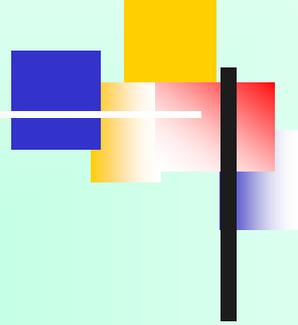


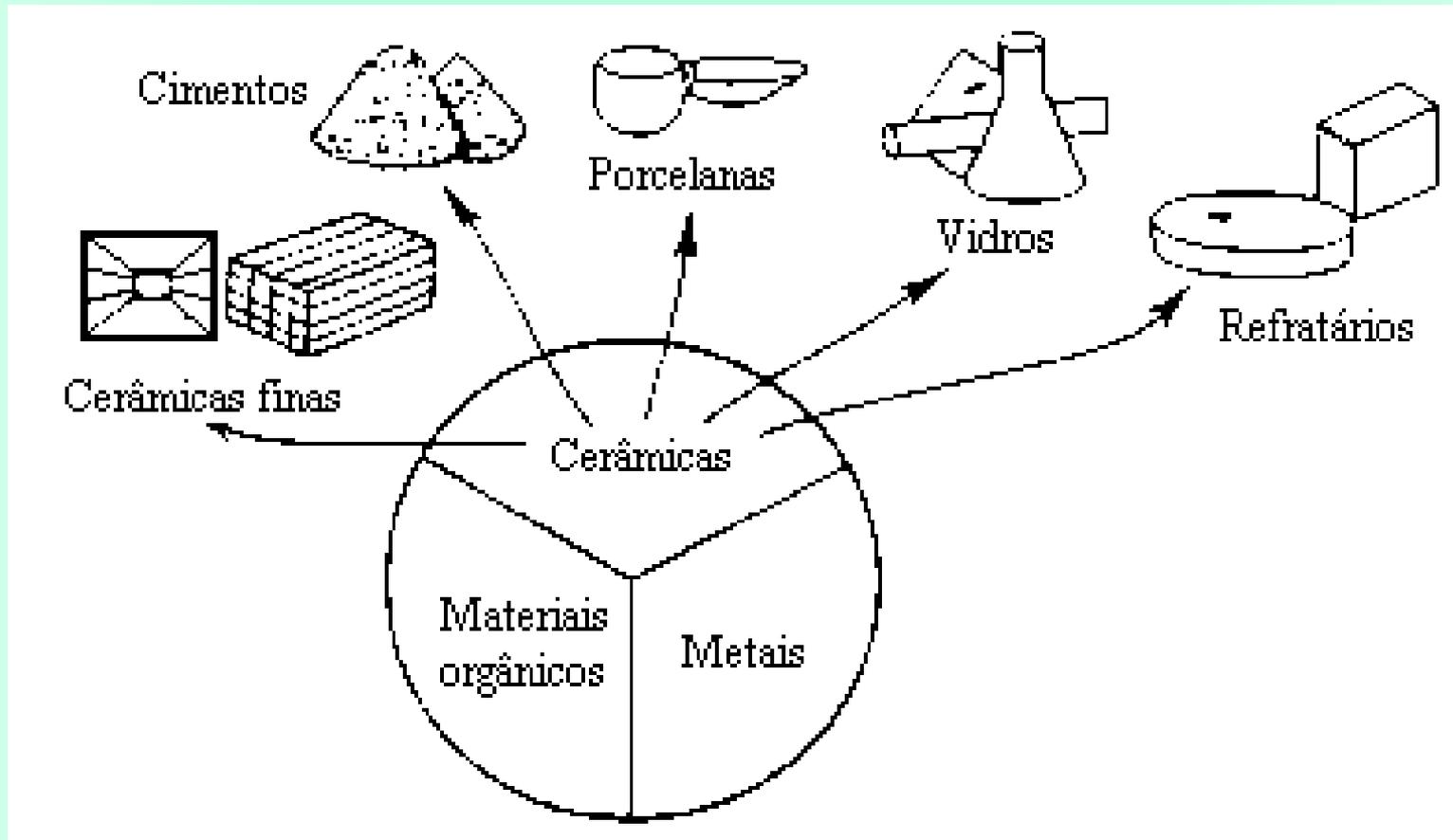
CERÂMICAS

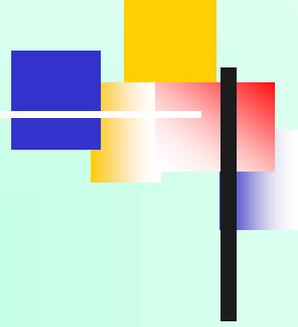
➤ As Cerâmicas compreendem todos os materiais inorgânicos, não-metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas.

