



Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Elétrica
Materiais Elétricos - Teoria

Aula 02
Propriedades Gerais dos Materiais

Clóvis Antônio Petry, professor.

Florianópolis, setembro de 2006.

Bibliografia



Capítulos:

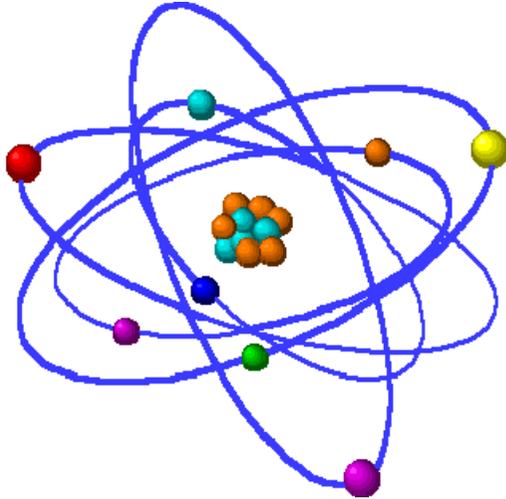
- 1;
- 12.

Nesta aula

Cronograma:

1. Propriedades gerais dos materiais;
2. Materiais magnéticos;
3. Materiais condutores;
4. Materiais semicondutores;
5. Materiais isolantes.

Revisão da aula anterior



Elétrons de valência:

- Propriedades químicas;
- Natureza das ligações;
- Características mecânicas;
- Resistência mecânica;
- Tamanho do átomo;
- Condutividade elétrica;
- Características ópticas.

Mecanismos para adquirir configuração estável:

- Receber elétrons;
- Perder elétrons;
- Compartilhar elétrons.

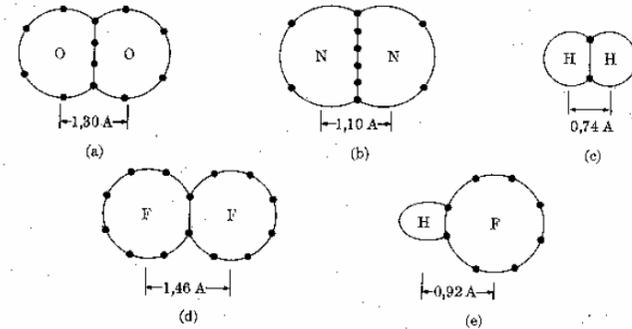
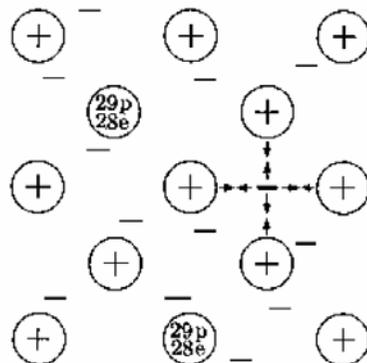
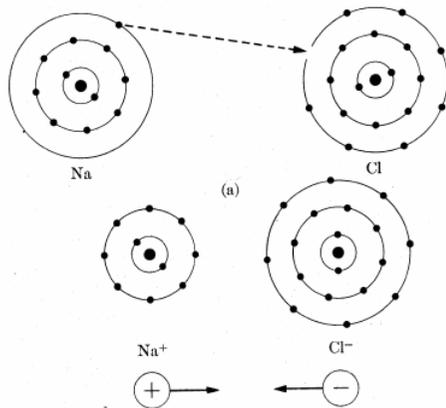
Tipos de ligações:

- Iônica;
- Covalente;
- Metálica.

Revisão da aula anterior

Ligação iônica:

- Íons positivos (cátions) e negativos (ânions);
- Ligação forte.



Ligação covalente:

- Ocorre o compartilhamento de elétrons;
- Ligação forte entre átomos.

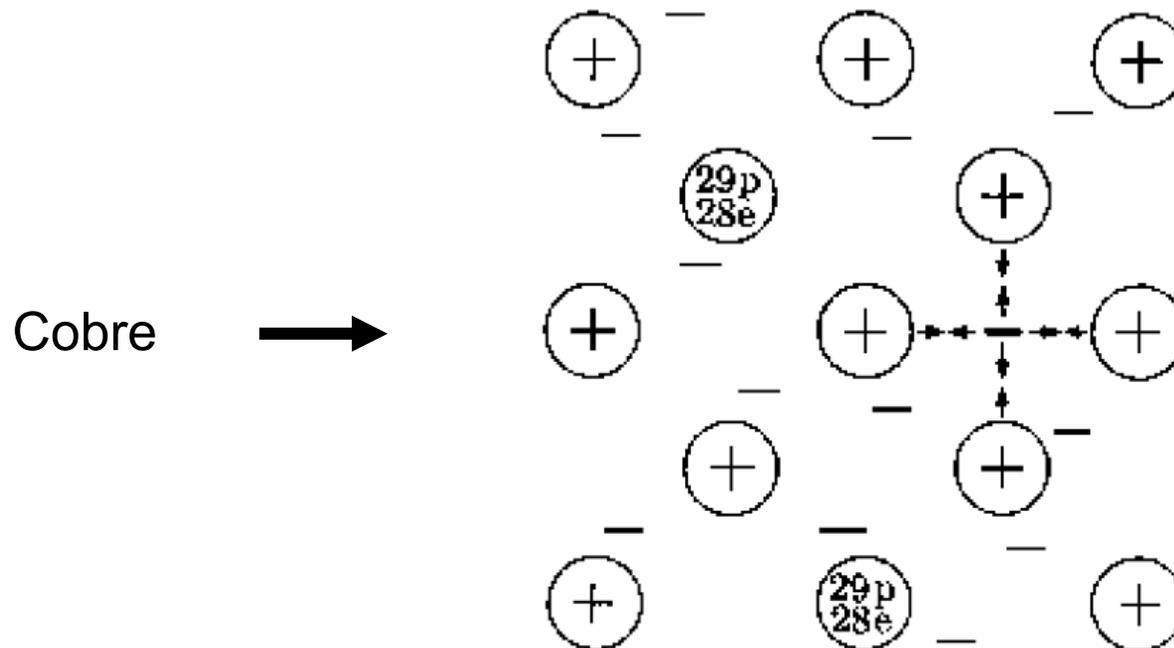
Ligação metálica:

- Ocorre preferencialmente nos metais;
- Íons positivos (cátions) e elétrons livres;
- Ligação forte entre átomos;
- Elevada condutividade elétrica e térmica.

Revisão da aula anterior

Ligação metálica:

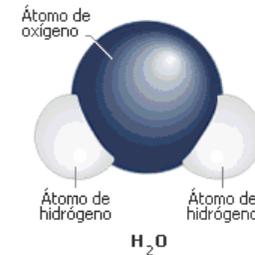
- Ocorre preferencialmente nos metais;
- Íons positivos (cátions) e elétrons livres;
- Ligação forte entre átomos;
- Elevada condutividade elétrica e térmica;
- Elétrons livres absorvem energia luminosa (opacos).



