



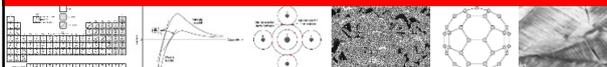
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
Escola Politécnica
DCTM - Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais

Materiais de Construção I

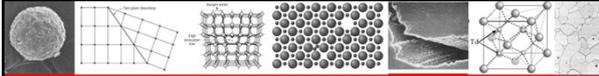
UNIDADE III

Materiais Cerâmicos, Polímeros, Compósitos e Tintas

Prof. Dr. Daniel Véras Ribeiro
verasribeiro@hotmail.com



1



Materiais Cerâmicos



2



Estruturas Cerâmicas

- Compostas por pelo menos dois elementos diferentes;
- Ligações variam de caráter predominantemente iônico ou predominantemente covalente.

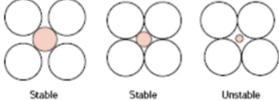
Material	Percent Ionic Character
CaF ₂	89
MgO	73
NaCl	67
Al ₂ O ₃	63
SiO ₂	51
Si ₃ N ₄	30
ZnS	18
SiC	12

3



Estruturas Cerâmicas

- Características que influenciam a estrutura do cristal:
 - Magnitude da carga de cada íon;
 - Tamanho relativo dos cátions e ânions.
- Para melhor estabilização, cada cátion prefere ter o número máximo de ânions vizinhos e vice-versa;
- r_C e r_A : raios dos cátions e dos ânions, respectivamente.
Geralmente, $r_C/r_A < 1$.



4



Estruturas Cerâmicas

	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	

- O n° de coordenação está relacionado com os raios dos cátions e dos ânions (r_C/r_A), ou seja, existe uma razão mínima r_C/r_A para que o contato seja estabelecido para determinada geometria;
- Os NC mais comuns em cerâmicas são 4, 6 e 8.

5

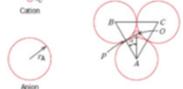


Estruturas Cerâmicas

- Exemplo

Mostre que a razão mínima entre os raios do cátion e do ânion para um número de coordenação 3 é de 0,155.

Resposta:



$$\overline{AP} = r_A$$

$$\overline{AO} = r_A + r_C$$

$$\frac{\overline{AP}}{\overline{AO}} = \cos \alpha$$

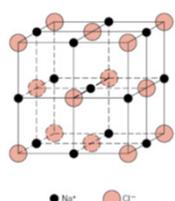
$$\frac{r_A}{r_A + r_C} = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\frac{r_C}{r_A} = \frac{1 - \sqrt{3}/2}{\sqrt{3}/2} = 0.155$$

6

Estruturas Cerâmicas

- Estruturas Cristalina Tipo AX



● Na⁺ ○ Cl⁻

- Sal-gema ou cloreto de sódio (CFC para os ânions com um cátion no centro do cubo e em cada uma das arestas)

- Mais exemplos do tipo AX: MgO, MnS, LiF e FeO.

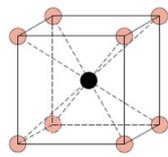
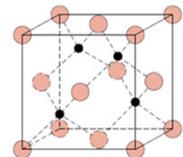
7

Estruturas Cerâmicas

- Cloreto de Césio (CsCl) • Blenda de Zinco (ou esfarelita)

NC = 8 NC = 4

(Ex.: ZnS, ZnTe, SiC)

● Cs⁺ ○ Cl⁻ ● Zn ○ S

8

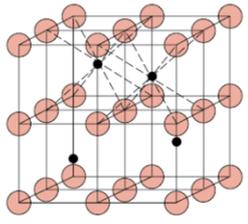
Estruturas Cerâmicas

- Estruturas Cristalina Tipo A_mX_p

- m e/ou p ≠ 1

- NC = 8 (r_c/r_a = 0,8)

Ex. CaF₂ (fluorita), UO₂, PuO₂ e ThO₂



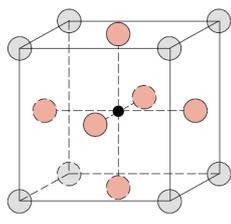
● Ca²⁺ ○ F⁻

9

Estruturas Cerâmicas

- Estruturas Cristalina Tipo A_mB_nX_p

- Estrutura Perovskita BaTiO₃ (Ti⁴⁺ e Ba²⁺)



● Ti⁴⁺ ○ Ba²⁺ ○ O²⁻

10

Densidade

- Cerâmicas.

- Cálculo através da estrutura cristalina = densidade teórica

n = nº de átomos associados a cada célula unitária (cátions e ânions)

A_c = pesos atômicos dos cátions.

A_a = pesos atômicos dos ânions.

V_c = volume da célula unitária

NA = nº de Avogadro

$$\rho = \frac{(\sum n_c \cdot A_c + \sum n_a \cdot A_a)}{V_c \cdot NA}$$

11

Densidade

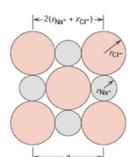
- Exemplo

Com base na estrutura cristalina, calcular a densidade teórica para o cloreto de sódio.

(Densidade experimental = 2,16 g/cm³)

Dados: A_{Na} = 22,99 g/mol, A_{Cl} = 35,45 g/mol;

Resposta:



$\Sigma A_c = A_{Na} = 22,99 \text{ g/mol}$

$\Sigma A_a = A_{Cl} = 35,45 \text{ g/mol}$

$a = 2r_{Na^+} + 2r_{Cl^-}$

$V_c = a^3 = (2r_{Na^+} + 2r_{Cl^-})^3$

$\rho = \frac{n(A_{Na} + A_{Cl})}{(2r_{Na^+} + 2r_{Cl^-})^3 \cdot N_A}$

$= \frac{4(22,99 + 35,45)}{[2(0,102 \times 10^{-8}) + 2(0,181 \times 10^{-8})]^3 (6,023 \times 10^{23})}$

$= 2,14 \text{ g/cm}^3$

12

Silicatos

- Unidades silicatos (SiO_4^{4-}) ao invés de células unitárias

- Sílicas
(compartilhamento dos átomos de oxigênio pelos tetraedros adjacentes)

13

Silicatos

- Diferentes tipos de estruturas dos silicatos.

14

Silicatos

- Em camadas.
- Estrutura bidimensional formada pelo compartilhamento de 3 átomos de oxigênio em cada um dos tetraedros ($\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$);
- A eletroneutralidade é estabelecida normalmente por uma segunda estrutura laminar planar que possui excesso de cátions, a qual se liga ao O não-compartilhado (fora do plano)

Ex.: argilas e outros minerais.

Caolinita

15

Polimorfismo e Alotropia

- Polimorfismo: A habilidade de um material em existir em mais do que uma forma ou estrutura cristalina.
- Alotropia: Possibilidade de existência de duas ou mais estruturas cristalinas diferentes para uma substância (geralmente em sólido elementar).
- Fe: CCC (T ambiente) ou CFC (T= 912 °C)

16

O Carbono (C)

- Presente em várias fases polimórficas e também no estado amorfo.

Diamante, Grafita, Fullerenos, Nanotubos

17

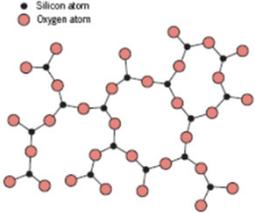
A Sílica (SiO_2)

- Formas Cristalinas.
- Natural: quartzo- α , β 1, β 2, tridimita, cristobalita; coesita; stishovita; moganita;
- Sintética: Keatita, sílica W, porosils.
- “Formas” Amorfas
- Natural: Opala, sílica biogênica, terras diatomáceas, fibras de sílica, sílica vítrea;
- Sintética: Sílica fundida, microsílica, pirogênica ou sílica evaporada, sílica precipitada, sílica coloidal, sílica gel.

18

Sólidos Não-Cristalinos

- Também conhecidos como amorfos ou líquidos super-resfriados;
- Estruturas relativamente complexas.



● Silicon atom
● Oxygen atom

Estrutura não-cristalina:
Pequenas variações em comprimentos e ângulos de ligação que implicam em ausência de ordem a longo alcance

19

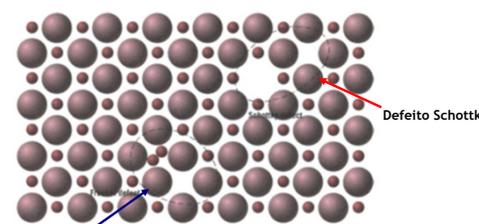
Defeitos e Imperfeições em Cerâmicas



20

Defeitos Pontuais - Cerâmicas

- A neutralidade elétrica deve ser respeitada
- Defeito de Schottky : lacuna aniônica + lacuna catiônica
- Defeito de Frenkel : cátion intersticial + lacuna catiônica

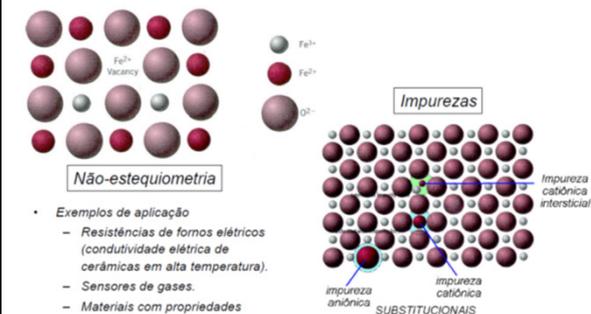


Defeito Schottky

Defeito Frenkel

21

Impurezas - Cerâmicas



Impurezas

Não-estequiometria

- Exemplos de aplicação
 - Resistências de fornos elétricos (condutividade elétrica de cerâmicas em alta temperatura).
 - Sensores de gases.
 - Materiais com propriedades magnéticas interessantes.

impureza aniônica

impureza catiônica

impureza catiônica intersticial

SUBSTITUCIONAIS

22

Defeitos Pontuais

- Exemplo
- Se a eletroneutralidade deve ser preservada, quais defeitos pontuais são possíveis no NaCl quando o íon Ca^{2+} substitui um íon Na^+ ? Quantos destes defeitos é necessário existir para cada íon Ca^{2+} ?

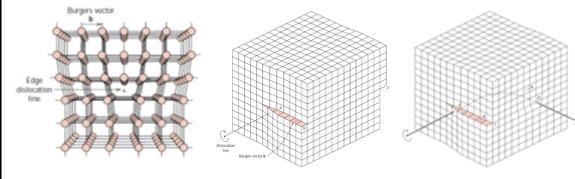
Resposta

- A substituição de um íon Na^+ por um íon Ca^{2+} introduz uma carga positiva adicional. A eletroneutralidade é mantida quando uma única carga positiva é eliminada ou quando uma única carga negativa é adicionada. A remoção de uma carga positiva é conseguida pela formação de uma lacuna Na^+ . Alternativamente, um átomo intersticial de Cl^- irá fornecer uma carga negativa adicional, anulando o efeito de cada íon Ca^{2+} .

