
compactação em todos os sentidos



Próxima etapa: **sinterização**

refratários

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

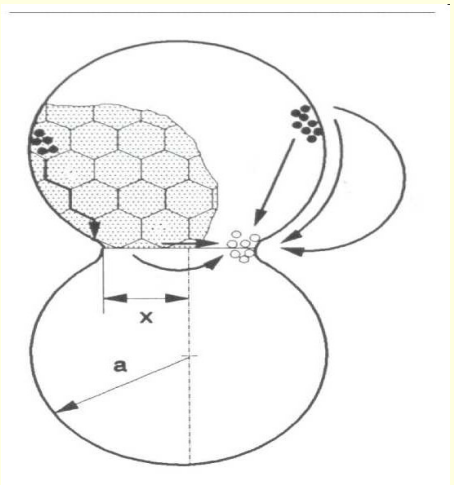
Prensagem de pó a quente

Característica: compactação é feita a altas temperaturas

Matrizes e moldes são muito caros !

volume

custo



Sinterização – seca ou líquida

abrasivos

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Abrasivos

Requisitos:

dureza ou resistência ao desgaste

tenacidade para não fraturar facilmente

refratariedade devido a altas temperaturas da fricção

Abrasivos revestidos:

pó abrasivo sobre superfície, como – papel, tecido, etc. Ex: lixa d`água

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Cimentos – materiais cerâmicos como cimento, gesso e cal

Função destes materiais cerâmicos → ligante a temperatura ambiente (cura)

Principal produto desta classe → Cimento Portland ou cimento hidráulico (usa água)

calcário

Como se faz o cimento 5”

O cimento 8”

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Reação do cimento adição de água – desempenho varia com a temp.