Revisão da aula anterior

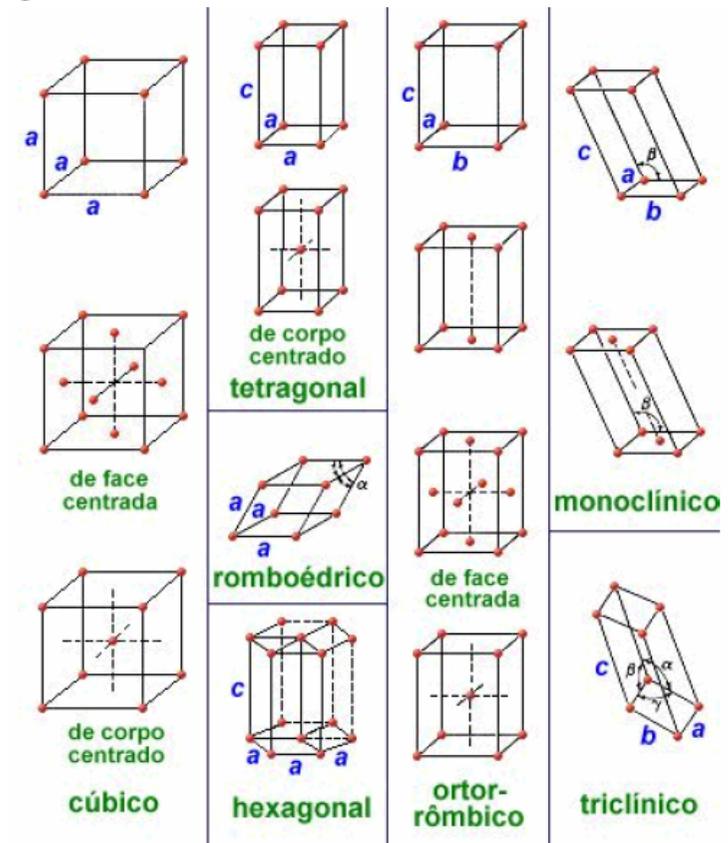
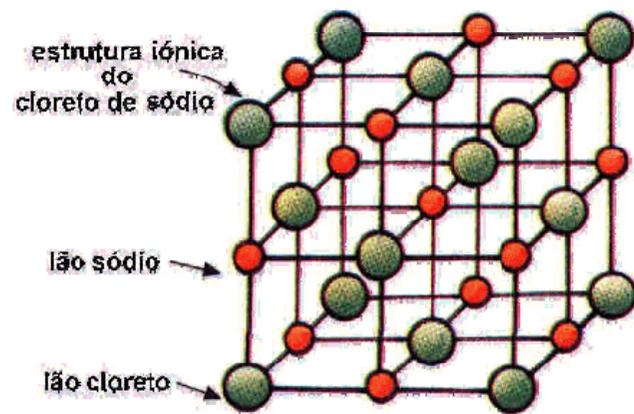
Estruturas moleculares:

- Pontos de ebulição e de fusão baixos;
- São moles (escorregamento);
- Idênticas na forma líquida ou na gasosa.



Estruturas cristalinas:

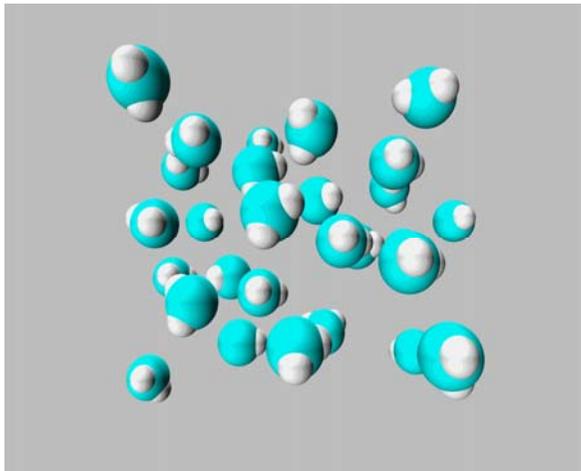
- O arranjo dos átomos se repete a longas distâncias.



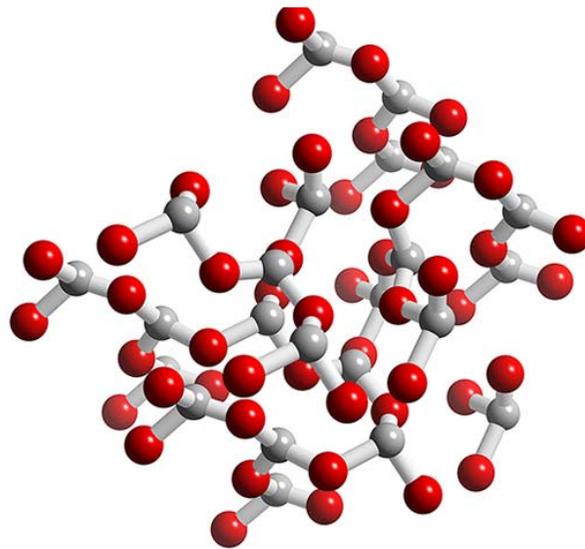
Revisão da aula anterior

Estruturas não cristalinas (amorfos):

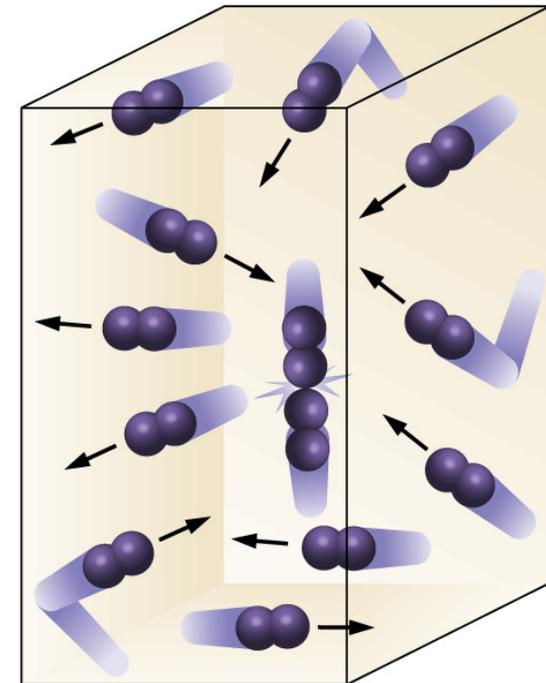
- São aqueles nos quais os átomos **não** se repetem num arranjo em largas distâncias atômicas.