23

Defeitos Lineares

- Discordância Aresta (ou “em cunha”)
- Discordância Espiral (ou “em hélice”)
- Discordâncias Mistas



Burgers vector b

Edge dislocation line

Aresta

Espiral

Mista

24

D defeitos Bidimensionais

- **Contornos de Grão**
- Quando o desalinhamento entre os grãos vizinhos é grande (> 15°), o contorno formado é chamado contorno de grão de **alto ângulo**;
- Se o desalinhamento é pequeno (em geral, < 5°), o contorno é chamado contorno de **baixo ângulo**, e as regiões que tem essas pequenas diferenças de orientação são chamadas de subgrãos.

Contorno de grão de alto ângulo
Contorno de grão de baixo ângulo
Contorno de sub-grão
Contorno de pequeno ângulo resultante do alinhamento de discordâncias em cunha

25

D defeitos Volumétricos

- Esses defeitos normalmente são introduzidos nos processos de fabricação, e podem afetar fortemente as propriedades dos produtos;
- **Exemplos: inclusões, poros, trincas, precipitados.**

Poros **Precipitado**

26

D defeitos Volumétricos

Trincas **Inclusões**

27

D Deformação Plástica

- **Cerâmicas Cristalinas**
- Assim como para os metais, ocorre devido ao movimento de discordâncias;
- Ligações fortes (iônicas e covalentes) dificultam este movimento → dureza e fragilidade
- **Cerâmicas não-cristalinas (ex. vidros)**
- Por não existir uma estrutura atômica regular, se deformam através de um escoamento viscoso, semelhante aos líquidos.

28

D Propriedades Mecânicas

- **Materiais Duros e Frágeis**
- Ligações iônicas e covalentes;
- Planos de Deslizamento Independentes;
- Um material cerâmico não-dúctil é muito resistente à compressão porque ele não se rompe por deslizamento, e, portanto, o comportamento à compressão está diretamente relacionado às suas forças interatômicas;
- As ligações interatômicas fortes dos materiais cerâmicos garantem, simultaneamente, dureza e refratariedade.

29

D Mecânica da Fratura

- **Teoria de Griffith**

- **Trinca com formato elíptico;**
- **Fator de concentração de tensões (K_t).**

$$\sigma_m = 2\sigma_0 \left(\frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2}$$

$$K_t = \frac{\sigma_m}{\sigma_0} = 2 \left(\frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2}$$

30

Mecânica da Fratura

- Teoria de Griffith
- Todos os materiais frágeis possuem uma grande quantidade de defeitos e trincas;
- A fratura ocorrerá quando a resistência à tração teórica do material for excedida na extremidade de um desses defeitos;
- A tensão crítica exigida para a propagação da trinca:

$$\sigma_c = \left(\frac{2E\gamma_s}{\pi a} \right)^{1/2}$$

E = módulo de elasticidade
 γ_s = energia superficial específica
 a = metade do comprimento de uma trinca interna

31

Mecânica da Fratura

- Influência da porosidade
- Reduzem a resistência e o módulo de elasticidade, pois:
- 1) Os poros reduzem a área de seção reta através da qual a carga é aplicada;
- 2) Atuam como concentradores de tensão.

32

Mecânica da Fratura

- Disparidade entre resistências real e teórica
- Defeitos cristalinos.

Discordâncias (monocristais x policristais).

Os contornos de grão atuam como barreiras ao movimento dos defeitos, limitando a plasticidade e aumentando a tensão de escoamento.

- Cerâmicas (fratura frágil)

Vacâncias, contornos de grão, íons de carga diferentes em contato (áreas de repulsão local), poros, microtrincas (concentradores de tensão).

33

Resist. à Flexão – Cerâmicas

- Mais usado para avaliar cerâmicas em comparação aos testes de tração;
- Dificuldade de obter corpo de prova (geometria);
- Dificuldade de prendê-los sem fissurar;
- Qualquer desalinhamento faz com que o material se quebre facilmente.
- Bordo superior comprimido e bordo inferior tracionado.

34

Resist. à Flexão – Cerâmicas

$\sigma = \text{stress} = \frac{M}{I}$
 where M = maximum bending moment
 c = distance from center of specimen to outer fibers
 I = moment of inertia of cross section
 F = applied load

Rectangular	$\frac{M}{I}$	$\frac{c}{2}$	$\frac{I}{bd^3}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
Circular	$\frac{M}{I}$	R	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$

35

Propriedades Físicas

- Impermeabilidade
- ↓ Absorção de água, ↓ espaços vazios (porosidade) → ↑ maior resistência à ruptura
- ↑ Volume de poros, ↓ condutividade térmica
Condutividade térmica do ar é extremamente baixa, igual a 0,02 W/m.K
- Resistência ao Risco e à Abrasão (placas não esmaltadas)
- Resistência ao Congelamento e Choque Térmico

36



Absorção de água

- Quantidade de água que um corpo pode absorver em contato com umidade;
- É expressa em porcentagem do aumento de massa do produto em relação à sua massa seca;
- Fornece um indicativo da porosidade aberta do produto, ou seja, o volume total de poros comunicados com o exterior e susceptíveis de serem preenchidos com um fluido à pressão atmosférica.

37



Absorção de água

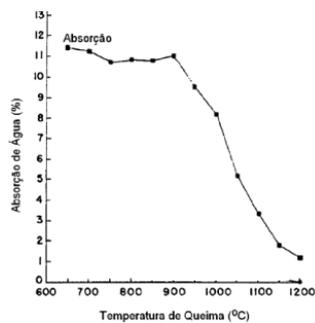
- A porosidade aberta é função de:
 - Composição da mistura;
 - Distribuição granulométrica;
 - Plasticidade de processamento;
 - Adensamento e/ou compactação.
- Além disso, para cerâmicas calcinadas:
 - Densidade a verde;
 - Taxas de aquecimento no processo de queima e das temperaturas máximas atingidas.

38



Absorção de água

- Absorção x Temperatura de Queima



39



Condutividade Elétrica

“A condutividade é função direta do número de elétrons livres e buracos”

- **Isolantes;**
 - Ligações iônicas ou fortemente covalentes
- **Semi-condutores;**
 - Ligações covalentes
- **Condutores.**
 - Ligações metálicas

40



Condutibilidade Térmica

- Materiais não-metálicos são isolantes térmicos (ausência de elétrons livres);
- Fônons (pouco efetivos);
- Microestrutura.
 - Aumento do volume de poros resultará na redução da condutividade térmica (condutividade térmica do ar é extremamente baixa, igual a 0,02 W/m.K).



41



Diagramas Cerâmicos

- Como os materiais cerâmicos não são fabricados por fusão, nem sofrem deformação a altas temperaturas, a aplicação dos diagramas é diferente quando comparada aos metais.
- No entanto, para os cerâmicos refratários e em alguns casos específicos, como em misturas de materiais cerâmicos, podem ser importantes.
 - Assim como os metais a maioria dos materiais cerâmicos não são puros e contém impurezas ou adições que resultam em soluções sólidas fases não cristalinas ou fases multi-cristalinas.

42

Diagramas Cerâmicos

- **Pode-se determinar:**
 - T fusão de cada composto puro;
 - Influência na T fusão quando dois compostos são misturados;
 - A presença ou não e o grau de soluções sólidas ;
 - Interações de dois compostos formando outros compostos ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ formando a mulita $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$);
 - T onde ocorre troca de estrutura cristalina - polimorfismo;
 - A quantidade e a composição das fases para determinada temperatura e composição;
 - Determinar parâmetros e variáveis para a sinterização.

43

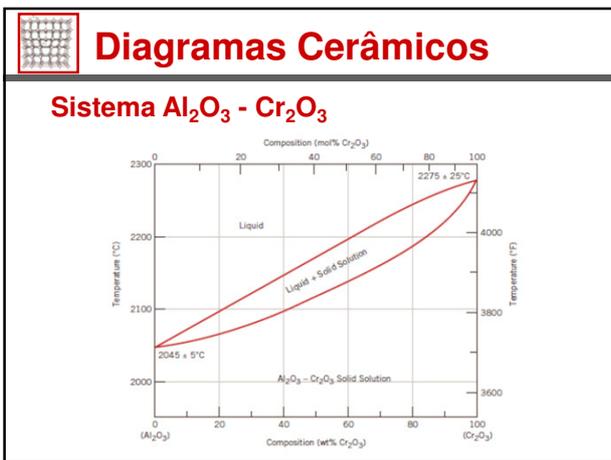
Diagramas Cerâmicos

Sistema $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$

- **Forma uma solução sólida completa pois:**
 - Os 2 íons têm tamanhos semelhantes ($0,53\text{Å} - \text{Al}^{+3}$ e $0,62\text{Å} - \text{Cr}^{+3}$);
 - Possuem mesma valência (não causa desbalanço da eletroneutralidade do composto);
 - Possuem mesma estrutura atômica

Oxigênio Hexagonal compacto, com cátions ocupando 2/3 dos vazios octaédricos;
 MgO e NiO tem o mesmo tipo de diagrama pelas mesmas razões apresentadas

44



45

Diagramas Cerâmicos

- **Exemplo**
 - Para uma cerâmica contendo 40%p Cr_2O_3 a 2125°C , indique:
 - Quais as fases presentes?
 - Qual a composição das fases? Qual a concentração das mesmas?

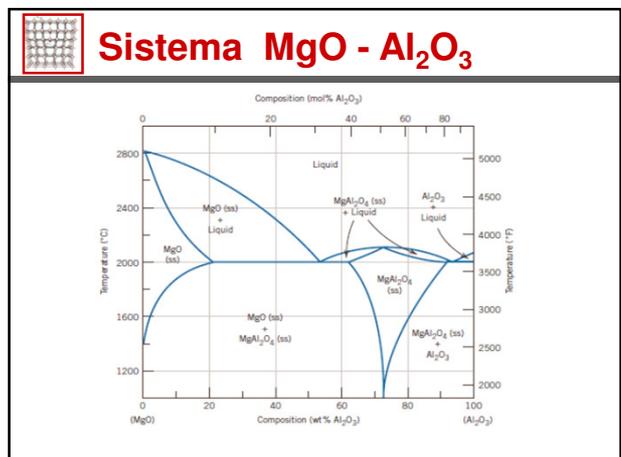
46

Diagramas Cerâmicos

- Sistema $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$
- **Solubilidade parcial no estado sólido:**
 - Possui um composto intermediário (fase) chamado espinel (MgAl_2O_4) que, apesar de ser um composto, não é representado por uma reta pois ele é estável sem ser estequiométrico por uma faixa de composições.