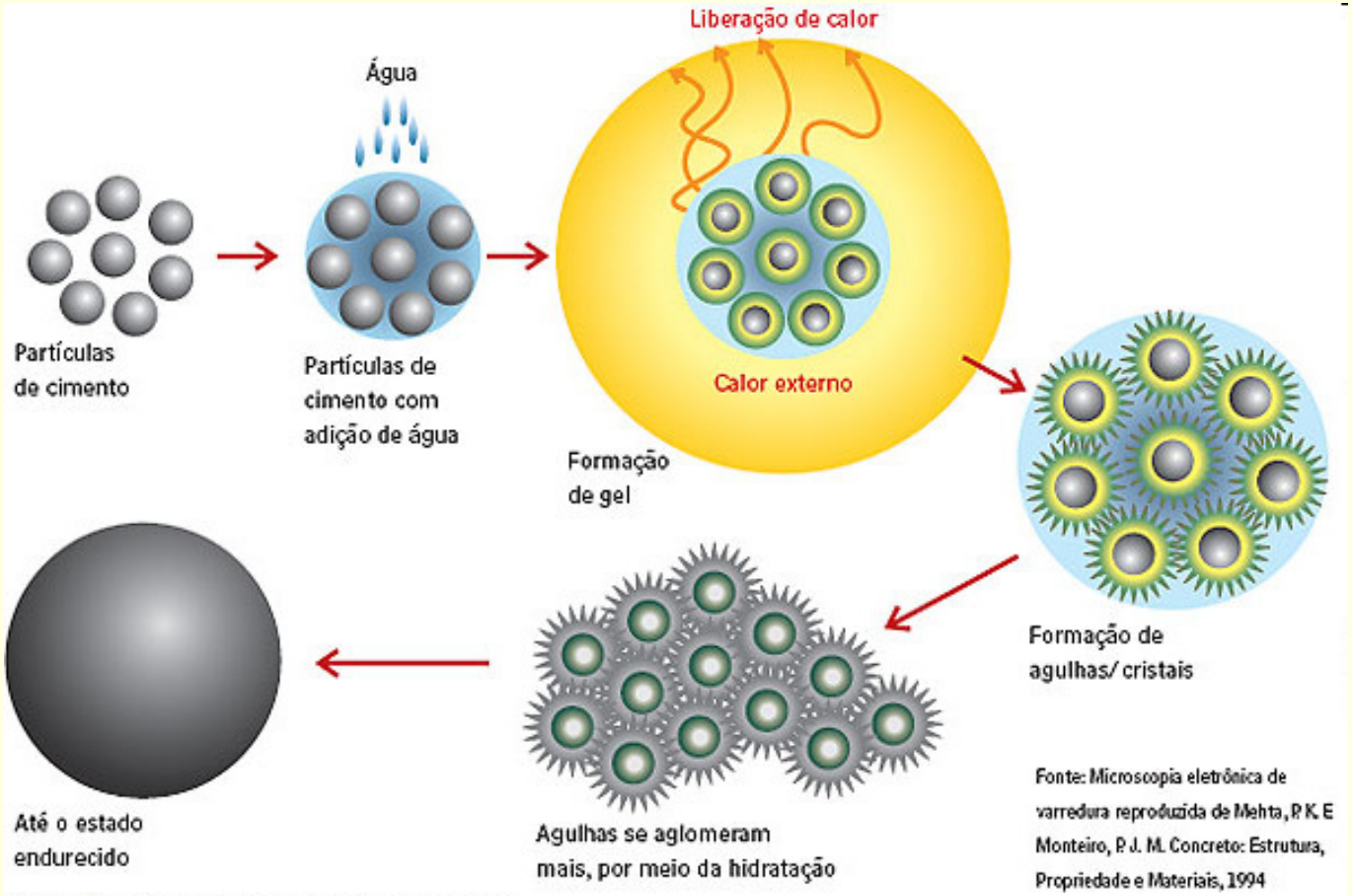


Figura 1 – Processo de aglomeração do cimento

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Processo produtivo do cimento Portland