H₂O (água)



B₂O₃ (vidro)

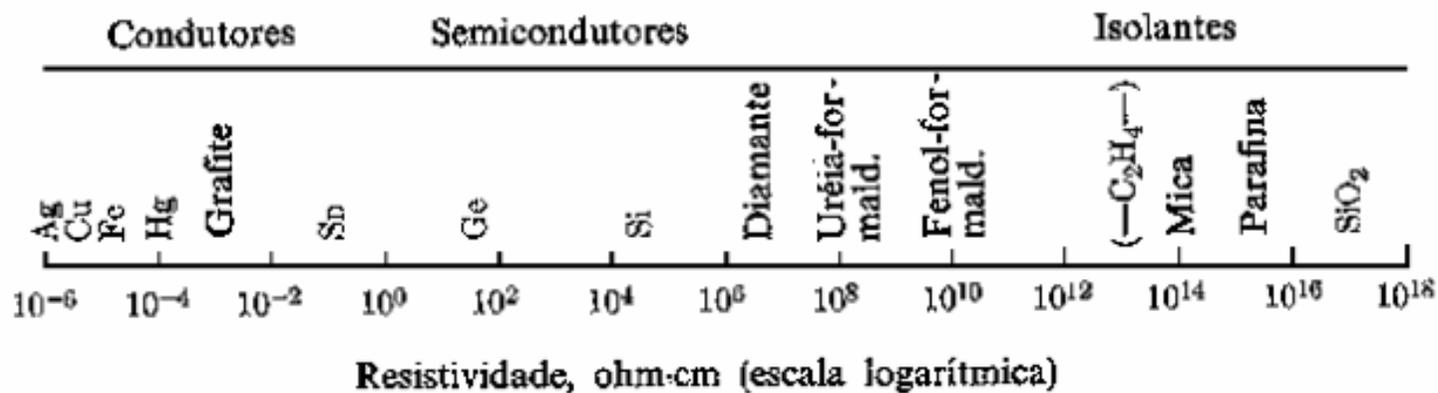


Gases

Revisão da aula anterior

Propriedades elétricas:

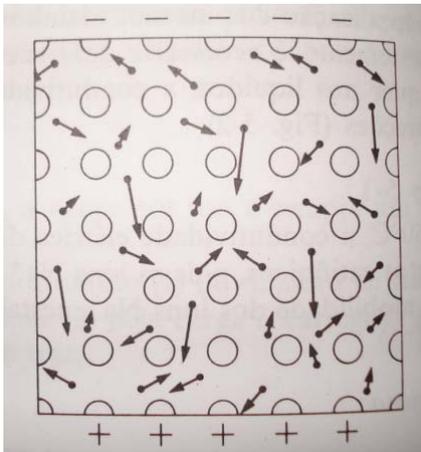
- Resistência elétrica; $\text{ohm} = \Omega$
- Resistividade; $\text{ohm} \cdot \text{cm} = \Omega \cdot \text{cm}$
- Condutância; $\text{siemens} = \text{S}$
- Condutividade; $\text{siemens/m} = \text{S/m}$
 mho/cm
- Constante dielétrica; $\text{mho} = \text{ohm}^{-1}$



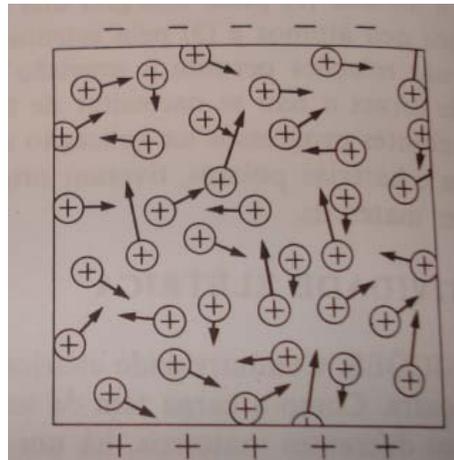
Revisão da aula anterior

Mecanismos de condução:

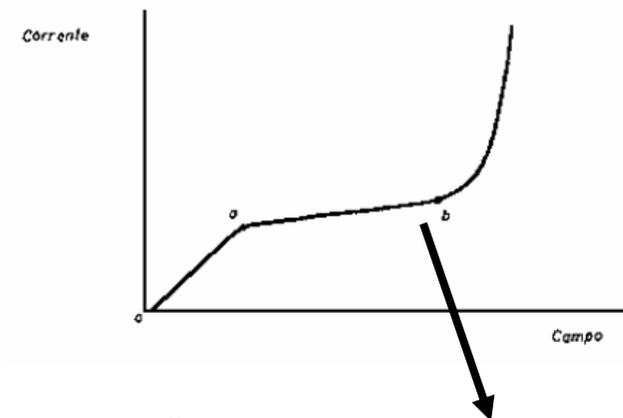
- Sólidos (elétrons livres na estrutura);
- Líquidos (íons positivos e negativos, nos dois sentidos);
- Gases (ionização e descarga).



Sólidos



Líquidos



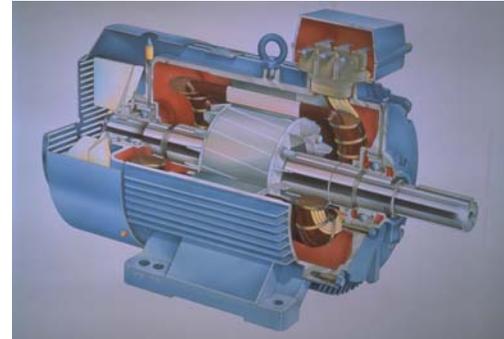
Gases



Propriedades mecânicas

Principais propriedades:

- Resistência mecânica;
- Elasticidade;
- Ductilidade;
- Fluência;
- Dureza;
- Tenacidade.

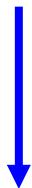


Propriedades mecânicas

Resistência mecânica:

- Qualidade dos materiais de suportarem a aplicação de esforços externos sem cederem ou romperem.

Tensão:



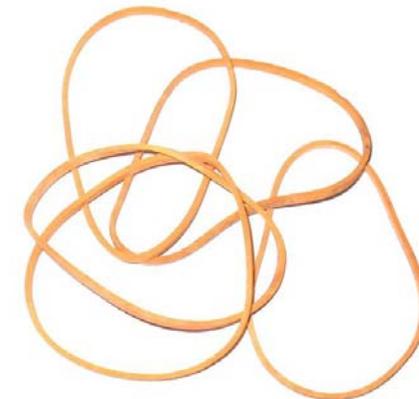
- Força por unidade de área;
- Expressa em kgf/cm^2 ;
- Calculada dividindo a força pela área.

Deformação:

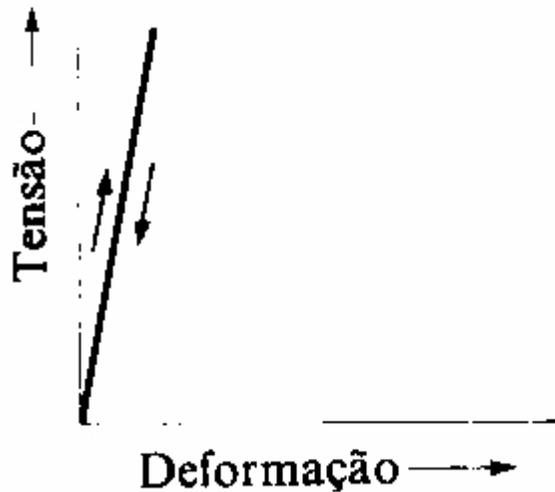
- Ação de modificar a forma (linear, superficial ou volumétrica);
- Elástica (desaparece com a cessação da causa);
- Plástica (permanece após cessada a causa).