Estequiometria 73% em peso de Al_2O_3 , 27% de MgO (50% em mol de cada um);
 Espinel é utilizado como refratário e funde a 2100°C .
 Apresenta dois pontos eutéticos.

47



48

Diagramas Cerâmicos

- Sistemas $Al_2O_3-Cr_2O_3$, $MgO-Al_2O_3$, $SiO_2-Al_2O_3$
- Diagramas Ternários

49

Diagramas Cerâmicos

- Diagramas Ternários - Cimento

50

Diagramas Cerâmicos

- Diagramas Ternários - Cimento

51

Tipos de Materiais Cerâmicos

52

Cerâmicas Tradicionais

- Obtidos a partir de três componentes básicos:
 - Argila
 - Silica
 - Feldspato

As telhas, tijolos, a porcelana, louça sanitária e moldações cerâmicas são exemplos de aplicação deste grupo de materiais.

53

Cerâmicas Tradicionais

- Microestruturas Polifásicas:
 - Propriedades dependem fortemente das porcentagens das diferentes fases, assim como da sua forma e distribuição;
- Análise metalográfica
 - Muito cuidadosa:

A sua elevada dureza e fragilidade tendem a originar elevadas taxas de arrancamento dos grãos durante o polimento.

54

Cerâmicas Técnicas

- Ao contrário dos cerâmicos tradicionais, os cerâmicos técnicos são geralmente formados por compostos puros, ou quase puros, tal como:
 - Óxido de alumínio;
 - Óxido de zircônio;
 - Carboneto de silício;
 - Nitreto de silício;
 - Zircônia.

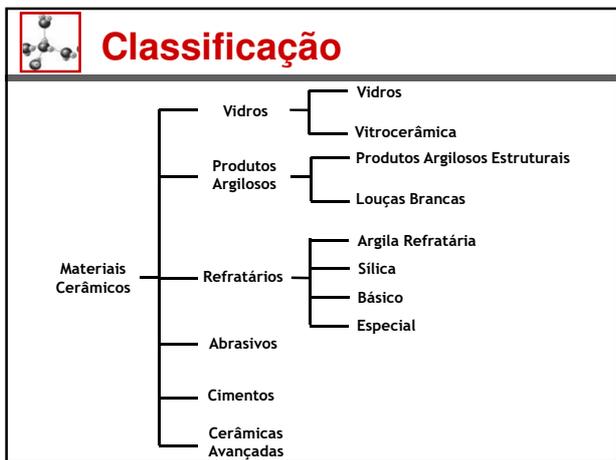


55

Cerâmicas Técnicas



56

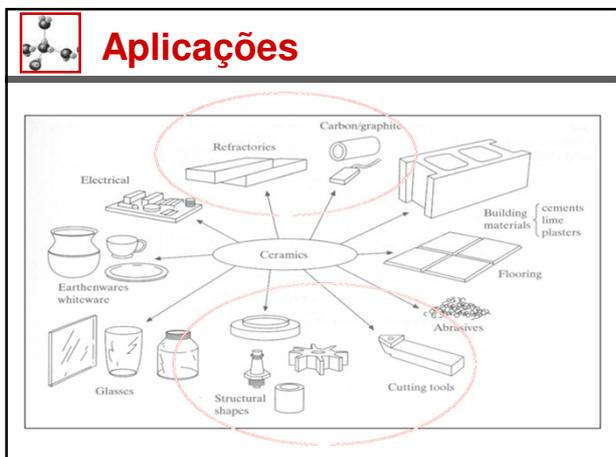


57

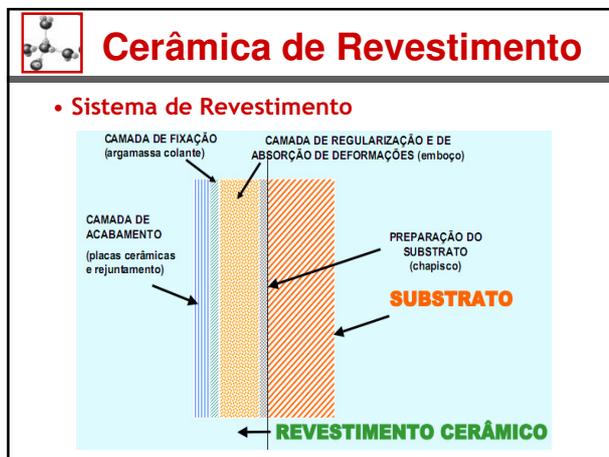
Classificação - ABC

- Cerâmica Vermelha;
- Materiais de Revestimento (Placas);
- Cerâmica Branca;
- Materiais Refratários;
- Isolantes Térmicos;
- Fritas e Corantes;
- Abrasivos;
- Vidro;
- Cimento;
- Cal;
- Cerâmica de Alta Tecnologia (Avançada)

58



59



60

Cerâmica de Revestimento

- **Biscoito:** No revestimento esmaltado, é a face inferior, formada de argila e outras matérias primas, na qual é aplicado o esmalte.
- **Engobe:** Cobertura argilosa com acabamento fosco. Pode ser permeável ou impermeável, branca ou colorida.

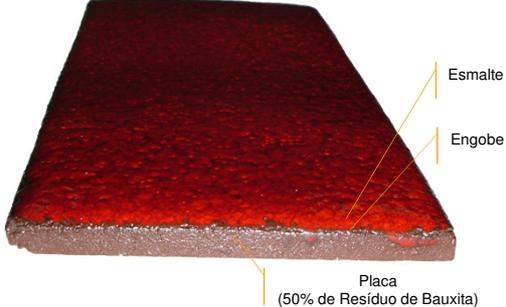
As placas cerâmicas produzidas em fornos de rolos possuem uma aplicação de engobe, no lado do tardo, destinada a permitir a movimentação dentro do forno sem grudar sobre os rolos.

- **Esmalte:** É uma cobertura vitrificada, impermeável, aplicada sobre o corpo ou biscoito das placas cerâmicas.

61

Cerâmica de Revestimento

- **Revestimento**



62

Cimentos

- Material inorgânico, finamente moído que, quando misturado a água, forma uma pasta que endurece devido a reações de hidratação e que depois do endurecimento, conserva a sua resistência mecânica e estabilidade;
- Material mais produzido pelo homem e segundo mais consumido (perde para a água);
- Formas complexas podem ser moldadas com rapidez.



63

Cimentos

- **Cimento Portland**

Retardar o Tempo de Pega

Cimento Portland = Clínquer + Gipsita

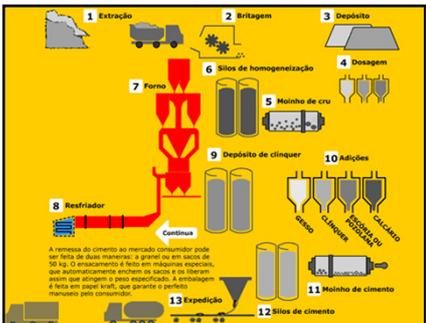
- Clínquer: Nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de um material sinterizado, produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas;
- Composição: 90% Silicatos e Aluminatos e 10% óxidos (álcalis do cimento).

Clínquer = (Calcário + Argila) + Calor

64

Cimentos

- **Processo de fabricação**



A remessa do cimento ao mercado consumidor pode ser feita de duas maneiras: a granel ou em sacos de 50 kg. O ensacamento é feito em máquinas especiais, que automaticamente enchem os sacos e os liberam assim que atingem a peso especificado. A embalagem é feita em papel kraft, que garante o perfeito manuseio pelo consumidor.

65

Cimentos

- **Tipos de Cimento Portland**

* RS

Sigla	Nome
CP I (25, 32 e 40)	Cimento Portland Comum
CP I-S (25, 32 e 40)	Cimento Portland Comum com Adição
CP II – E (25, 32 e 40)*	Cimento Portland Composto com Escória
CP II – Z (25, 32 e 40)*	Cimento Portland Composto com Pozzolana
CP II – F (25, 32 e 40)	Cimento Portland Composto com Filler
CP III (25, 32 e 40)	Cimento Portland de Alto Forno
CP IV (25 e 32)	Cimento Portland Pozzolânico
CP V – ARI (7d – 34)*	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CP B (não estrutural)	Cimento Portland Branco

66

Vidros

- O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa;
- É obtido através do resfriamento de uma massa líquida à base de sílica e outros minerais;
- Componentes dos vidros:
 - Vitrificantes: (SiO_2 , Na_2CO_3 , CaCO_3): conferem as características vítreas;
 - Fundentes (Na_2O e K_2O): facilitam a fusão da massa vitrificante;
 - Estabilizantes (CaO , MgO e ZnO): conferem estabilidade química no processo de fabricação.

67

Vidros

- Propriedades;
 - Não ocorre cristalização (ordenação dos íons em uma estrutura cristalina) durante o resfriamento;
 - Quando o líquido é resfriado, aumenta a sua viscosidade (e diminui o seu volume) até que a viscosidade aumente tanto que o material comece a apresentar o comportamento mecânico de um sólido;
 - Não existe uma temperatura de fusão cristalina, mas uma temperatura de transição vítrea (T_g).

68

Vidros

- Definição moderna

“O vidro é um estado fora do equilíbrio termodinâmico, não cristalino da matéria condensada, que exibe uma transição vítrea. As estruturas dos vidros são semelhantes às dos seus líquidos super-resfriados (LSR) e relaxam espontaneamente em direção ao estado de LSR. Seu destino final, para tempos infinitamente longos, é cristalizar”

(ZANOTO e MAURO, 2016) The glassy state of matter: its definition and ultimate fate (doi: 10.1016/j.jnoncrsol.2017.05.019), pode ser lido no Journal of Non-Crystalline Solids em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022309317302685#!.

69

Vidros

- Propriedades;

Um cristal (sólido), um sólido amorfo e um vidro na escala de tempo humano e seus destinos finais em uma escala de tempo infinita

70

Vidros

- Processamento:

71

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
Escola Politécnica
DCTM - Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais

Polímeros

72



Introdução

- Um polímero é um material orgânico ou inorgânico, natural ou sintético, de alto peso molecular, cuja estrutura molecular consiste na repetição de pequenas unidades, chamadas meros;
- São macromoléculas constituídas por várias moléculas simples (monômeros), que se unem através de ligações covalentes;
- A maioria dos polímeros é formada por cadeias de hidrocarbonetos (C e H).

73



Introdução

- Os polímeros podem ser naturais ou sintéticos;
- Polímeros naturais são conhecidos há milênios, embora somente no século 20 o domínio sobre estes materiais tenha se desenvolvido;
- Um dos primeiros polímeros sintéticos a serem obtidos foi a baquelite (1907).
- Atualmente, os polímeros substituem peças metálicas, cerâmicas e de madeira, com propriedades satisfatórias e baixo custo.