- ✓ Cerâmica vem da palavra grega **keramus** que significa coisa queimada
- ✓ Numa definição simplificada, materiais cerâmicos são compostos de elementos metálicos e não metálicos, com exceção do carbono. Podem ser simples ou complexos.
- ✓ Exemplos: SiO_2 (sílica), Al_2O_3 (alumina), $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (talco)



CLASSIFICAÇÃO





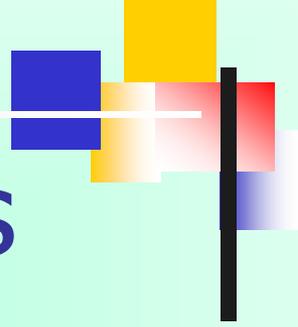
CLASSIFICAÇÃO

Convencionais

- ▶ Estruturais
 - ▶ Vidros
 - ▶ Louças
- ▶ Cimentos

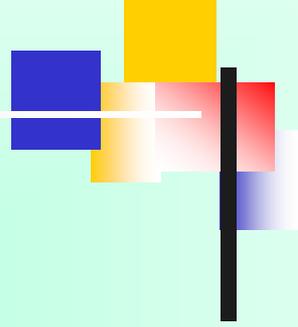
Avançadas

- ▶ Eletrônicos
 - ▶ Ópticos
- ▶ Biomateriais

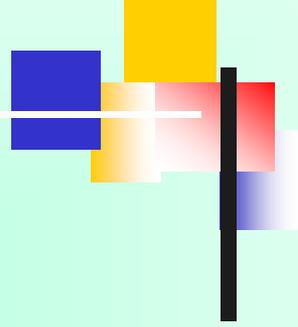


Cerâmicas a base de Silicatos

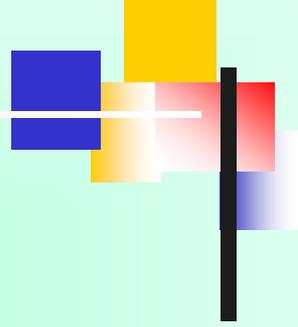
- Silício e Oxigênio são os elementos mais abundantes na crosta terrestre.
- Assim solos, rochas, argilas e areia se enquadram nessa classificação.



- Vidros: base de sílica (SiO_2);
- Cerâmicas vítreas: ou produtos de argila; pratos, louças, ladrilhos, tijolos;
- Cerâmicas de alto desempenho: ferramentas de corte, matrizes, peças para motores, peças resistentes ao desgaste;
- Cimento: cerâmica complexa com muitas fases; combinação de cal (CaO), sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) que reage quando misturada com a água;
- Rochas e minerais, incluindo gelo.

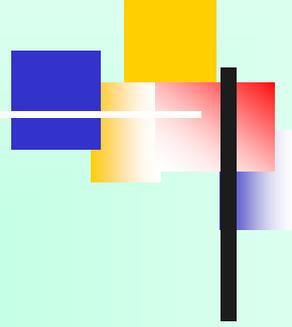


- Cerâmicas naturais – a pedra é o mais antigo de todos os materiais de construção e o mais durável. A pedra utilizada em uma capacidade de suporte de carga comporta-se como qualquer outra cerâmica.



CARACTERÍSTICAS GERAIS

- ✓ Maior dureza e rigidez quando comparadas aos aços;
- ✓ Maior resistência ao calor e à corrosão que metais e polímeros;
- ✓ São menos densas que a maioria dos metais e suas ligas;
- ✓ Os materiais usados na produção das cerâmicas são abundantes e mais baratos;
- ✓ A ligação atômica em cerâmicas é do tipo mista: covalente + iônica.