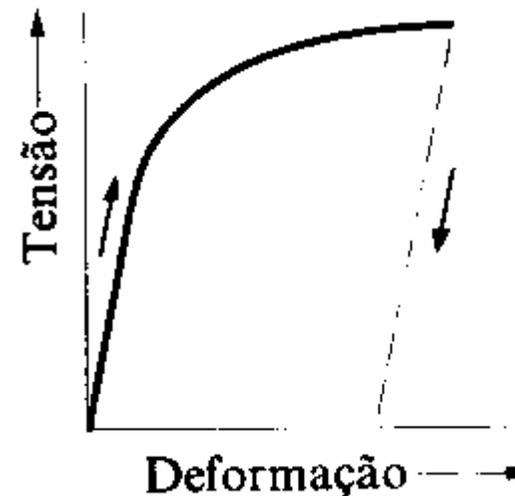
Fibra de nanotubos de carbono



Propriedades mecânicas



Relação elástica



Relação plástica

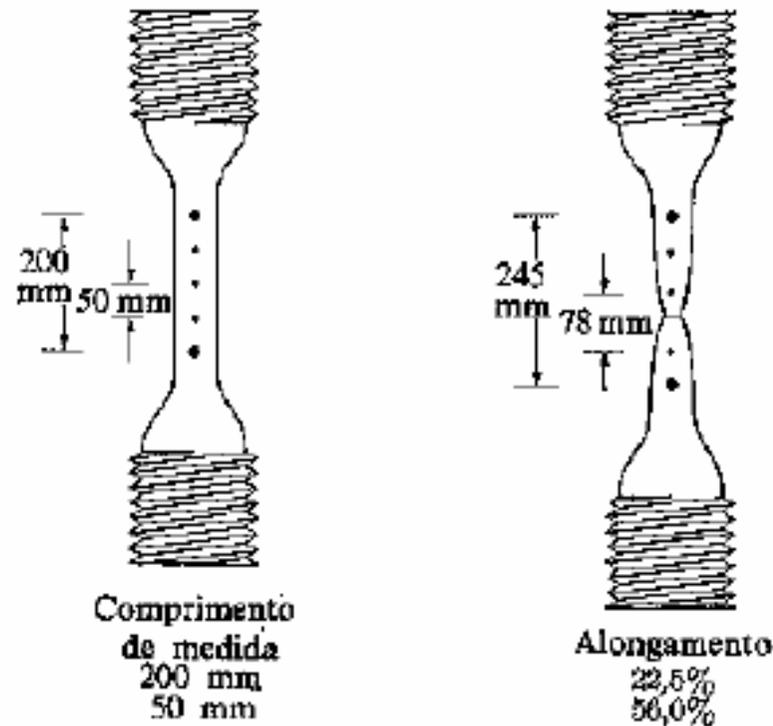
Módulo de elasticidade (módulo de Young):

- Relação entre a tensão aplicada e a deformação elástica;
- Está relacionado com a rigidez do material, expresso em kgf/mm^2 .

Propriedades mecânicas

Ductilidade:

- Deformação plástica até o ponto de ruptura;
- Pode ser expresso como alongamento.



Redução na área da seção reta do corpo

Propriedades mecânicas

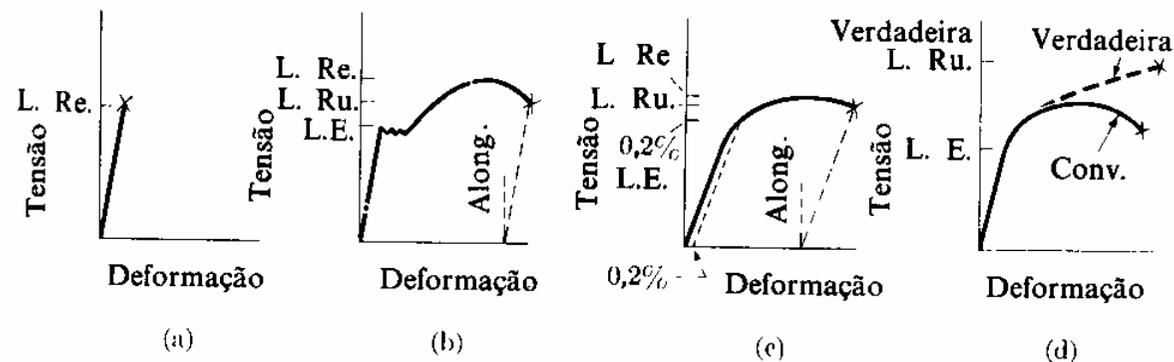
Estricção:

- Redução na área da seção reta do corpo, imediatamente antes da ruptura;
- É expresso em porcentagem:

$$\text{Estricção} = \frac{\text{área inicial} - \text{área final}}{\text{área inicial}}$$

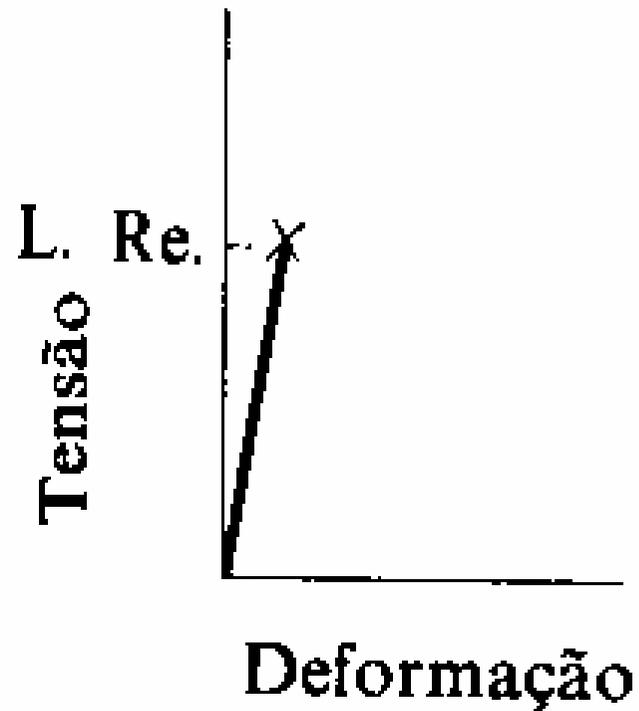
Limites do material:

- Limite elástico (de escoamento) → LE;
- Limite de resistência → LRe;
- Limite de ruptura → LRu.



Propriedades mecânicas

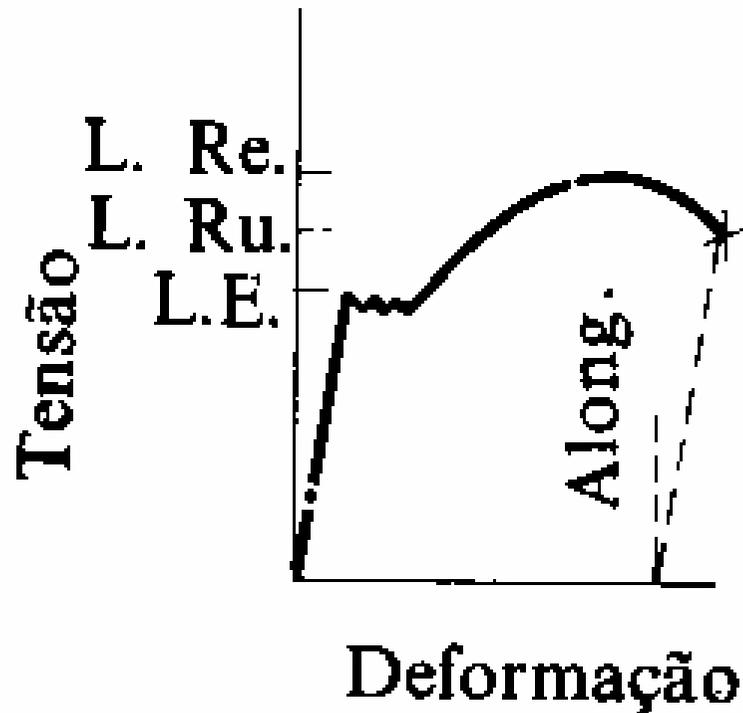
- Material não dúctil;
- Sem deformação plástica;
- Frágil;
- Ferro fundido.