74



Introdução

• Histórico

1000 A.C	Os chineses descobrem o verniz extraído de uma árvore (<i>Rhus verniciflua</i>), aplicado na forma de revestimentos impermeáveis e duráveis. Ele seria usado em móveis domésticos até a década de 1950.
0 A.C	Descoberta do chifre como material conformável. Ele se comporta como uma chapa de material termoplástico, podendo ser cortado e moldado após ter sido aquecido em água quente.
1550	Primeira menção à borracha natural feita por Valdes após uma expedição à Central América. Os nativos usavam esse material como artigos esportivos e impermeáveis há milhares de anos.
1839	Charles Goodyear (E.U.A.) descobre a vulcanização - Descoberta em laboratório do poliestireno.

75



Introdução

• Histórico

1840	Alexander Parkes (Inglaterra) desenvolve a <i>Parkesina</i> , um resina moldável a base de nitrito de celulose , material extremamente inflamável.
1845	Robert William Thompson inventa o pneu de borracha
1876	Sementes de seringueiras do Brasil são contrabandeadas por Sir Henry Wickham e mandadas posteriormente à Ásia, onde constituíram a base da indústria mundial de borracha.
1880	Uma gravadora berlinense começou a usar goma-laca para a fabricação de discos fonográficos, devido à capacidade desse material em reproduzir detalhes finos de formato. De fato, a goma-laca foi usada até 1952 na fabricação de discos fonográficos, quando foi substituído pelo P.V.C.

76



Introdução

• Histórico

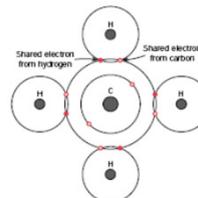
1928	Ziegler inicia seus trabalhos sobre química organometálica e lança os fundamentos para a catálise na polimerização do polietileno e polipropileno
1965	Surtem os copolímeros em bloco de estireno-butadieno , dando origem aos elastômeros termoplásticos .
1973	A produção mundial de plásticos supera a de aço, tomando como base o volume de material fabricado.
2000	Novas tendências no desenvolvimento de polímeros. O desenvolvimento de resinas a partir do zero se torna bem mais raro. A ênfase atual está na formulação de polímeros já existentes de forma a se obter materiais com propriedades otimizadas. A preocupação com a reciclagem dos polímeros torna-se assunto de máxima importância, uma vez que seu desenvolvimento e uso serão inviáveis caso esse problema não seja adequadamente resolvido. Começa a reciclagem em larga escala de garrafas de poliéster e PEAD.

77



Ligação Covalente

- Configuração estável por compartilhamento de elétrons entre átomos adjacentes;
- Ligação típica dos materiais poliméricos;
- Ligação com grande variação (forte - fraca) direcional.



78

Unidades Poliméricas

- Mero, Monômero, Polímero.**
- Moléculas dos polímeros (macromoléculas): são constituídas por muitas unidades ou segmentos repetidos, que são chamadas meros.
- Monômero: pequena molécula a partir da qual o polímero é sintetizado.
- Polímero: macromolécula constituída por vários meros.

79

Unidades Poliméricas

Monômeros e polímeros mais comuns

Monômero	Nomenclatura	Polímero	Nomenclatura
<chem>CH2=C(CH3)COCH3</chem>	Metacrilato de metila (2-metil-propenoato de metila)		Polimetacrilato de metila (acrílico)
<chem>CH2=CH-C6H5</chem>	Estireno (vinilbenzeno)		Poliestireno (PS)
<chem>CH2=CH2</chem>	Etileno (eteno)		Poliétileno (PE)
<chem>CH2=CH-CH3</chem>	Propileno (propeno)		Polipropileno (PP)
<chem>CH2=CH-Cl</chem>	Cloreto de vinila (cloroeteno)		Policloreto de vinila (PVC)

80

Polimerização

- Polimerização é a reação química através da qual os monômeros dão origem a polímeros;
- Embora todas as reações que dão origem a polímeros se designem de polimerização, estas dividem-se em dois grupos:
 - as reações de adição que dão origem a polímeros de adição;
 - as reações de condensação que dão origem a polímeros de condensação.

81

Polimerização

- Tipos.**

Reações de adição: Esse tipo de polímero é formado pela adição de moléculas de um só monômero.

Reações de condensação: Esses polímeros são formados a partir de monômeros iguais ou diferentes, havendo eliminação de moléculas simples (H₂O, NH₃ etc).

Como funcionam os plásticos: reação de condensação

82

Estruturas Poliméricas

100% Amorfo

Semi-cristalino

Microestrutura

Microestrutura de um polímero semi-cristalino apresentando regiões cristalinas e amorfas.

Célula unitária (cristalográfica) da parte cristalina do polietileno (PE)

83

Estruturas Poliméricas

- Grau de Cristalinidade.**

$$\% \text{cristalinidade (em peso)} = \frac{\rho_c(\rho_s - \rho_a)}{\rho_s(\rho_c - \rho_a)} \times 100$$

onde: ρ_s , densidade do polímero; ρ_a , densidade da parte amorfa; ρ_c , densidade da parte cristalina

Representação de uma estrutura esferulítica

Microfotografia de uma estrutura esferulítica. Luz polarizada

84



Propriedades Gerais

- **Alta flexibilidade:**
 - Variável ao longo de faixa bastante ampla, conforme o tipo de polímero e os aditivos usados na sua formulação;
- **Alta resistência ao impacto:**
 - Esta propriedade, associada à transparência, permite substituição do vidro em várias aplicações;
- **Baixas Temperaturas de Processamento:**
 - Alguns plásticos especiais requerem até 400°C para sua conformação. Disso decorre baixo consumo de energia para conformação.

85



Propriedades Gerais

- **Ajuste fino de propriedades através de aditivção:**
 - Uso de fibras (vidro, carbono, boro) ou algumas cargas minerais (talco, mica, caulim) aumentam a resistência mecânica;
 - As cargas fibrosas podem assumir forma de fibras curtas ou longas, redes, tecidos.
- **Baixa condutividade elétrica:**
 - Polímeros são altamente indicados para aplicações onde se requeira isolamento elétrico.

86



Propriedades Gerais

- **Baixa Condutividade Térmica:**
 - A condutividade térmica dos polímeros é cerca de mil vezes menor que a dos metais;
 - São altamente recomendados em aplicações que requeiram isolamento térmico, particularmente na forma de espumas.
- **Maior Resistência a Corrosão:**
 - As ligações químicas presentes nos plásticos (covalentes/Van der Waals) lhes conferem maior resistência à corrosão por oxigênio ou produtos químicos do que no caso dos metais (ligação metálica).

87



Classificação

- **Origem** (natural ou sintético);
- **Reação de preparação** (poliadição, policondensação);
- **Estrutura química** (linear, ramificado, reticulado);
- **Heterogeneidade da cadeia** (homopolímero e copolímero);
- **Características de fusibilidade** (termoplástico, termofixo);
- **Comportamento mecânico** (plásticos, elastômeros e fibras).

88



Introdução

- **Polímeros Naturais.**
 - São aqueles que encontramos na natureza, por exemplo, borracha (extraída da seringueira), celulose, proteínas, polissacarídeos, entre outros. São úteis na fabricação de diversos materiais como papel, pneus, etc;
 - Proteínas e polissacarídeos estão presentes nos alimentos que ingerimos.



89



Introdução

- **Polímeros Artificiais**
 - Surgiram da necessidade de imitar os polímeros naturais;
 - São produzidos pela síntese: processo que surgiu após a descoberta da Química Orgânica (segunda metade do século XIX), e requer tecnologia sofisticada, pois envolve reações químicas em laboratório.



90

Estruturas Moleculares

- Estruturas moleculares poliméricas.

Macromolécula contendo espirais e dobras aleatórias produzidas por rotações das ligações da cadeia

Estrutura molecular

linear

ramificada

com ligações cruzadas

em rede

91

Estruturas Poliméricas

- Homopolímero: polímero derivado de apenas uma espécie de monômero.
- Copolímero: polímero derivado de duas ou mais espécies de monômero.

Tipos de distribuição dos diferentes monômeros nas moléculas dos copolímeros: (a) aleatória, (b) alternada, (c) em bloco e (d) ramificada

92

Estruturas Poliméricas

Monômero A

Monômero B

Homopolímero

Copolímero Alternado

Copolímero em Bloco

93

Estruturas Poliméricas

- Características das estruturas poliméricas.
 - Em sua maioria, são hidrocarbonetos;
 - Ligações covalentes;

Moléculas insaturadas (duplas ou triplas)

$$\begin{array}{cccccccc} \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ \text{C} & - & \text{C} & = & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} \\ | & | & | & & | & | & | & | \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$$

Moléculas saturadas (apenas simples)

$$\begin{array}{cccccccc} \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ - & \text{C} & - & \text{C} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$$

94

Estruturas Poliméricas

- Configurações moleculares (Saturados).

$$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ | & | \\ \text{C} & = & \text{C} \\ | & | \\ \text{H} & \text{R} \end{array} \quad \text{R} = \text{CH}_3; \text{Cl}; \text{outros.}$$

- Configuração "cabeça-a-cauda"

$$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | \\ - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} \\ | & | & | & | \\ \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{R} \end{array}$$

- Configuração "cabeça-a-cabeça"

$$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | \\ - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} \\ | & | & | & | \\ \text{H} & \text{R} & \text{R} & \text{H} \end{array}$$

95

Estruturas Poliméricas

- Estereoisomerismo (cabeça a cauda).

- Os átomos estão ligados uns aos outros na mesma ordem (cabeça-a-cauda), porém, diferem no arranjo espacial.

Configuração Isotática.

$$\begin{array}{cccccccc} \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ - & \text{C} & - & \text{C} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{R} \end{array}$$

Configuração Atática.

$$\begin{array}{cccccccc} \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ - & \text{C} & - & \text{C} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{R} \end{array}$$

Configuração Sindiotática.

$$\begin{array}{cccccccc} \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ - & \text{C} & - & \text{C} \\ | & | & | & | & | & | & | & | \\ \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{R} & \text{H} & \text{H} \end{array}$$

96

Estruturas Poliméricas

- **Isomerismo Geométrico (insaturados).**
- Possíveis em unidades mero que possuem uma dupla ligação entre átomos de carbono na cadeia.