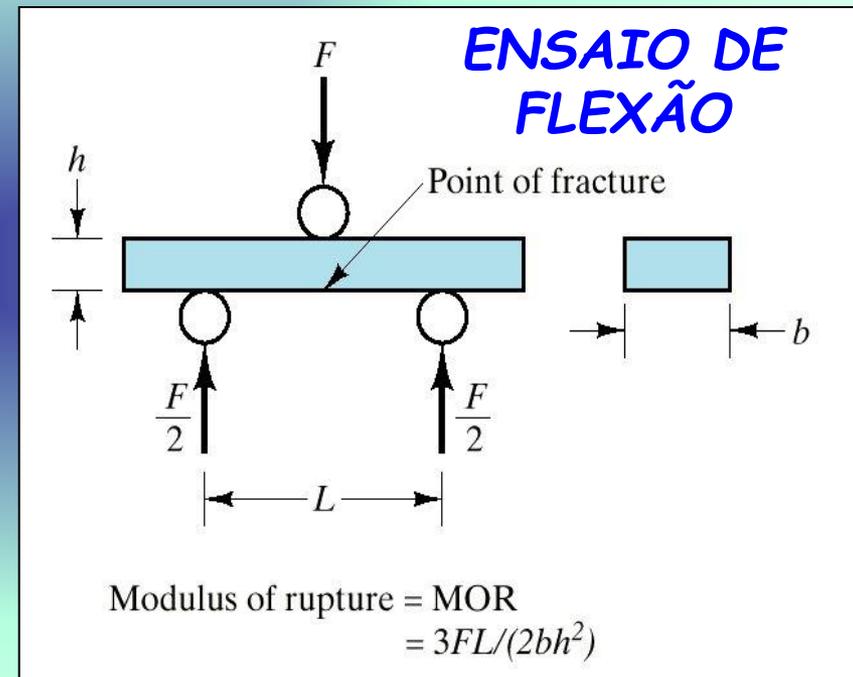


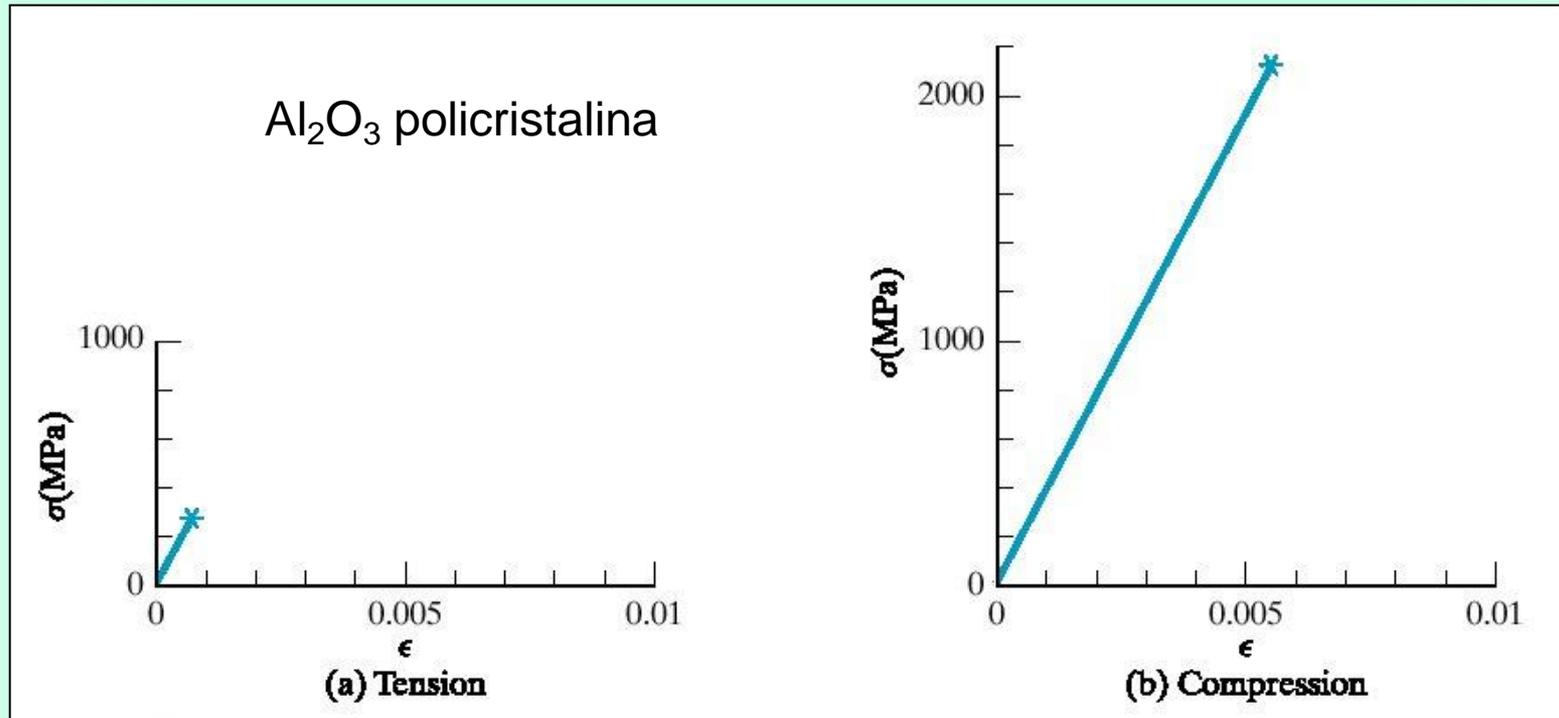
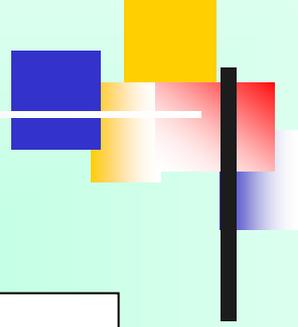
Ensaio Mecânico

Resistência a flexão

Cerâmicas não apresentam bom comportamento quando tracionadas:

1. Difícil o preparo pra ensaiar a amostra.
2. Difícil prender materiais frágeis sem fratura-los.
3. Cerâmicas falham após uma deformação de 0,1%



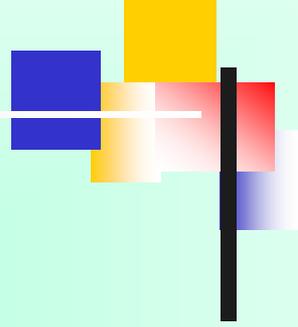


PROPRIEDADES MECÂNICAS

Descreve a maneira como um material responde a aplicação de força, carga e impacto.

Os materiais cerâmicos são:

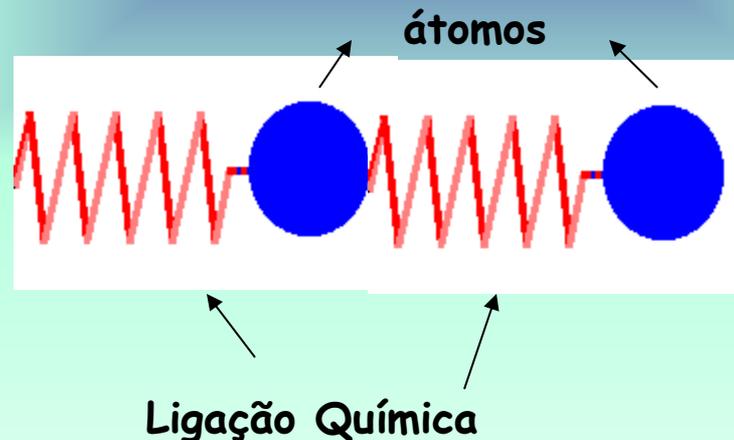
- # Duros
- # Resistentes ao desgaste
- # Resistentes à corrosão
- # Frágeis (não sofrem deformação plástica)