(a)

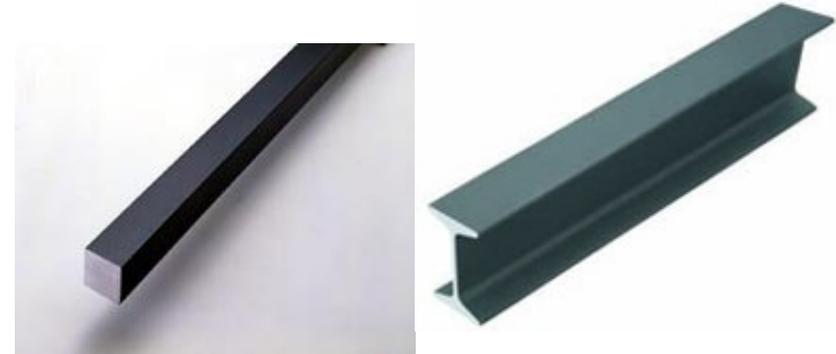


Propriedades mecânicas



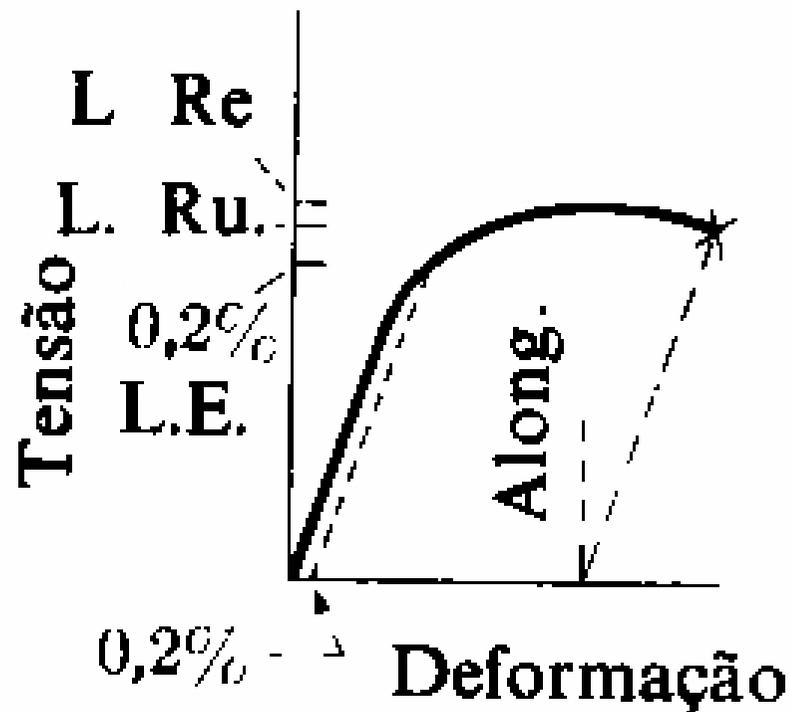
(b)

- Material dúctil;
- Possui LE;
- Aço de baixo carbono.



Empregadas principalmente em grades e portões, esquadrias, máquinas, implementos agrícolas e rodoviários e na indústria mecânica em geral

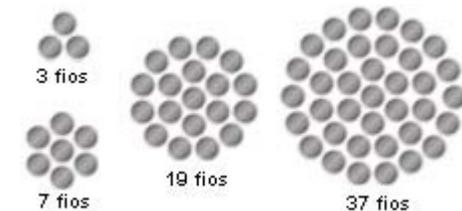
Propriedades mecânicas



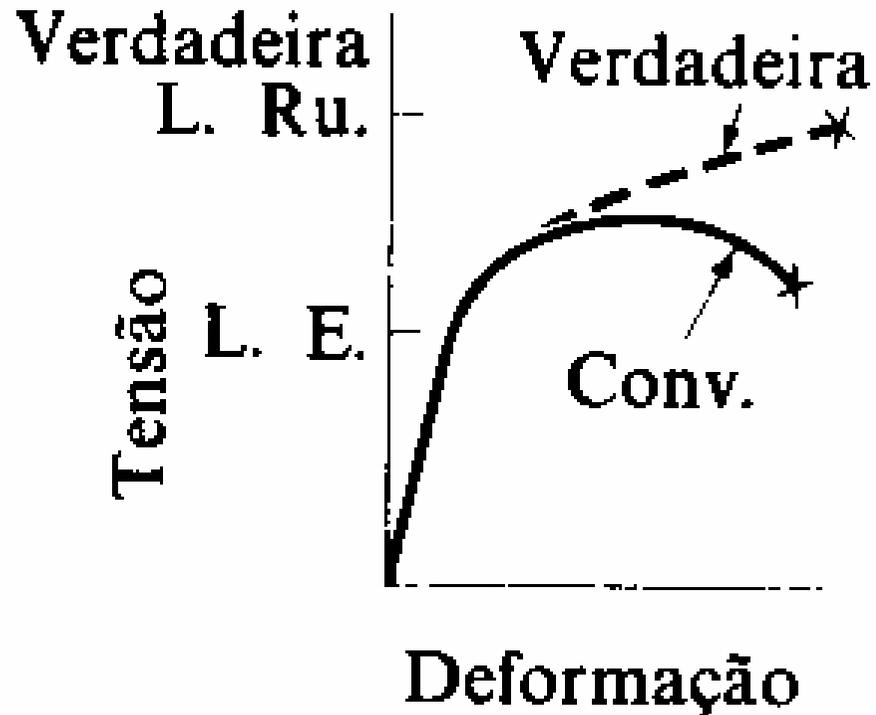
- Material dúctil sem LE;
- Limite convencional de escoamento = tensão para provocar uma deformação de 0,2%;
- Alumínio.