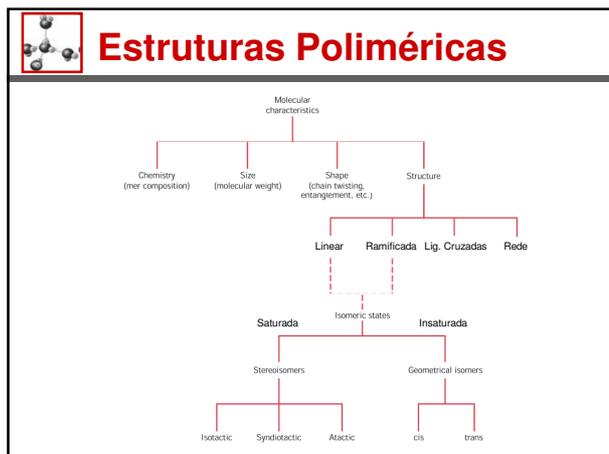
Estrutura cis.

$$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ | \quad | \quad | \quad | \\ -\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}- \\ | \quad \quad \quad | \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$$

Estrutura trans.

$$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{R} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ | \quad | \quad | \quad | \\ -\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}- \\ | \quad \quad \quad | \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$$

97



98

Comportamento Térmico

- **Termoplásticos**
- Fundem-se e solidificam várias vezes.
- **Termofixos (termorrígidos)**
- Geralmente são líquidos e, após reação de formação, tornam-se infusíveis.

99

Termoplásticos

- São os chamados plásticos, constituindo a maior parte dos polímeros comerciais;
- A principal característica desses polímeros é poder ser fundido diversas vezes;
- Dependendo do tipo do plástico, também podem dissolver-se em vários solventes;
- A reciclagem é possível.

100

Termoplásticos

- **Exemplos:**
- Polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), politereftalato de etileno (PET), policarbonato (PC), poli(cloreto de vinila) (PVC), poli(metilmetacrilato) (PMMA)...

101

Termoplásticos

- **Exemplos**
- PET – Poliéster saturado – Embalagens, carpetes, monofilamento etc.
- PVC – Policloreto de Vinila – Tubos, Isolação de cabos elétricos, filmes de revestimento
- PE – Polietileno – Filmes para Embalagens, artigos domésticos.
- PP – Polipropileno – Filmes para Embalagens, artigos domésticos, indústria automobilística.
- ABS – Acrílo Butadieno Estireno-eletrodomésticos, indústria automobilística
- PMMA – Polimetil metacrilato ou Acrílico – Polímero cristalino usado em várias aplicações
- PC – Policarbonato – Vidros blindados, Faróis de automóveis, indústria aeronáutica.
- PA – Poliamidas – “Nylon” – Plástico de engenharia – Alta resistência mecânica e a temperatura.

102

 **Termoplásticos**



1 = Poli (tereftalato de etileno)
2 = Polietileno de alta densidade
3 = Poli (cloreto de vinila)
4 = Polietileno de baixa densidade
5 = Polipropileno
6 = Poliestireno
7 = Outros

103

 **Termofixos**

- São rígidos e frágeis, sendo muito estáveis a variações de temperatura;
- Uma vez prontos, não mais se fundem. O aquecimento do polímero acabado a altas temperaturas promove decomposição do material antes de sua fusão;
- A reciclagem é muito difícil;

Exemplos:

- Baquelite, usada em tomadas e no embutimento de amostras metalográficas;
- Poliéster, usado em carrocerias, caixas d'água, piscinas, etc., na forma de plástico reforçado (fiberglass).

104

 **Termofixos**

- Exemplos

Poliéster Insaturado – Plástico reforçado com fibra de vidro

Epóxi – Plástico reforçado com fibra de vidro

Fenólicas – Adesivos para abrasivos e rebolos, resinas para fundição, espumas isolante antichama, Bakelite®.

Melamínicas – Laminados decorativos, Tintas de alta resistência.

Poliuretanos – Espuma isolante, revestimentos anticorrosivos.

Poli-isocianurato – Espumas isolantes

105

 **Termofixos**

- Baquelite;
- É resistente ao calor, infusível, forte, podendo ser laminado e moldado na fase inicial de manufatura e de baixo custo.



106

 **Termofixos**

- Difícil Reciclagem
- PU - Poliuretanos - Espuma / Integral

Sucata, rebarbas e limpeza de bicos de injeção.

Material moído utilizado como carga - Mais caro que carga mineral.

- XPE - Poliestireno Expandido - Isopor

Consumo de energia no transporte, moagem e granulação tornam a reciclagem economicamente inviável.

107

 **Termofixos**

- Difícil Reciclagem
- Borracha - Pneus

Pirólise gerando resíduo oleoso usado como combustível;

Inviável economicamente e problemático para o meio ambiente;

Moagem e incorporação em peças de segunda linha (tapetes);

Moagem e incorporação em asfalto - Custo elevado na moagem criogênica e separação da malha de aço;

Combustível na indústria de cimento (emissões).

108

Termofixos

- **Difícil Reciclagem**



109

Comportamento Mecânico

- **Plásticos**
 - As propriedades mecânicas são variáveis.
 - Sob temperatura ambiente, podem ser maleáveis, rígidos ou mesmo frágeis.
 - Termoplásticos x Termorrígidos
- **Elastômeros (borrachas).**
 - Possuem, elevada elasticidade. Comumente são conhecidos como borrachas.

110

Elastômeros

- Não são fusíveis, mas apresentam alta elasticidade, não sendo rígidos como os termofixos;
- Reciclagem complicada pela incapacidade de fusão, de forma análoga aos termofixos.
- Exemplos: Vários tipos de borrachas.

111

Estrutura x Propriedades

- **Polímeros**
 - Termoplásticos: Cadeias Lineares (grandes deformações e recuperação de propriedades iniciais);
 - Ligações primárias fortes entre átomos e do tipo Van der Waals entre as cadeias ($E = 0,4 - 4 \text{ GPa}$).
 - Termofixos: Redes tridimensionais (elevada rigidez).
 - Ligações primárias fortes entre átomos e entre as cadeias (ligações cruzadas covalentes ou pontes de H). ($E = 6 - 10 \text{ GPa}$)
 - Elastômeros
 - Forças intermoleculares fracas, não havendo barreiras para a rotação das cadeias em torno das ligações ($E = 1 - 10 \text{ MPa}$).

112

Estrutura x Propriedades

- As propriedades dos polímeros são função de diversos fatores:
 - Força das ligações;
 - Grau de cristalinidade;
 - Facilidade de rotação estrutural da cadeia;
- Presença de ligações duplas e triplas;
- Presença de adições;
- Presença de grupos laterais ou ligações cruzadas;
- Tipo de estrutura (linear, em rede, etc.).



113

Módulo de Elasticidade (E)

- **Polímeros**
 - Estrutura do monômero e flexibilidade das moléculas;
 - Peso molecular;
 - Presença ou ausência de ligações cruzadas;
 - Cristalinidade e orientação das moléculas.



114

Módulo de Elasticidade (E)

- Polímeros
- Temperatura de uso em relação à T_f e à T_g .

Obs.: A cristalinidade aumenta o valor de E.
 Polietileno (PE) amorfo (100-260 MPa) e cristalino (400-1.250 MPa).

115

Deformação Plástica

- Polímeros
- Deformação elástica.

Alongamento das moléculas da cadeia desde as suas conformações estáveis, na direção da tensão aplicada, pela dobra e estiramento das fortes ligações covalentes presentes na cadeia.

- Deformação plástica.

Interações entre as ligações lamelares e as regiões amorfas intermediárias em resposta à aplicação de uma carga de tração.

Obs.: Influência da Cristalinidade.

116

Deformação Plástica

117

Módulo de Elasticidade (E)

118

Propriedades Térmicas

- A temperatura de transição vítrea depende da flexibilidade das cadeias e da possibilidade destas sofrerem rotação.
- Se $T > T_g$ → alta mobilidade das cadeias;
- Se $T < T_g$ → baixa mobilidade das cadeias.

A flexibilidade das cadeias diminui pela introdução de grupos atômicos grandes ou quando há a formação de ligações cruzadas → aumenta T_g .

	Semi-cristalinos	Amorfos
T_m	Líquido viscoso	Líquido Viscoso
T_g	Estado Ordenado (volume livre aumenta)	Estado Borrachoso
	Estado Ordenado	Estado Vitréo

119

Propriedades Térmicas

- Transições Térmicas.

T_g : Temperatura de transição vítrea
 T_m : Temperatura de fusão cristalina

120



Propriedades Térmicas

- Os polímeros 100% amorfos não possuem temperatura de fusão cristalina, apresentando apenas a temperatura de transição vítrea (T_g).
- Se $T_{uso} < T_g \rightarrow$ o polímero é rígido;
- Se $T_{uso} > T_g \rightarrow$ o polímero é “borrachoso”;
- Se $T_{uso} \gg T_g \rightarrow$ a viscosidade do polímero diminui progressivamente, até que seja atingida a temperatura de degradação.

Para os plásticos: $T_g > T_{amb}$

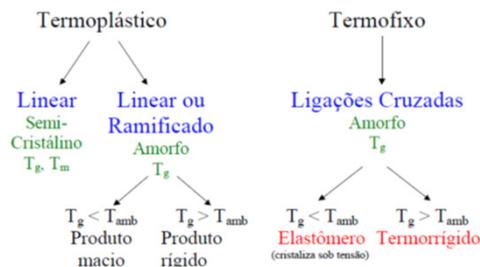
Para os elastômeros: $T_g < T_{amb}$

121



Propriedades Térmicas

- Transições Térmicas.



122



Coefficiente de Expansão (α)

- Dependente das forças de ligação.
- Inversamente proporcional ao módulo de elasticidade, E (e, conseqüentemente, à temperatura de fusão).

$$\alpha = \frac{\gamma \cdot C_v}{\Omega \cdot E} \cong \frac{1}{100E}$$

Material	α ($10^{-6} K^{-1}$)
Metais e ligas	10 - 20
Cerâmicas	1 - 100
Polímeros	20 - 500

123



Condutibilidade Térmica (λ)

- Dependente do mecanismo de transporte de calor
- Metais: Ligações metálicas (elétrons)
- Cerâmicas e Polímeros: Ligações covalentes (fônons, baixa vibração)

Material	λ (W/m.K)
Metais e ligas	10 - 400
Cerâmicas	0,2 - 50
Polímeros	0,1 - 1

124



Condutibilidade Térmica (λ)

- Polímeros
- Transferência de energia é realizada através da vibração e da rotação das moléculas da cadeia (pouco efetivo);
- Microestrutura.

Dependência em relação ao grau de cristalinidade.

\uparrow cristalinidade, \uparrow condutividade (vibração ordenada mais efetiva).