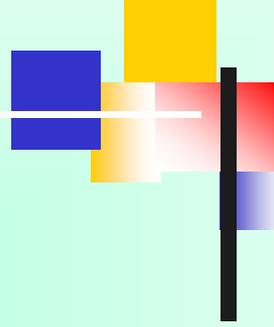


PROPRIEDADES TÉRMICAS

As mais importantes propriedades térmicas dos materiais cerâmicos são:

- + capacidade calorífica (\uparrow)
- + coeficiente de expansão térmica (\downarrow)
- + condutividade térmica





PROPRIEDADES TÉRMICAS

Material	Capacidade calorífica (J/Kg.K)	Coefficiente linear de expansão térmica ((°C) ⁻¹ ×10 ⁻⁶)	Condutividade térmica (W/m.K)
Alumínio	900	23,6	247
Cobre	386	16,5	398
Alumina (Al ₂ O ₃)	775	8,8	30,1
Sílica fundida (SiO ₂)	740	0,5	2,0
Vidro de cal de soda	840	9,0	1,7
Polietileno	2100	60-220	0,38
Poliestireno	1360	50-85	0,13

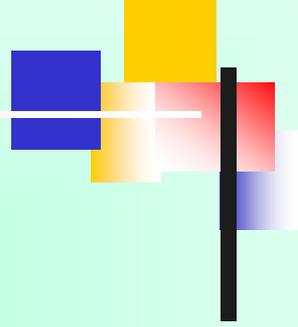
PROPRIEDADES ELÉTRICAS

As propriedades elétricas dos materiais cerâmicos são muito variadas. Podendo ser:

- + isolantes: Alumina, vidro de sílica (SiO_2)
- + semicondutores: SiC , B_4C
- + supercondutores: $(\text{La, Sr})_2\text{CuO}_4$, $\text{TiBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{11}$



Estruturas e Propriedades das Cerâmicas



Materiais Cerâmicos

Vidros

**Produtos a base
De sílica**

Refratários

Abrasivos

Cimentos

**Cerâmicas
Avançadas**

**Vidros Vidros-
cerâmicas**

CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS

CRISTALINOS

Incluem os cerâmicos à base de **Silicatos, Óxidos, Carbonetos e Nitretos**

AMORFOS (VIDROS)

Em geral com a mesma composição dos cristalinos, **diferindo no processamento**

VIDRO-CERÂMICOS

Formados inicialmente como **amorfos e tratados termicamente**

Os **cerâmicos avançados** são baseados em **óxidos, carbonetos e nitretos** com elevados graus de pureza



CERÂMICOS CRISTALINOS DE SILICATOS

	Composição (% em peso)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	Outros
Sílica refractária	96					4
Tijolo refractário	50-70	45-25				5
Mulita refractária	28	72				----
Porcelana eléctrica	61	32	6			1
Porcelana steatite	64	5		30		1
Cimento Portland	25	9			64	2

Os cerâmicos cristalinos à base de Silicatos não são usados como materiais estruturais (não são considerados cerâmicos avançados)

1. Vidros:

Silicatos não cristalinos (amorfo) que contém outros óxidos. Cerca de 70% de sua constituição é SiO_2

Apresentam boa transparência e são fáceis de serem fabricados.

2. Vidro cerâmicas:

Vidros amorfo que são submetidos a tratamentos térmicos. Processo conhecido como cristalização.

Propriedades: Resistência mecânica elevada; baixo coeficiente de expansão térmica; resistência a altas temperaturas; boa propriedade dielétrica; podem ser transparentes ou opacas.

A base de argila e louças brancas:

As louças brancas se tornam brancas após cozimentos em altas temperaturas.

3. Refratários:

Materiais com capacidade de suportar altas temperaturas sem sofrer fusão ou decompor.

Não reativos e inertes quando expostos a ambientes severos.

Boa propriedade de isolamentos térmico.

Utilizados em: revestimentos de fornos para refino de metais, fabricação de vidros, refino de metais e geração de energia.

4. Abrasivos:

Usadas para desgastar, polir ou cortar outros materiais que são obrigatoriamente mais moles que eles.

Apresenta dureza e resistência ao desgaste. São altamente tenazes, o que é muito importante para que abrasivos não fraturem.

Diamantes tanto naturais quanto artificiais são abrasivos.

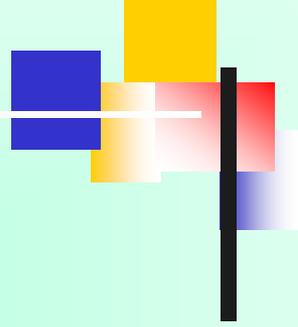
5. Cimentos

Materiais que quando misturados em água formam uma pasta, pega (cola) e endurece.

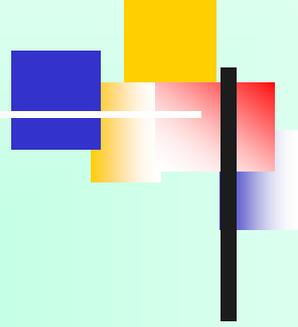
Podem ser moldados com rapidez.

Cimento portland

Argila e materiais que contém cal. Passa por aquecimento até aproximadamente 1400°C – processo chamado de calcinação – produz mudanças químicas e físicas. O produto final é moído até formar um fino pó e então é adicionado gesso para retardar seu tempo de pega.



PROCESSAMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS



Processamento de vidros

Materiais vítreos – não cristalinos

Resfriamento – mais e mais viscoso, sem uma temperatura específica onde o líquido se torna sólido (materiais cristalinos)

Temperatura de transição vítrea:

Abaixo dessa: Vidro

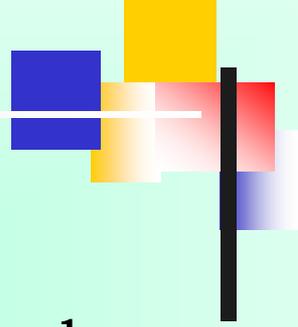
Acima o material é um líquido super-resfriado (1) e então um líquido (2).

Estruturas e Propriedades das Cerâmicas



1. Ponto de fusão: O vidro é fluido o suficiente para ser considerado líquido.
2. Ponto de trabalho: viscosidade na qual o vidro é deformado com facilidade.
3. Ponto de amolecimento: temperatura máxima em que o vidro pode ser manuseado sem sofrer alterações nas suas dimensões.
4. Ponto de recozimento: Difusão atômica é rápida, e tensões residuais são removidas (em até 15 min)
5. Ponto de deformação: Temperatura abaixo do ponto de deformação: Fratura antes da deformação plástica.

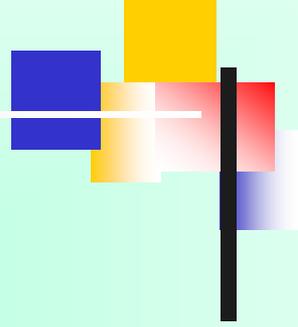
**TTV é superior ao ponto de deformação.



Matéria prima aquecida acima da temperatura de fusão.

Sílica (areia de quartzo comum) – Cal – soda

Para boa transparência principalmente é necessário que ele apresente boa homogeneidade e seja isento de poros.

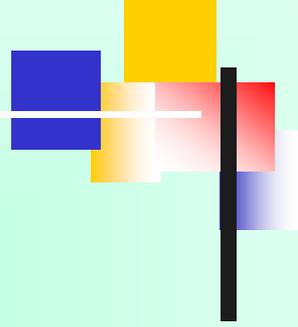


PROCESSAMENTO DE VIDROS

1. Aquecimento das matérias-primas

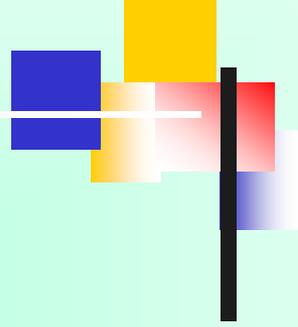
2. Conformação

- Prensagem → Fabricação de peças com paredes espessas
- Insuflação (Sopro) → Pressão através da injeção de ar – molde de ferro fundido
- Estiramento → Conformação de lâminas, tubos, fibras etc.



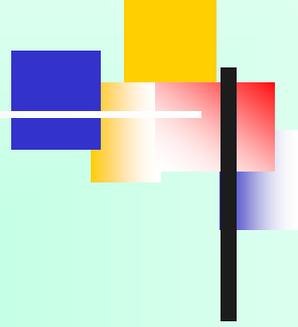
3. Tratamento térmico

- Recozimento – aquecida e resfriada num processo lento até a temperatura ambiente, para uma diminuição das tensões.
- Têmpera de vidro – acima da transição vítrea e abaixo do amolecimento. Resfriamento de fora para dentro. Diferente respostas a tensões. São mais resistentes – vidro temperado



Materiais a base de argila

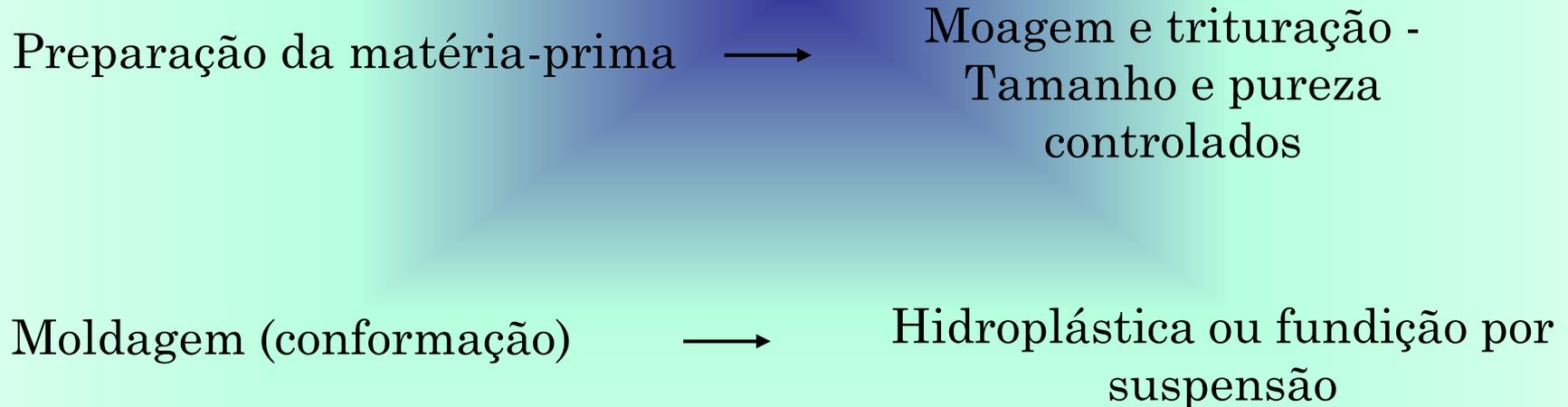
- Com adição de água são muito plásticos.
- Argila se funde em uma faixa de temperaturas – cerâmicas podem ser produzidas durante cozimento sem fusão.