(c)



Propriedades mecânicas



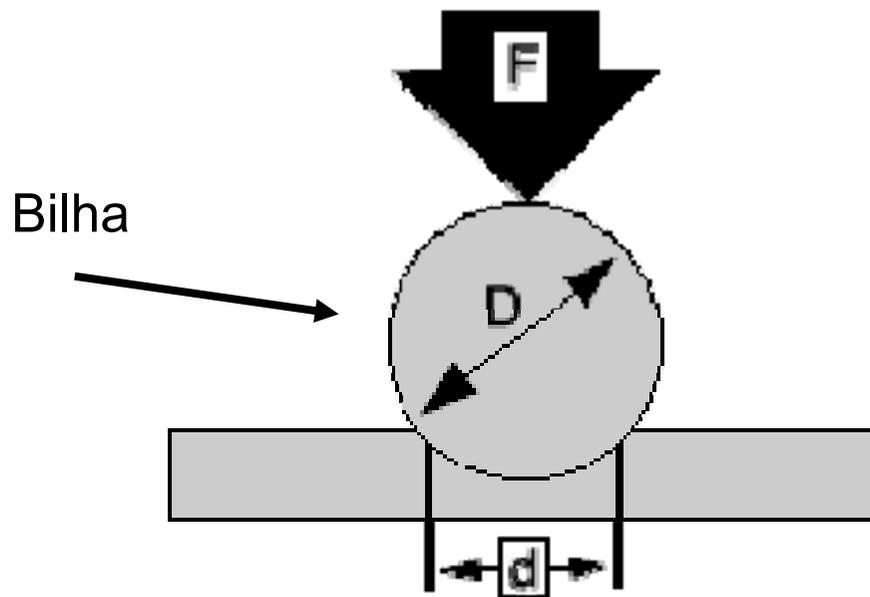
- Curva verdadeira;
- Calculada considerando a área real;

(d)

Propriedades mecânicas

Dureza:

- Definida pela resistência da superfície do material à penetração;
- BNH – Escala Brinell de dureza → índice de medida da dureza;
- Escala Rocwell.



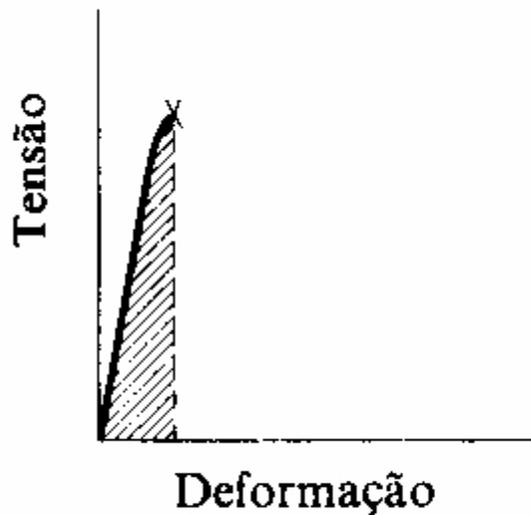
Durômetro



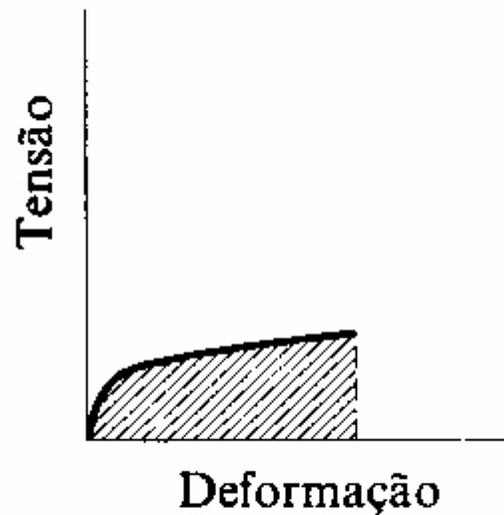
Propriedades mecânicas

Tenacidade:

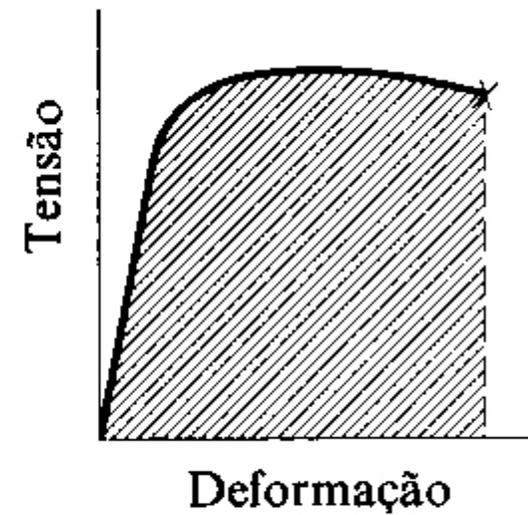
- Energia necessária para romper o material;
- Medida em kgf.cm;
- Resistência à tração = tensão necessária para romper o material.



(a)



(b)



(c)

Propriedades térmicas

Calor:

- Energia térmica;
- Expresso em calorias ou Btu.

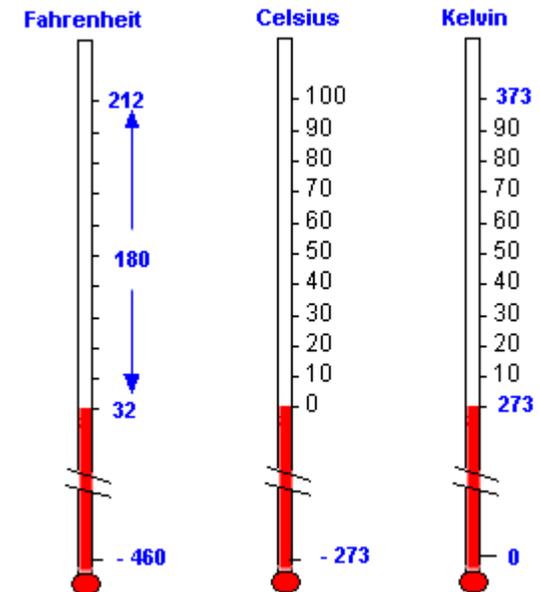
Temperatura:

- Nível de atividade térmica;
- Expresso em:

°C ou °F ou °K

$$^{\circ}\text{F} = 1,8(^{\circ}\text{C}) + 32$$

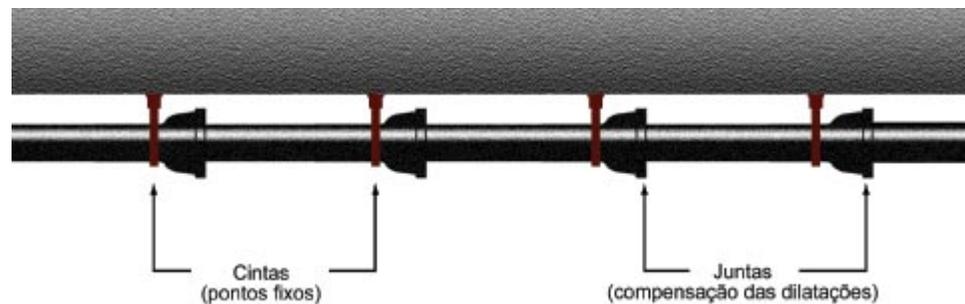
$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} [(^{\circ}\text{F}) - 32]$$



Propriedades térmicas

Propriedades térmicas mais importantes:

- Calor específico;
- Resistência ao calor;
- Resistência ao frio;
- Condutividade térmica;
- Dilatação.