Mina de calcário

Calcário e argila

Moídos e triturados

Forno rotativo a 1400º.C

Clinker

Moinho de bolas

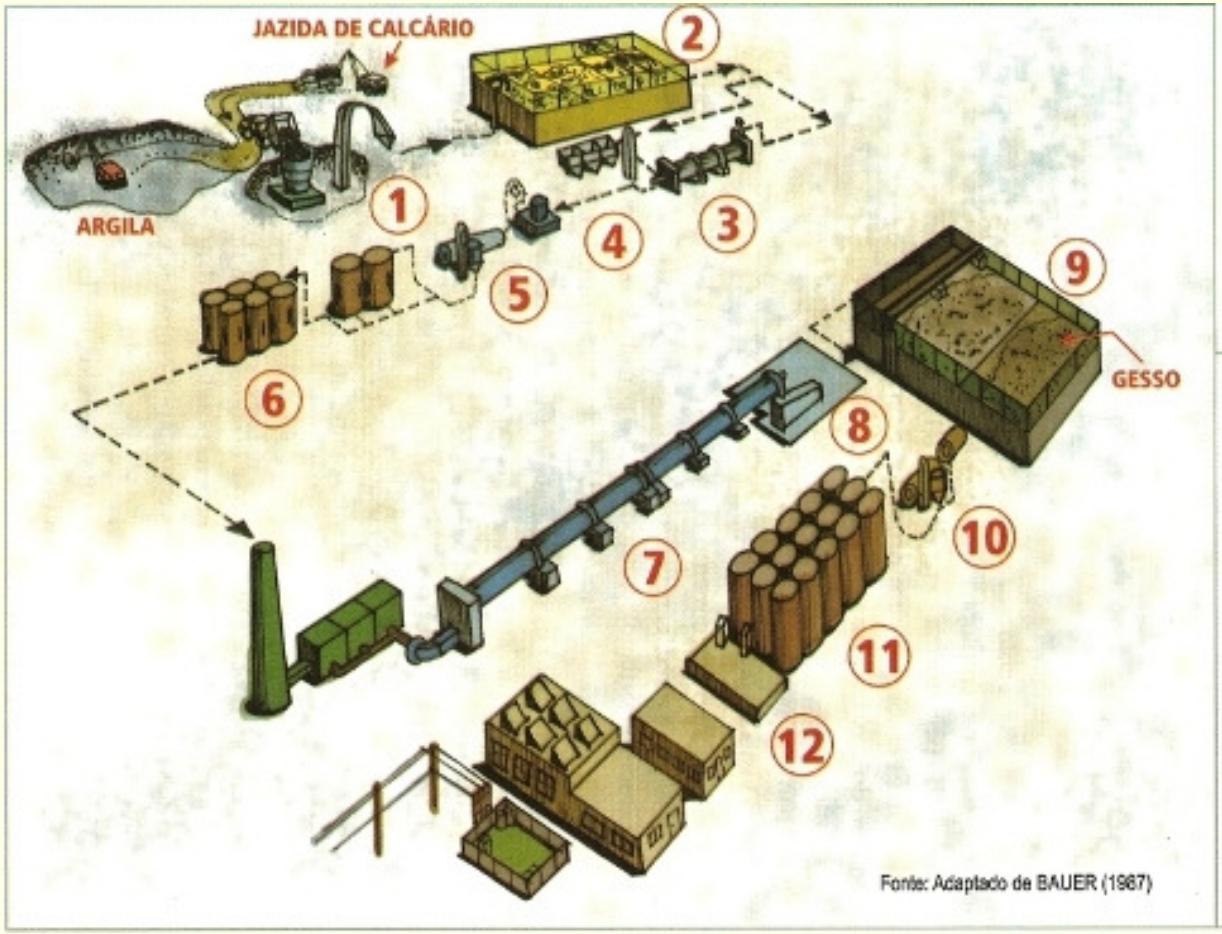
Adição de gesso – retarda a cura

Cimento

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Processo de produção do Cimento Portland



1. Britagem
2. Estocagem de matéria prima
3. Secagem de argila
4. Mistura e proporcionamento
5. Moedura
6. Silos do material cru
7. Queima no forno
8. Resfriamento do *clinker*
9. Estocagem do *clinker*
10. Moedura
11. Silos de cimento
12. Expedição

cerâmicas avançadas

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Cerâmicas avançadas – novas propriedades

A **Aplicações em máquinas térmicas**

Capacidade de suportar altas temperaturas de operação	Mais eficiência do combustível
Maior resistência ao desgaste e á corrosão	Menor perda por fricção capacidade de operar sem refrigeração
Menor densidade	Decréscimos de pesos dos motores
Desvantagem: disposição a fratura frágil e catastrófica	ZrO_2 aumenta de vol e cria tensões compressivas

cerâmicas avançadas

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Aplicações em máquinas térmicas

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Cerâmicas avançadas – novas propriedades

B **Armadura cerâmica**

Proteção de militares e veículos contra projéteis balísticos:

1 ou + placas cerâmicas combinadas com placas de retaguarda dúctil/macia

Placas frontais

Fraturam-se mas fraturam o projétil também

Placas de retaguarda

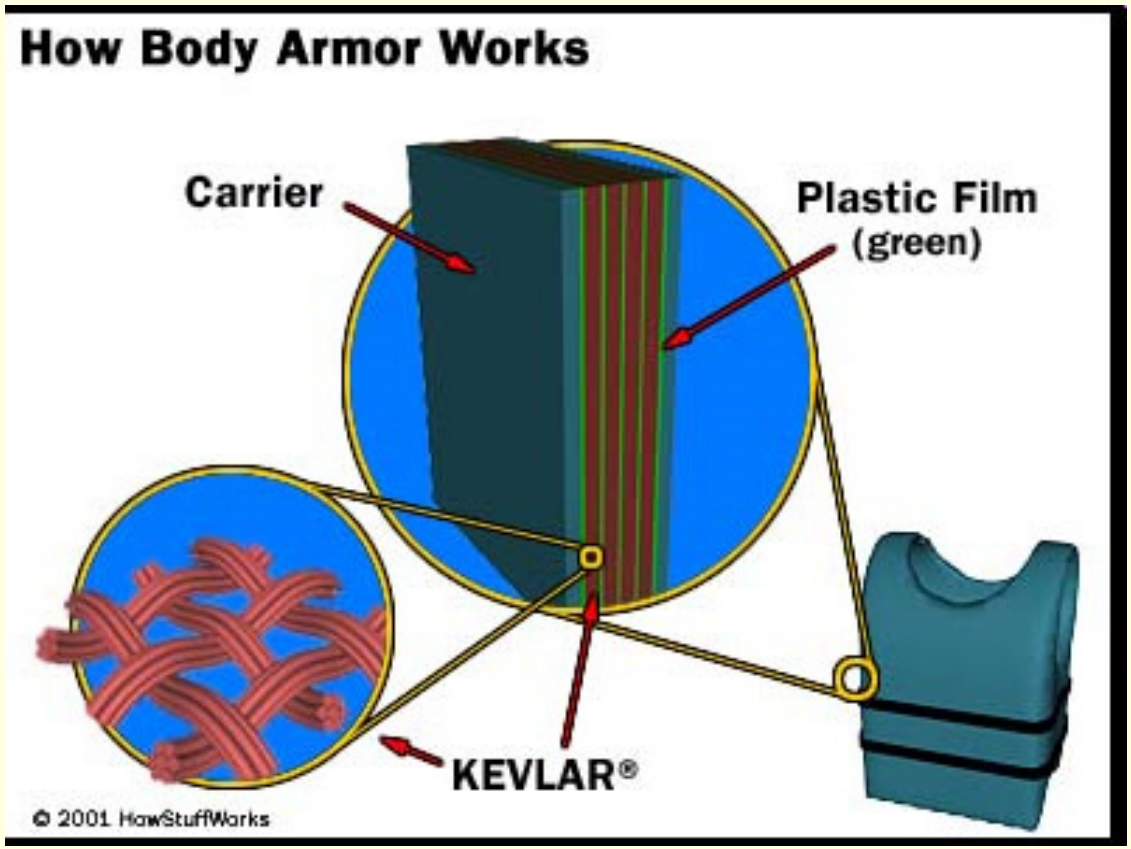
Absorvem energia cinética remanescente por deformação e impedem penetração do projétil e dos fragmentos cerâmicos

Matriz plástica com fibra sintética

Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Armadura cerâmica - kevlar



Materiais cerâmicos

aplicações e processamento

Armadura cerâmica - kevlar

Material de proteção 2”

How does Kevlar work? 1”

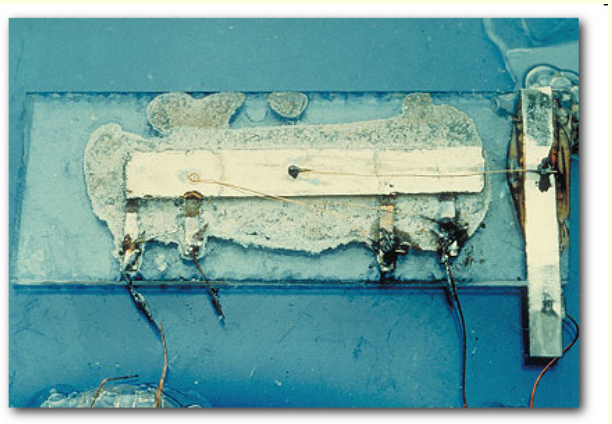
Materiais cerâmicos

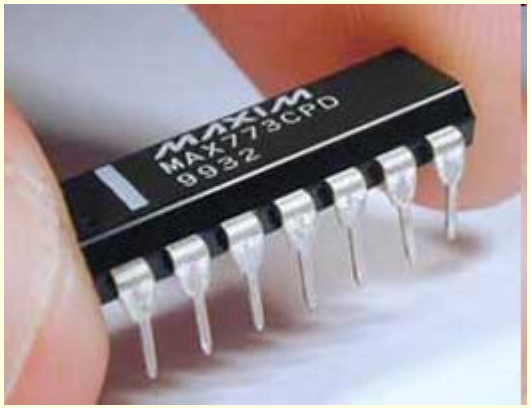
aplicações e processamento

Cerâmicas avançadas – novas propriedades

C **Embalagem eletrônica**

Embalagem de circuitos integrados (IC) – características de seu substrato:





Eletricamente isolante

Condutor térmico

↓

dissipador

Material indicado: ALN – nitreto de alumínio → Expansão térmica próxima a dos “chips” de silício