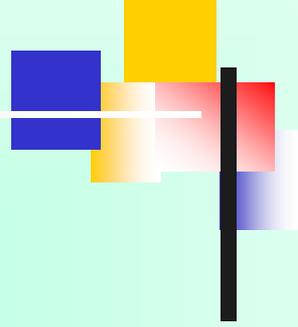


PROCESSAMENTO DE PRODUTOS A BASE DE ARGILA

O processamento de materiais cerâmicos à base de argila é feito a partir da compactação de pós ou partículas e aquecimento à temperaturas apropriadas.

Principais etapas:

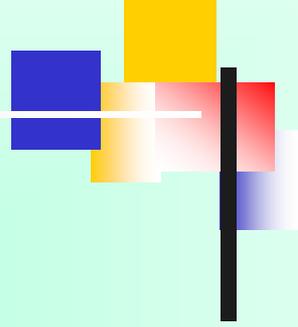




Hidroplástica:

Razão água + argila suficiente para que se mantenha forma durante manuseio e secagem – sem trincas.

Ocorre geralmente por extrusão – compressão. Massa é forçada por um orifício que possui a matriz da forma desejada.



Fundição em suspensão:

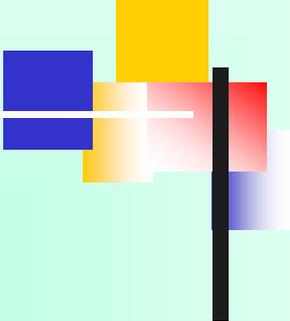
Materiais não plastificáveis suspensos em água.

Quando em molde poroso, a água é absorvida e deixa uma camada sólida sobre o molde.

Espessura depende do tempo.

O processo é repetido até que se atinja a espessura desejada.

Estruturas e Propriedades das Cerâmicas



Secagem →

Eliminação de água ou ligantes
Durante secagem há contração.

Evaporação da água na superfície e difusão para o interior na mesma taxa.

Peças finas e grossas.

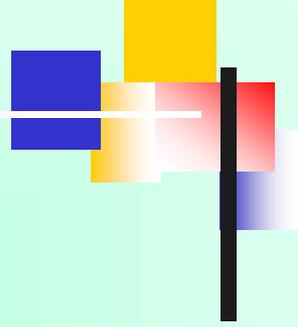
Temperatura: abaixo de 50°C

Cozimento →

Aquecimento entre 900 e 1400°C. Densidade aumenta, diminui a porosidade e a resistência mecânica é melhora.

Ocorre vitrificação, formação gradual de um vidro que flui para o interior e preenche os poros.

Sinterização → Tratamento térmico



OUTROS PROCESSAMENTOS

Prensagem do pó



Fabricação de argilosos e não-argilosos. Cerâmicas eletrônicas.
Cerâmicas magnéticas.

Compactação através de pressão.

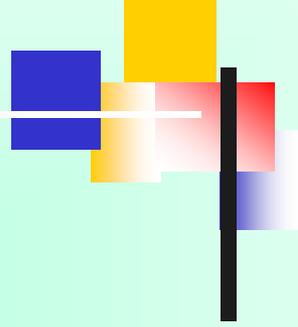
Grau de compactação X espaço
vazio (partículas)

Fundição em fita



Produção de substratos
para circuito integrados
e capacitores.

Lâminas delgadas são
produzidas através de
fundição.



PROCESSAMENTO – PRENSAGEM DO PÓ

Três procedimentos básicos

Uniaxial



Compactação do pó em molde metálico. Pressão aplicada em uma única direção

Prensagem a quente



Conformação e sinterização ao mesmo tempo. Temperatura e pressão uniaxial.