Propriedades térmicas

Calor específico médio (C_m):

- Relação entre a quantidade de calor necessário (Q) para elevar a unidade de massa do corpo da temperatura θ_0 a θ_1 e a elevação de temperatura ($\theta_1 - \theta_0$):

$$C_m = \frac{Q}{m \cdot (\theta_1 - \theta_0)}$$

$$\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$C_{\text{aço}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{alum}} = 0,114 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{brn}} = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{brn}} = 0,094 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{cda}} = 0,24 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{marrom}} = 0,033 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{vidro}} = 0,217 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{cota}} = 0,092 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{plano}} = 0,03 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{plata}} = 0,056 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

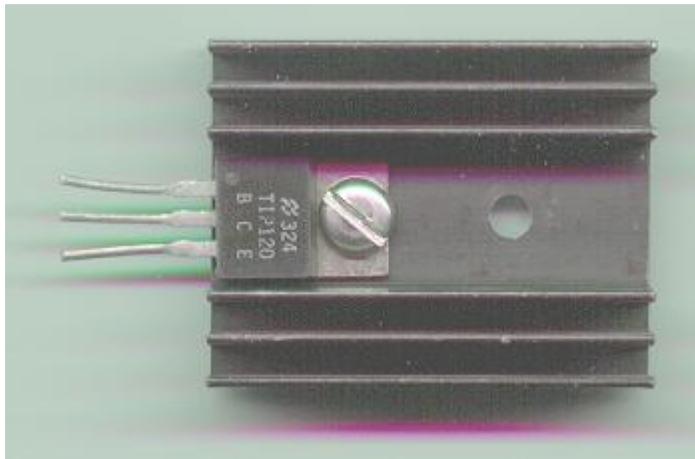
Propriedades térmicas

Resistência ao calor:

- Capacidade dos materiais e peças suportarem, sem prejuízo de suas propriedades, a manutenção por períodos curtos ou longos de **altas** temperaturas.

Resistência ao frio:

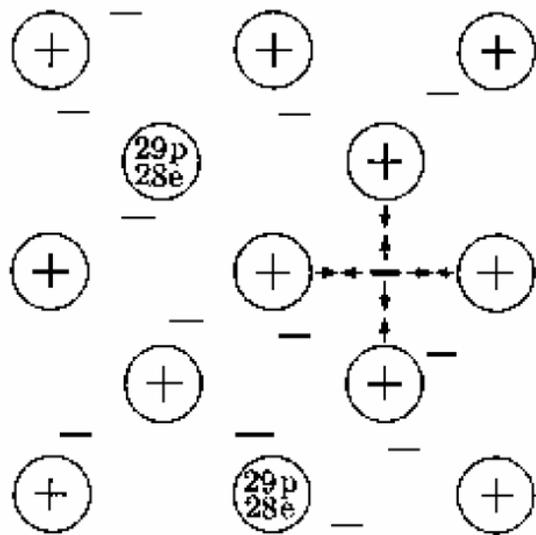
- Capacidade dos materiais e peças suportarem, sem prejuízo de suas propriedades, a manutenção por períodos curtos ou longos de **baixas** temperaturas.



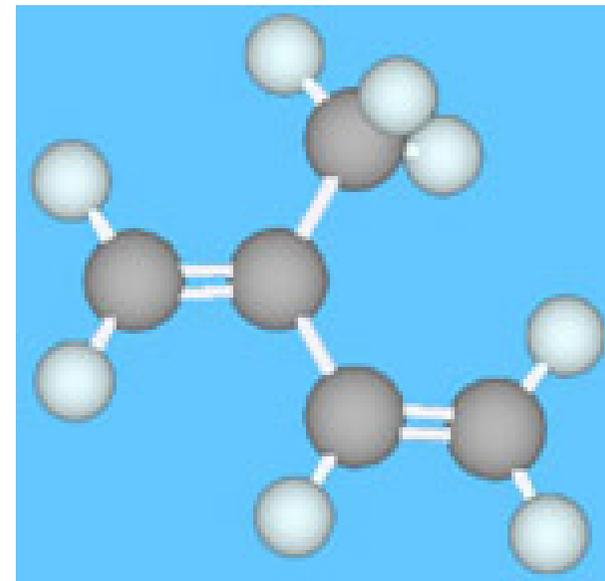
Propriedades térmicas

Condutividade térmica:

- Propagação do calor através dos corpos;
- Nos metais a energia térmica é transferida pelos elétrons;
- Nos polímeros a transferência de energia é realizada pelas cadeias de moléculas.



Cobre



Isoprene

Propriedades térmicas

Dilatação térmica:

- Alteração (aumento) nas dimensões do corpo em função da temperatura;

- Expressa em:

$$\left[\frac{cm}{cm \cdot ^\circ C} \right]$$

(α) = Coeficiente de dilatação linear

$$L_0 = 100 \text{ cm} \quad \theta_0 = 10^\circ\text{C}$$



$$L = 101 \text{ cm} \quad \theta = 30^\circ\text{C}$$



$$\Delta L = L - L_0$$

$$\Delta \theta = \theta - \theta_0$$

$$\Delta L = 1 \text{ cm}$$

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta \theta$$

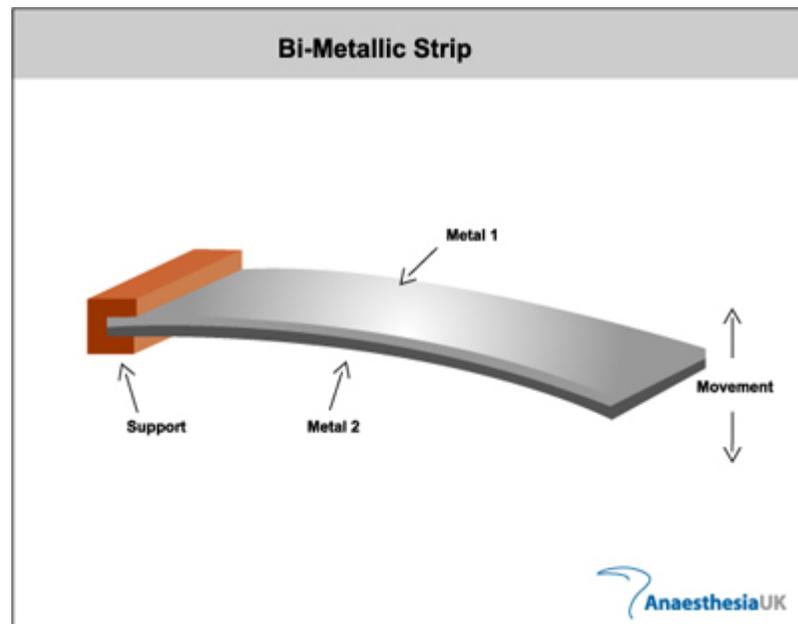
ΔL = dilatação linear

α = coeficiente de dilatação linear

L_0 = comprimento inicial

$\Delta \theta$ = variação de temperatura

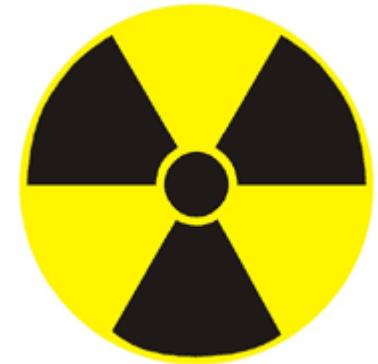
$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta \theta)$$



Propriedades químicas

Efeito da radiação:

- A estrutura molecular ou atômica do material pode receber energia por meio de radiação.