125

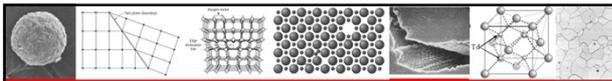


Condutividade Elétrica

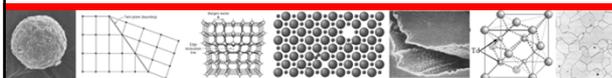
“A condutividade é função direta do número de elétrons livres e buracos”

- Isolantes;**
 - Ligações iônicas ou fortemente covalentes
- Semi-condutores;**
 - Ligações covalentes
- Condutores.**
 - Ligações metálicas

126



Materiais Compósitos



127



Compósitos

- É um material formado por uma mistura ou combinação de dois ou mais micro ou macro constituintes que diferem na forma e na composição química e que, na sua essência, são insolúveis um no outro;
- Um compósito é projetado para mostrar uma combinação das melhores características de cada um dos materiais que o compõe.

128



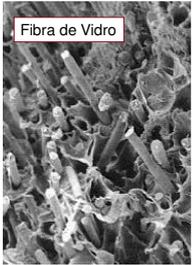
Compósitos

- Tecnologias modernas exigem materiais com combinações incomuns de propriedades que não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais;
- Todo material compósito apresenta duas fases:
 - FASE DISPERSA:
 - FASE MATRIZ: É contínua e envolve a fase dispersa;

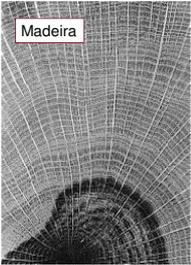
129



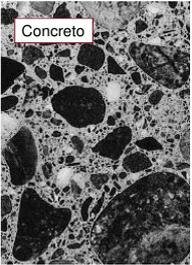
Compósitos



Fibra de Vidro



Madeira



Concreto

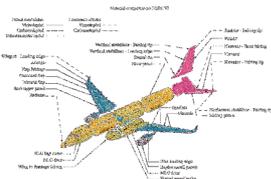
130

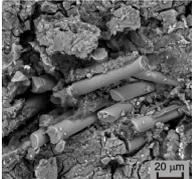


Compósitos







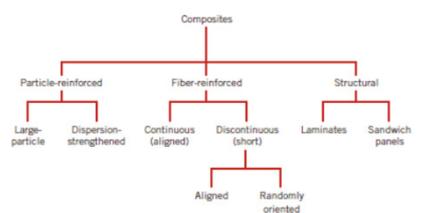


131



Propriedades

- Propriedades das fases constituintes;
- Quantidades relativas das fases constituintes;
- Geometria da fase dispersa



```

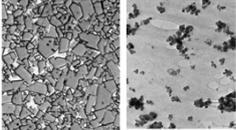
            Composites
            ├── Particle-reinforced
            │   ├── Large-particle
            │   └── Dispersion-strengthened
            ├── Fiber-reinforced
            │   ├── Continuous (aligned)
            │   └── Discontinuous (short)
            │       ├── Aligned
            │       └── Randomly oriented
            └── Structural
                ├── Laminates
                └── Sandwich panels
            
```

132

Reforçados com Partículas

- Características Gerais:**
 - Em geral a fase particulada é mais dura e mais rígida que a matriz;
 - A matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas que suportam uma fração da carga;
 - Diâmetro das partículas de 0,01 µm até 0,1µm para dispersões com partículas pequenas.

TiC + Co ou Ni
Dureza (cerâmico) +
tenacidade (metal)

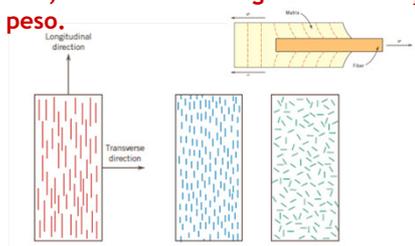


Elastômeros e plásticos reforçados com partículas de NEGRO DE FUMO.
Ex: Pneus

133

Reforçados com Fibras

- Em geral deseja-se nesses materiais alta resistência, tenacidade e rigidez em relação ao seu peso.**



Longitudinal direction
Transverse direction

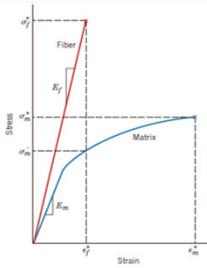
(a) (b) (c)

Continuas e alinhadas (Fig. a) boa melhora na resistência
Descontínuo Alinhado (curto) : Fibra curta; pouca influência na resistência.
Orientado aleatoriamente: Isotrópico

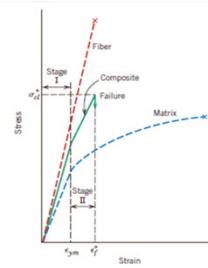
134

Reforçados com Fibras

- Curvas tensão-deformação**



(a)



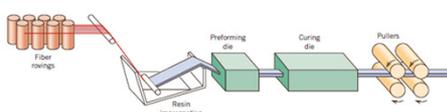
(b)

Fibras de vidro, carbono, aramida.
Matrizes: Cerâmicas, metálicas e poliméricas

135

Reforçados com Fibras

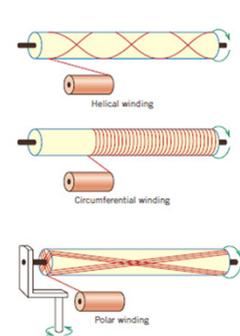
- Produção**
 - Pultrusão: Para produção de formatos de seção reta constante (barras tubos vigas);
 - Mechas ou cabos de fibras são impregnados com uma resina termofixa, sendo então estirados através de um molde de aço aquecido;
 - Passa na seqüência em um molde de cura aquecido que confere a peça sua forma final;
 - Matrizes usuais: Poliésteres, ésteres vinílicos, resinas epóxi;
 - Fibras usuais: De vidro , carbono, aramida



136

Reforçados com Fibras

- Enrolamento de filamento:** Processo no qual as fibras de reforço contínuas são posicionadas segundo um padrão pré-determinado para compor uma forma oca geralmente cilíndrica
- Fios individuais ou em mechas** são alimentados através de um banho de resinas e em seguida enroladas continuamente ao redor de um mandril (processo automático).
- Após um número apropriado de camadas a cura é executada em m forno ou a temperatura ambiente após a retirada do mandril.
- Como alternativa pode-se enrolar prepgs estreitos e delgados (até 10 mm) ao redor do mandril.



137

Reforçados com Fibras

- Armaduras Poliméricas Reforçadas com Fibras**
 - **Objetivo;**
Aumento da durabilidade de estruturas sujeitas à corrosão e a campos eletromagnéticos.
 - **Tempo de Vida Útil elevado;**
100 - 120 anos
 - **Elevada Tecnologia;**



138

138

Reforçados com Fibras

- **Armaduras Poliméricas Reforçadas com Fibras (PRF)**
- **Composição**
Resina, fibra(s), aditivos, pigmentos, etc.
Núcleo de fibras (minerais ou sintéticas) estiradas de elevada resistência e impregnadas por uma matriz polimérica (resina), possuindo propriedades anisotrópicas
- **Fibras curtas distribuídas de forma aleatória.**
Fibras de vidro, cerâmicas, carbono e aramida

139

139

Reforçados com Fibras

- **Tipos de Matriz (PRF):**
- **Tipos de Fibras:**

140

140

Reforçados com Fibras

- **PRF**

141

141

Reforçados com Fibras

- **Propriedades mecânicas (PRF)**

142

142

Reforçados com Fibras

- **Armaduras PRF**
- **Vantagens**
As barras de PRF têm se mostrado uma alternativa viável para armar estruturas em condições críticas de exposição.
- **Preocupações**
Aderência armadura PRF/concreto;
Ambiente Alcalino do Concreto.

143

143

Compósitos Estruturais

- **Compósitos laminares:**
- **Folhas ou painéis bidimensionais são cimentados umas as outras invertendo a direção do alinhamento das fibras de cada placa.**

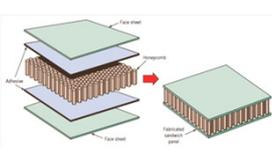
144

144

Compósitos Estruturais

- **Painéis em forma de sanduíches:**
 - Duas folhas externas mais resistentes separadas por uma camada de metal menos denso;
 - Folhas externas: madeira compensada, alumínio e ligas, plásticos + fibras, titânio aço.
 - Recheio interno: Polímeros com espuma, borrachas sintéticas, colméias.

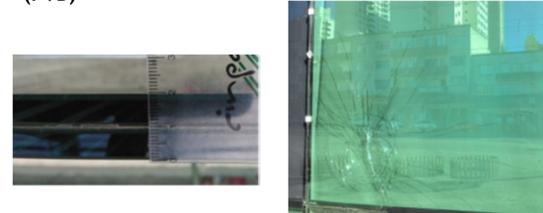
Ex: Asas e fuselagem de aeronaves, telhados, pisos e paredes.



145

Compósitos Estruturais

- **Compósitos laminares:**
 - **Vidro Laminado**
 - Vidro constituído por duas ou mais chapas de vidro intercaladas por um plástico chamado Polivinil Butiral (PVB)



146

Compósitos Estruturais

- **Compósitos laminares:**
 - **Vidro Aramado**
 - Composto por uma tela metálica que oferece maior resistência a perfuração e proteção pois, em caso de quebra, os cacos ficam presos na tela diminuindo o risco de ferimentos.



147

Compósitos Estruturais

- **Compósitos laminares:**
 - **“Smart Glass”**
 - Vidro laminado, composto por duas chapas de vidro, incolor ou colorido, entre os quais é colocado um filme de cristais líquidos em um campo elétrico.
 - Quando este campo é ativado, os cristais líquidos se alinham, tornando o vidro transparente
 - Quando o campo magnético é desativado, o vidro passa a ser translúcido, podendo ser repetida a operação quantas vezes for desejado.

148

Compósitos Estruturais

- **Compósitos laminares:**
 - **“Smart Glass”**



149

Tintas e Vernizes



150

Tintas

- O mercado de tintas e vernizes no Brasil é composto por produtos das linhas:
 - Imobiliárias (construção civil)
 - Industrial
 - Automotiva

1 bilhão de litros de tintas/ano → Brasil - 4º produtor mundial

↓

60% - construção civil

- Cerca de 400 indústrias operam no Brasil

151

Tintas

- Composição líquida, geralmente viscosa, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido que, ao sofrer um processo de cura quando estendida em película fina, forma um filme opaco e aderente ao substrato.



152

Tintas - Definição

FUNÇÃO: revestir uma dada superfície com a finalidade de tornar o seu aspecto mais agradável ou conferir proteção.

↓

Quando seca e curada, a tinta forma um filme sobre a superfície, minimizando o seu contato com o meio ambiente devido à formação de uma barreira ao ingresso de agentes agressivos ao seu interior.



153

Tintas - Definição

- Brilhantes ou foscas;
- Transparentes ou pigmentadas.