Isostático

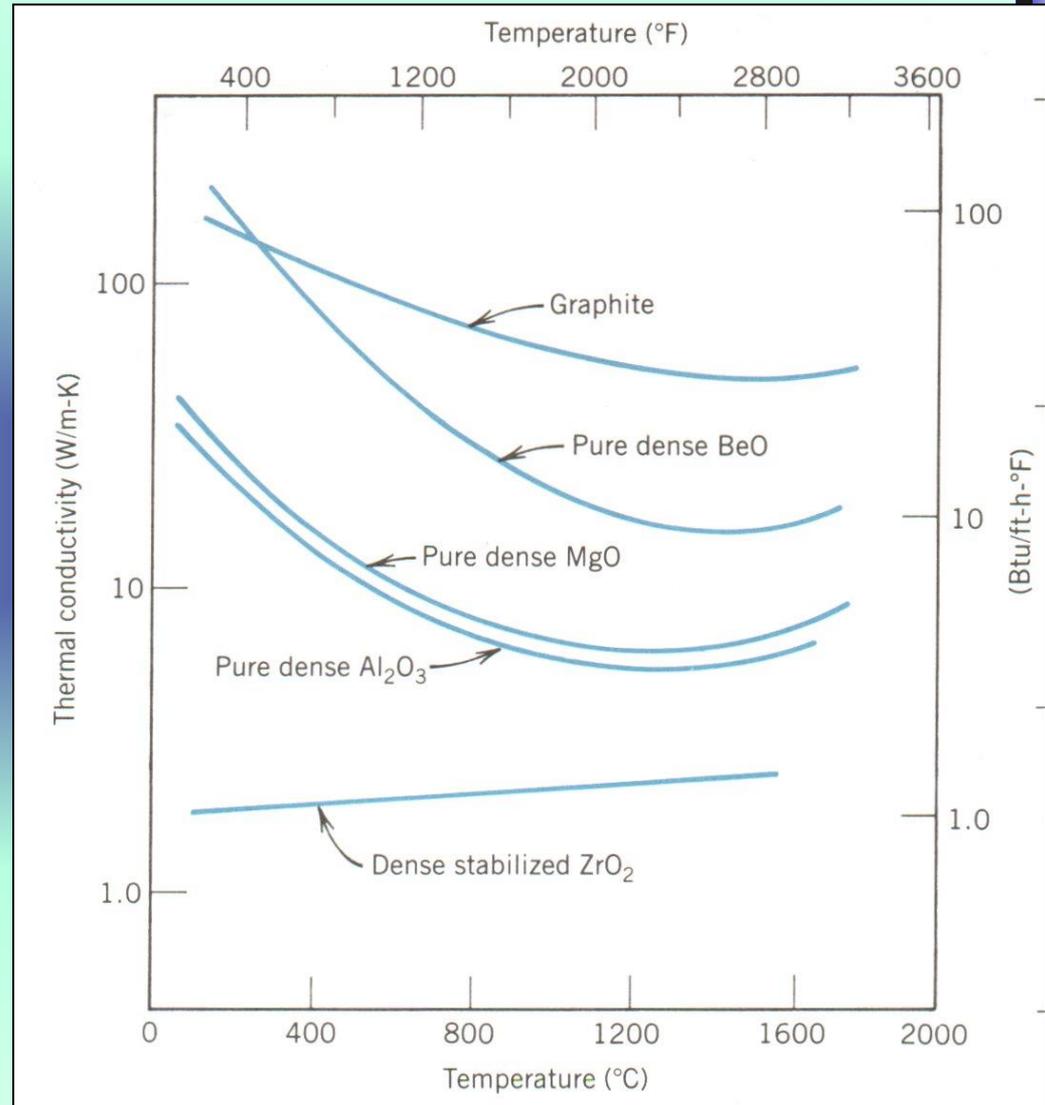


Material pulverizado contido em envelope de borracha. Pressão feita por fluido aplicado isostaticamente.

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CERÂMICOS E VIDROS

CHOQUE TÉRMICO

- Fenômeno frequente nos cerâmicos, devido às elevadas temperaturas de trabalho e à sua fragilidade
- Quebram devido a fortes gradientes de temperatura durante o arrefecimento
- A sensibilidade ao choque térmico aumenta com a diminuição da *condutividade térmica* e o aumento do *coefic. de expansão térmica*



CERÂMICOS ESTRUTURAIS - ALUMINA (Al_2O_3)

GENERALIDADES

- Produzida a partir da bauxite ($Al_2O_3 \cdot 2H_2O$)
- Existem várias formas de alumina: as mais usadas estruturalmente são a alumina alfa (hexagonal) e a gama (cúbica)



PROPRIEDADES

- Propriedades dependem da concentração de impurezas e nível de porosidade
- Porosidade pode variar desde 50% até ~0%: as qualidades estruturais variam entre 10 e 0,5%
- Módulo de Young superior ao aço
- Resistência à compressão superior a muitos aços-ferramenta
- A $1000^{\circ}C$ preserva 50% da resist.
- Grande resistência ambiental

APLICAÇÕES

- Usados em aplicações sem solicitações de tração/impacto, sujeitos a altas temperaturas e elevado desgaste
- Agulhetas, pontas de foguetes, assentos de válvulas, abrasivos, etc

Es CERÂMICOS ESTRUTURAIS-CARBON. DE SILÍCIO (SiC)

GENERALIDADES

- Usado desde há várias décadas, mas não como material estrutural

PROPRIEDADES

- Níveis de porosidade pequenos (cerca de 3%)
 - Mais duro dos abrasivos tradicionais
- Perde o seu poder de abrasão mais rapidamente que a alumina
- Resistência e rigidez superiores à alumina
 - Mais leve que a alumina
- Excelente resistência à oxidação a elevadas temperaturas

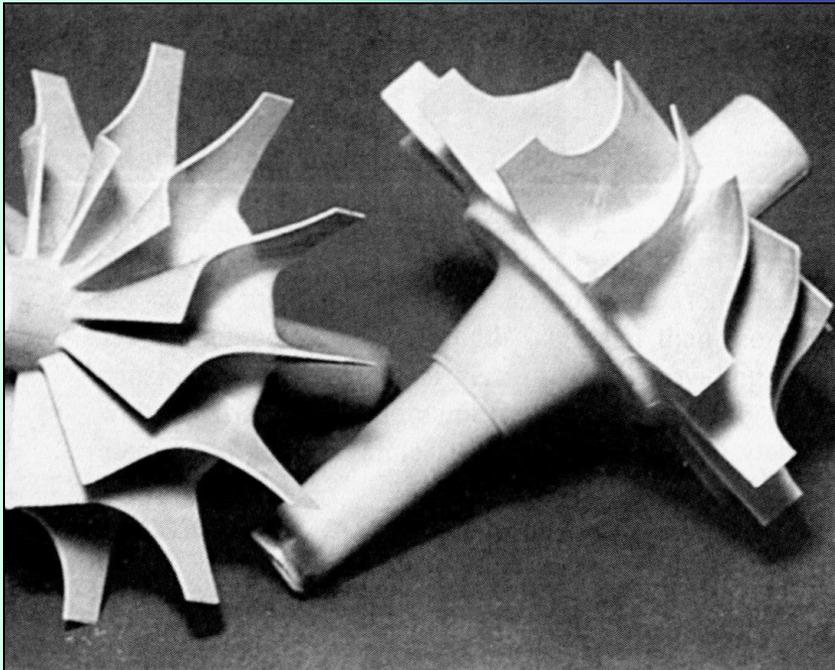
APLICAÇÕES

- Abrasivo em pedras de esmeril e lixas de papel
- Na forma de fibra é usado em compósitos como reforço
- Usado como revestimento de metais e outros cerâmicos a alta temperatura, evitando a oxidação