→ Podendo apresentar resistência a agentes agressivos.

↓

VERNIZES

Funções principais: Estética e proteção

- Combinação de outras funções

As tintas desempenham outras funções, como: sinalização, impermeabilização, identificação e propaganda.

154

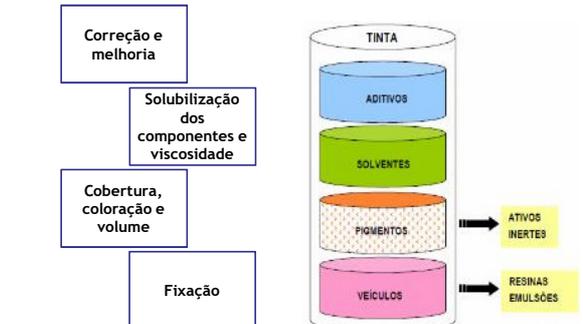
Tintas

- Composição Básica:
 - Pigmento;
 - O pó colorido presente na mistura que constitui a tinta.
 - Veículo ou aglutinador;
 - Líquido que contém o pigmento e o torna fácil de se espalhar
 - Solvente ou redutor;
 - Aditivos.

155

Tintas - Constituintes Básicos

- Constituintes Básicos:



156

 **Tintas - Constituintes Básicos**

- **Pigmentos**
 - Sólidos, não voláteis e insolúveis no meio. Promovem cor, opacidade, consistência, durabilidade e resistência à tinta.

Orgânicos
Exemplos: ftalocianinas azuis e verdes, violeta e vermelha.

Inorgânicos
Exemplos: dióxido de titânio, óxidos de ferro, caulim calcinado.



157

 **Tintas - Constituintes Básicos**

- **Pigmentos**
- **Base**
Dão cor a tinta;
- **Inerte**
Conferem durabilidade a tinta (carbonato de cálcio, argila, silicato de magnésio, mica ou talco).




158

 **Tintas - Constituintes Básicos**

- **Veículos, Resinas ou Aglutinadores**
 - Não-volátil, também conhecidos como ligantes.
 - Responsáveis pela maioria das características físicas e químicas das tintas.

Exemplos: fenólicas, epóxi-fenólicas, alquídicas e acrílicas.

159

 **Tintas - Constituintes Básicos**

- **Veículos (Resinas) ou Aglutinadores:**
 - Aglutinam (unem) as partículas de pigmentos;
 - Quando um veículo entra em contato com o ar, seca e endurece. Essa ação transforma a tinta em uma película rígida que retém o pigmento sobre a superfície.
 - Óleos, vernizes, látex e resinas naturais e sintéticas.



160

 **Tintas - Constituintes Básicos**

- **Solventes**
 - São adicionados a tinta para torná-la mais fluida. Algumas tintas são classificadas de acordo com o solvente.
 - As tintas de látex, por exemplo, são diluídas com água e são chamadas tintas à base de água.
 - Tintas insolúveis em água requerem solventes orgânicos, como subprodutos de petróleo. Essas tintas são denominadas tintas à base de solvente orgânico.

161

 **Tintas - Constituintes Básicos**

- **Solventes**
 - Veículo volátil, incolor e neutro.
 - Melhora a viscosidade, facilitando a aplicabilidade das tintas e aumentando a aderência ao substrato.
 - Tintas base solvente;
 - Tintas base aquosa.



162



Tintas - Constituintes Básicos

- **Aditivos**

- Conferem importantes propriedades:

- Secantes;
- Catalisadores;
- Espessantes;
- Antiescorrimento;
- Dispersantes;
- Antiespumantes;
- Nivelantes;
- Estabilizantes de ultravioleta.



163



Tintas - Processos de fabricação

- **Formulação das Tintas**

- Proporcionamento de matérias-primas.
- Permite a previsão de algumas de suas propriedades.



164



Tintas - Processo de Fabricação

- **Tintas Base Solvente**

- Etapas:

- 1- Pré-mistura: dos insumos de acordo com a fórmula.
- 2- Dispersão (moagem): desagregamento dos pigmentos, e formação de uma dispersão maior e mais estável dos sólidos.
- 3- Completagem: mistura dos componentes restantes. Também são feitos acertos da cor, da viscosidade, a correção do teor de sólidos, etc.
- 4- Filtração e Envase.

165



Tintas - Processo de Fabricação

- **Verniz**

Etapas:

- 1- Mistura: homogeneização das resinas, dos solventes e dos aditivos em tanques ou tachos;
- 2- Dispersão (certos casos): para evitar grumos;
- 3- Filtração e Envase.

166



Tintas - Processo de Fabricação

- **Tinta Látex / Base Água**

- Etapas:

- 1- Pré-mistura e Dispersão (moagem): da água, dos aditivos, das cargas e do pigmento. Com a dispersão ocorrendo em seguida, no mesmo equipamento.
- 2- Completagem: são adicionados, em um tanque apropriado, água, emulsão, aditivos e coalescentes.
- 3- Filtração e Envase.

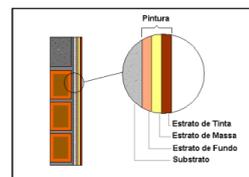
167



Tintas

- **Constituintes dos Sistemas de Pintura**

- **Tinta de Fundo ou "Primer":** Serve para preparar a base para receber a massa.
- **Massa de Nivelamento:** É aplicada para corrigir irregularidades na superfície.
- **Tinta:** É a parte visível do sistema de pintura, aplicada para dar acabamento.



168



Tintas - Aplicação

- **Classificação de superfícies**

- Madeira;
 - Alvenaria;
 - Concreto;
 - Metais
- Ferrosos;
Não ferrosos: alumínio, zinco, estanho, cobre.

- **O processamento da pintura**

- Preparação da superfície;
- Aplicação eventual de fundos, massas e condicionador;
- Aplicação da tinta de acabamento.

169



Preparação da superfície

- **A superfície bem preparada deve ser limpa, seca, lisa e geralmente plana.**

- Quanto à limpeza, deve a superfície estar isenta de graxas, óleos, ceras, resinas não secativas, sais solúveis, ferrugem e poeiras.
- **Fundos, massas e condicionador**
Adesão;
Isolar a superfície da tinta;
Inibir o processo da ferrugem.

170



Tintas

- **Pintura de paredes exteriores :**

- Boa resistência à intempérie;
- Boa aderência à base;
- Estabilidade da cor;
- Neutralidade química em relação à base e vice-versa;
- Aspecto decorativo pretendido.



171



Tintas

- **Pintura de paredes interiores :**

- Boa aderência ao suporte;
- Estabilidade da cor;
- Neutralidade química em relação ao suporte;
- Aspecto decorativo pretendido;
- Boa resistência aos agentes agressivos consoante os locais de aplicação;
- Boa resistência ao choque (corredores).

172



Tintas

- **Tintas para estruturas metálicas:**

- Boa aderência;
- Boa proteção anticorrosiva;
- Durabilidade elevada;
- Outras funções como decorativas, antiderrapantes, resistência a ácidos, ao calor.



173



Tintas

- **Tipos:**

- **A base de Cal;**
- Mais econômica, ela dá a superfície um aspecto fosco e liso, é fácil de aplicar pois mistura com água;
- Tem a qualidade inferior e é pouco aderente à madeira e metais. Ela é usado para a pintura de meio fio, muros, calçadas e postes.
- **Tinta a Óleo;**
- Tem ótima resistência às intempéries, é de fácil aplicação, boa cobertura e flexibilidade;
- Excelente aderência em vários tipos de superfícies.

174



Tintas

- **Tipos:**
 - **Esmalte sintético;**
 - Tinta à base de solventes para superfícies internas e externas de madeira, metais, alumínio e alvenaria.
 - Proporciona ótimo acabamento e resistência a intempéries. Bom alastramento e ótima resistência também ao mofo.
 - **Époxi;**
 - Essa tinta tem alta resistência a abrasão e agentes químicos, e suscetível a UV, e aplicada em ambientes quimicamente agressivos como o revestimento de um banheiro e balcões.

175



Tintas

- **Tipos:**
 - **Látex;**
 - São dispersões aquosas (acrílicas e vinílicas);
 - Gera economia, segurança e não polui além de facilitar a aplicação;
 - É recomendada para paredes novas;
 - Apresenta uma boa resistência à alcalinidade e à umidade, esse tipo de tinta deixa as paredes “respirar”, ou seja, deixam o oxigênio sair;
 - Podem ser encontrados com Látex acrílico ou PVA.

176



Tintas

- **Tipos de Tinta Látex:**
 - **Látex PVA;**
 - Essa tinta é levemente superior, pois possui uma baixa permeabilidade quando aplicada;
 - Solubilidade em água é inferior, sua resistência aos álcalis é superior, sua durabilidade perante aos raios UV é boa, porém, seu preço é alto.
 - **Látex Acrílica;**
 - Tinta à base de água, com consistência de massa, é de fácil aplicação e secagem rápida
 - É indicada para exteriores e acabamentos de alta qualidade. Possui excelente lavabilidade e cobertura.

177



Tintas - Classificação

- **Classificação quanto à formação da película**
 - **Laca:** a película se forma pela evaporação do solvente
 - **Produtos látex:** a coalescência é o mecanismo de secagem
 - **Produtos termoconvertíveis:** a secagem ocorre através da reação entre duas resinas presentes na composição a uma temperatura adequada
 - **Tintas de secagem oxidativa:** a formação do filme ocorre devido à ação do ar

178



Tintas

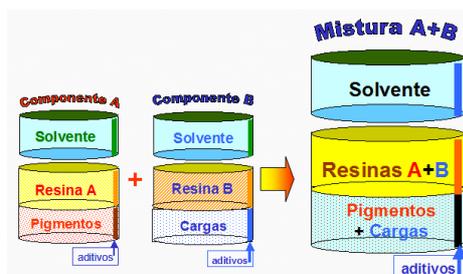
- **Mecanismos de Formação de Película**
 - Evaporação
 - Coalescência
 - Oxidação
 - Polimerização (ativação térmica; temperatura ambiente insuficiente)
 - Hidrólise

179



Tintas - Classificação

- **Sistema de Base Solvente**



180



Tintas - Classificação

- **Classificação das tintas**
 - Classificação de acordo com o usuário:
 - Quanto ao aspecto do acabamento
 - Quanto à textura
 - Quanto à cor
 - Classificação segundo a composição:
 - Sistema de Base Aquosa
 - Sistema de Base Solvente
 - Sistema Bicomponente



181



Tintas - Classificação

- **Sistema de Base Aquosa**
 - Produtos à base de água, menor impacto ambiental
 - **Tintas Látex Acrílica e PVA**
 - Apresentam baixo odor, fácil aplicação e secagem rápida.
 - Aplicação: argamassa, concreto, bloco de concreto, gesso.
 - Ambiente: interno e externo.
 - **Vernizes Acrílicos**
 - Aplicação: superfícies de concreto.
 - Ambiente: interior.