CERÂMICOS ESTRUTURAIS - NITRETO DE SILÍCIO (Si_3N_4)

GENERALIDADES

- Desenvolvido a partir dos anos ' 80
- Compete com a alumina e o SiC em ferramentas de corte



PROPRIEDADES

- Nível de porosidade pode variar entre 20 e 0%, consoante o tipo de processamento
- Mantém propriedades até 1000°C
- Maior resistência choque térmico que maioria dos cerâmicos
 - 1/3 da densidade do aço
 - Baixo coef. expansão térmica
- Maior tenacidade que SiC e Al_2O_3
 - Rigidez 50% superior ao aço

APLICAÇÕES

- Usado em ferramentas de corte (por exemplo, para ferros fundidos)
 - Componentes de turbinas
 - Componentes de rolamentos
- Componentes de motores diesel
- Matrizes de extrusão a quente

CERÂMICOS ESTRUTURAIS - ZIRCÓNIA ESTABIL. (ZrO₂)

GENERALIDADES

- A zircónia parcialmente estabilizada é uma mistura de óxido de zircónio com magnésia, ítria, ou óxido de cálcio, para controlar transformações de fase com grande expansão volumétrica
- Existem ligas de alumina-zircónia, para melhorar a resistência ao desgaste e diminuir o custo

PROPRIEDADES

- A mais importante propriedade é a elevada tenacidade à fractura
- A dureza é inferior aos outros cerâmicos estruturais
- Condutividade térmica reduzida
- Expansão térmica e rigidez semelhantes ao aço

APLICAÇÕES

- Propriedades semelhantes ao aço fazem da PSZ um cerâmico de substituição em motores de combustão interna

CERÂMICOS ESTRUTURAIS - *SIALON* ($Si_3Al_3O_3N_5$)

GENERALIDADES

- Mistura de nitreto de silício, sílica, alumina e nitreto de alumínio
- Existem duas fases dentro da mesma estrutura: uma vítrea (amorfa) e outra cristalina
- Estrutura semelhante à dos vidro-cerâmicos: a fase vítrea é cristalinizada para melhorar a resistência à fluência a altas temperaturas

PROPRIEDADES

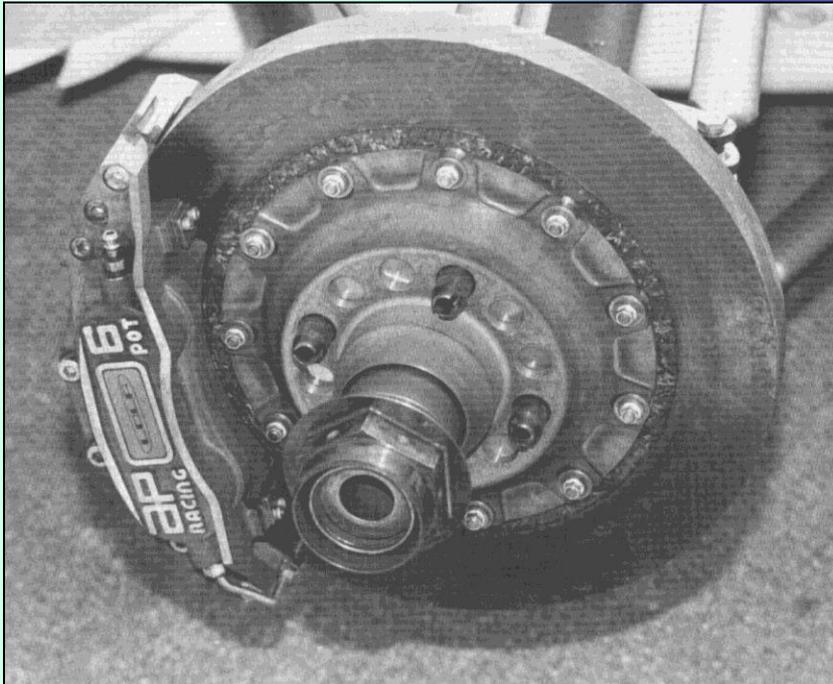
- Níveis de porosidade próximos de 0% devido à fase vítrea
- Propriedades mecânicas ao nível dos melhores cerâmicos
- Superior resistência ao choque térmico

APLICAÇÕES

- Aplicações que envolvam elevadas temperaturas com resistência ao desgaste e elevada resistência mecânica
- Componentes de motores

GENERALIDADES

- Componentes de fibra de carbono em matriz de carbono
- O processamento destes materiais é extremamente moroso e dispendioso



PROPRIEDADES

- O carbono mantém-se no estado sólido até 3600°C
- Em contacto com o ar inflama a 600°C!
- Resistência específica superior às super-ligas de Níquel acima de 1200°C

APLICAÇÕES

- Componentes que combinem peso reduzido e elevada resistência a altas temperaturas
 - Discos de travão de elevada performance (desportos e aviões)
- Nariz e bordos de ataque das asas do Space-shuttle