182



Tintas - Classificação

- **Sistema de Base Solvente**
 - Apresentam baixa resistência à umidade e elevado teor de VOC.
 - Esmalte Sintético**
 - Aplicação: superfícies metálicas, madeira, concreto.
 - Ambiente: interior (fosco) e exterior (brilhante).
 - Secagem lenta.
 - Verniz Sintético**
 - Aplicação: superfícies de madeira.
 - Ambiente: interior.
 - Secagem lenta.

183



Tintas - Classificação

- **Sistema de Base Bi-componente**
 - Constituído por: componente A (base pigmentada ou verniz) e componente B (agente de cura).
 - Tinta e Verniz Epóxi**
 - Sensíveis à radiação ultravioleta.
 - Elevada resistência a soluções ou vapores de produtos químicos.
 - Tinta e Verniz Poliuretânica**
 - Boa resistência à abrasão, química e à radiação solar.
 - Custo Elevado.

184



Tintas - Impacto ambiental

- **Impacto ambiental das tintas**
 - Tintas e produtos para pintura podem conter substâncias/elementos potencialmente tóxicos que causam efeitos na saúde dos seres vivos e impactos ao meio ambiente.
 - ✓ VOC;
 - ✓ Metais pesados;
 - ✓ Biocidas.

185



Tintas - Impacto ambiental

- **Composto Orgânico Volátil (COV)**
 - Composto orgânico volátil que participa de reações fotoquímicas na atmosfera (ASTM D 3960-05);
 - São emitidos à atmosfera pelas tintas, principalmente à base de solventes, como a tinta óleo, o esmalte sintético e em solventes como aguarrás e thinner;
 - Composição: hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, hidrocarbonetos contendo halogênios, cetonas, ésteres e álcoois;
 - Ocorrência: durante as operações de pintura e secagem

186



Tintas - Impacto ambiental

- **Composto Orgânico Volátil (COV)**
- **Efeitos:**
 - Afetam a saúde do trabalhador, resultando em problemas de saúde ocupacional e prejuízos na sua produtividade;
 - Problemas respiratórios, irritação e obstrução nasal, desidratação e irritações da pele, problemas da garganta e nos olhos, dor de cabeça e cansaço, levando à perda de concentração.

187



Tintas - Impacto ambiental

- **Metais Pesados**
 - Antimônio, cádmio, cromo hexavalente, chumbo e mercúrio;
 - Aditivos secativos;
 - Pigmentos coloridos, geralmente nas cores vermelhas, amarelas, laranjas e verdes;
 - Pigmentos anticorrosivos em fundos preparadores.

188



Tintas - Impacto ambiental

- **Biocidas**
 - Aditivos que servem para preservar as tintas, na forma líquida ou como película de pintura
 - Efeitos: a ação de agentes biológicos, como as bactérias, os fungos e as algas
 - São susceptíveis à lixiviação por água
 - Os produtos à base de mercurio estão sendo substituídos por produtos menos tóxicos - menor impacto ambiental

189



Tintas - Durabilidade

- **Evelhecimento**
 - Luz
 - Radiação solar, em particular a ultravioleta, é o principal responsável pela iniciação do processo de degradação;
 - O que ocorre: alteração da cor, material quebradiço.

190



Tintas - Durabilidade

- **Envelhecimento**
 - Calor
 - Temperatura = f (localidade, estação dos fenômenos meteorológicos);
 - Temperatura ambiente \neq temperatura na superfície.

191



Tintas - Durabilidade

- **Envelhecimento**
 - Umidade
 - Fornecedor de meios para a ocorrência da degradação:
 - Química: oxidação, hidrólise e acidólise.
 - Física: expansão volumétrica e formação de bolhas.

192

 **Tintas - Métodos de Ensaio**

- **Métodos de Ensaio**
- Condições reais x Ensaios de laboratório
- Tinta líquida x Película Seca



193

 **Tintas - Métodos de Ensaio**

- **Tinta Líquida :**
- NBR 15315 - Tintas - Determinação do teor de sólidos
- Pigmentos que permanecem no filme seco (Não voláteis);
- Relaciona-se com o rendimento final da tinta (Custo);
- Expresso em % do volume de tinta;
- Informado pelo fabricante.



194

 **Tintas - Métodos de Ensaio**

- **Película Seca**
- NBR 15299 - Tinta para construção civil - Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do brilho
- “Baseado na medida fotoelétrica da reflexão da luz, incidente nos ângulos de 20°, 60° e 85°, diretamente nas superfícies das películas”;
- Medida em Unidades de Brilho (UBs).

195

 **Tintas - Métodos de Ensaio**

- **Materiais**
- Cartela de PVC preta;
- Placa de vidro incolor plana, com dimensões mínimas de (200 x 120 x 3)mm;
- Placa de vidro tipo carrara preto (black carrara glass - *blacktite*) - Único que pode ser usado para vernizes;
- Aparelho para a medição do brilho;
- Extensor de barra com abertura de 150µm.



196

 **Tintas - Métodos de Ensaio**

- **Medição de Brilho**
- **Procedimentos:**
- Aplicar o produto sobre o substrato e deixá-lo secar por aprox. 24h, em ambiente com troca de ar, temperatura de $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, com U.R. de $(60 \pm 5)\%$, na posição horizontal;
- Efetuar três leituras em pontos diferentes da película;
- Se os valores forem > 70 UB - Refazer com ângulo de 20°;
- Se os valores forem < 10 UB - Refazer com ângulo de 85°;
- Calcula-se a média dos resultados obtidos, em UB.

197

 **Tintas - Controle**

- **Método de exposição acelerada**
- Os painéis pintados são submetidos, alternadamente, à ação da luz e das radiações ultravioletas emitidas por um arco voltaico de carbono, e à ação de um chuveiro de água.
- **Método de exposição à intempérie**
- Consiste em colocar os painéis de madeira sem nós, pintados, em cavaletes inclinados de 45° em relação ao chão, dispostos na direção leste-oeste e de modo a receber o máximo de incidência solar.

Tempo de durabilidade x 3

198

 **Tintas - Defeitos**

- **Cor diferente da cartela de cores**
 - Diferentes sistemas de impressão.

A cartela deve ser usada como um meio de identificação e não como um padrão exato de cor.

- **Sedimentação**
 - Sólidos se acumulam no fundo da embalagem devido a um longo tempo de armazenamento.
 - Solução: Homogeneizar com espátula retangular. Não utilizar chave de fenda ou qualquer objeto arredondado.

199

 **Tintas - Defeitos**

- **Cobertura insuficiente**
 - A diluição excessiva da tinta torna a espessura do filme inferior a ideal.
 - Solução: Para corrigir, adicionar tinta não diluída.
- **Diferença de brilho**
 - Pode ocorrer quando aplicamos uma tinta esmalte fosca ou acetinada sem a devida homogeneização, fazendo com que a película de tinta na superfície fique brilhante.
 - Solução: Ao adquirir qualquer tinta deve-se homogeneizá-la devidamente com espátula retangular, não utilizando chave de fenda.



200

 **Tintas - Defeitos**

- **Dificuldade de aplicação**
 - A tinta pode se tornar "pesada" na aplicação se não for diluída suficientemente.



201

 **Tintas - Defeitos**

- **Escorrimento**
 - Diluição excessiva e utilização de solventes são razões para que a tinta escorra, por isso, devem ser evitados.



202

 **Tintas - Defeitos**

- **Falta de alastramento**
 - A tinta não se espalha ao longo da superfície. Pode ser decorrência de diluição insuficiente ou da aplicação de camadas muito finas.
- **Formação de espuma em madeira**
 - Ocorre quando a pintura é feita em superfície demasiadamente úmida.
 - Deve-se certificar que a madeira esteja devidamente seca antes da pintura. Pode ocorrer também devido ao excesso de diluição dada à tinta ou tipo de equipamento utilizado.



203

 **Tintas - Defeitos**

- **Secagem retardada**
 - Pode ser causada pelo ambiente úmido ou de temperatura muito baixa, camada excessiva de tinta ou utilização de solventes não recomendados impedindo que o solvente evapore.
 - Por essa razão deve-se evitar a pintura em dias chuvosos ou muito frios (abaixo de 10°C). A não preparação correta da superfície pode deixar contaminantes na tinta, que causam também esse problema.

204

 **Tintas - Defeitos**

- **Desbotamento da cor**
 - Cores muito intensas ou saturadas de corante, diluição excessiva ou número insuficiente de demãos, pode provocar o desgaste natural do produto devido ao tempo de exposição as intempéries.
 - Refazer a aplicação com 2 ou 3 demão respeitando a diluição e instruções de aplicação expressas na embalagem.



205

 **Tintas - Defeitos**

- **Absorção da superfície**
 - Aplicação de massa corrida para correção de imperfeições tornando a superfície porosa.
 - Sobre os locais onde houver correção de massa corrida aplicar uma demão de tinta com trincha e aguardar a secagem de 4 horas. A seguir, aplicar uma demão de tinta com rolo de lã de pêlo baixo.



206

 **Tintas - Defeitos**

- **Devido ao rolo em tintas acrílicas/PVA**
 - Estas manchas ocorrem devido a utilização de rolo de pêlos altos que não espalham corretamente o produto sobre a superfície.



Utilização de rolo de lã de pêlo baixo.

207

 **Tintas - Defeitos**

- **Pigmentos não dispersos**
 - Falta de homogeneização devido ao uso de ferramenta inadequada ou por pouco tempo de agitação.



Homogeneização com espátula retangular, tempo suficiente para uma completa mistura da tinta.

208

 **Tintas - Defeitos**

- **Devido a cor do fundo**
 - Tonalidade de fundo muito forte.
 - Aplicação prévia de tinta branca ou um número maior de demãos.
- **Devido ao tipo de superfície**
 - Superfícies muito absorventes não seladas adequadamente (reboco novo, massa corrida, gesso).
 - Se o produto já foi aplicado serão necessárias mais demãos. Se ainda não foi aplicado, aplicar previamente o fundo indicado na embalagem.

209

 **Sugestão de Consulta**

“Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes” - Série P+L - CETESB - Companhia de tecnologia de Saneamento Ambiental - São Paulo.

Disponível em: <http://www.abrafati.com.br>

210

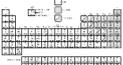
 UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
Escola Politécnica
DCTM - Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais

Materiais de Construção I

UNIDADE III

**Materiais Cerâmicos, Polímeros,
Compósitos e Tintas**

Prof. Dr. Daniel Vêras Ribeiro
verasribeiro@hotmail.com

211