Propriedades químicas

Corrosão:

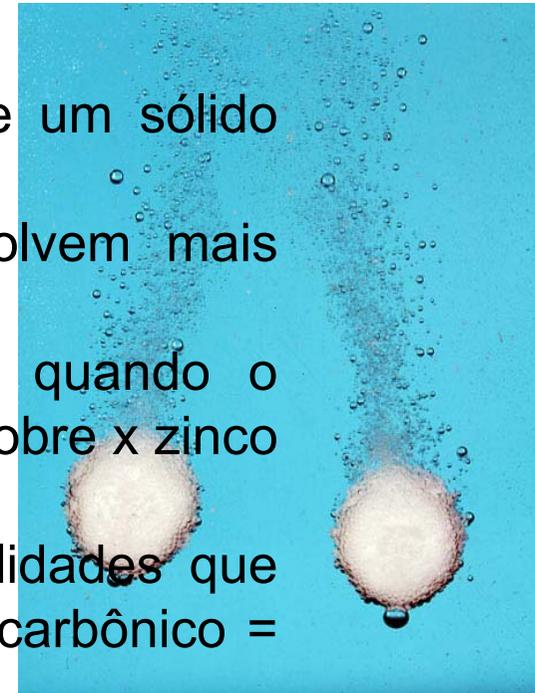
- É a deterioração e a perda de um material devido a um ataque químico;
- Representa alterações como: desgaste, variações químicas ou modificações estruturais;
- Pode ser por:
 - dissolução;
 - oxidação eletroquímica.



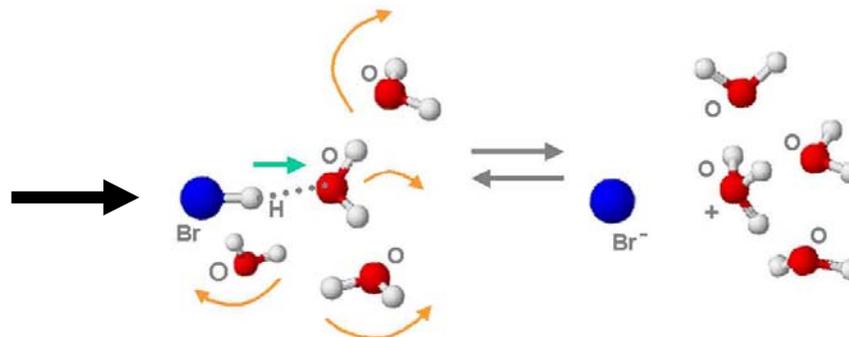
Propriedades químicas

Corrosão por dissolução:

- Reação química em que moléculas de um sólido são dispersadas como íons em uma fase líquida;
- Moléculas e íons pequenos se dissolvem mais facilmente (asfalto x plástico);
- Solubilização ocorre mais facilmente quando o soluto e o solvente tem estruturas semelhantes (cobre x zinco líquido – chumbo líquido);
- Dois solutos produzem maiores solubilidades que apenas um (carbonato de cálcio x água – ácido carbônico = água + gás carbônico).



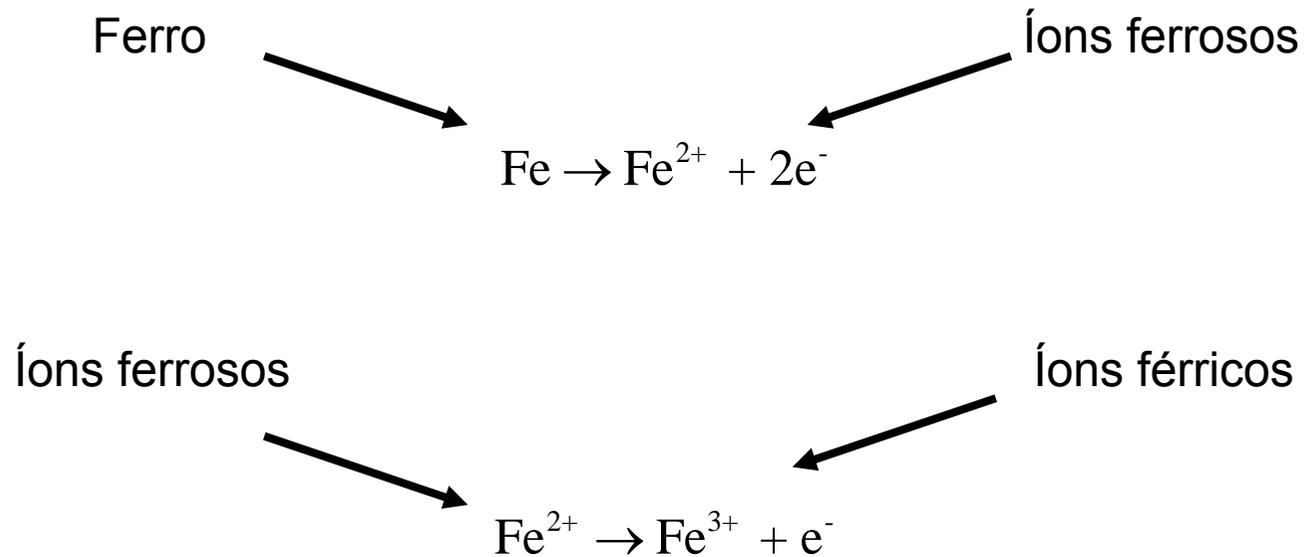
Dissolução do brometo de hidrogênio



Propriedades químicas

Corrosão eletroquímica:

- Processo de oxidação de um metal;
- Oxidação é a remoção de elétrons de um átomo.



Propriedades químicas

Formação da ferrugem:

- Reação química com perda de elétrons;
- Óxido férrico.

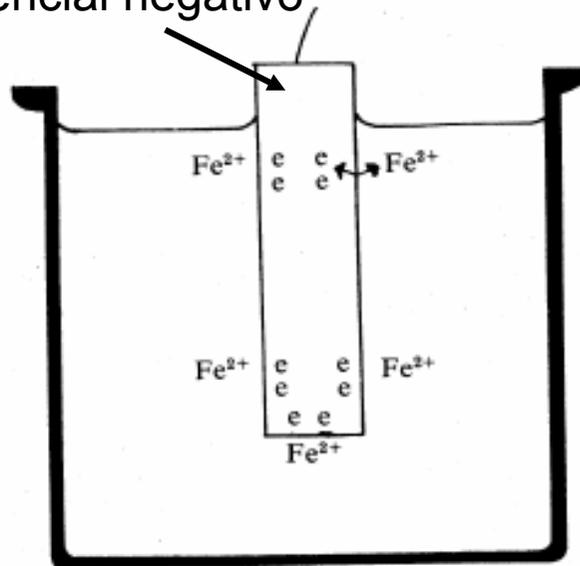


Propriedades químicas

Potencial de eletrodo:

- Eletrodo é o sistema formado pelo metal e pela solução eletrolítica vizinha ao metal;
- A imersão de um metal nas soluções eletrolíticas determina o estabelecimento de uma diferença de potencial entre as fases (sólida e líquida).

Potencial negativo



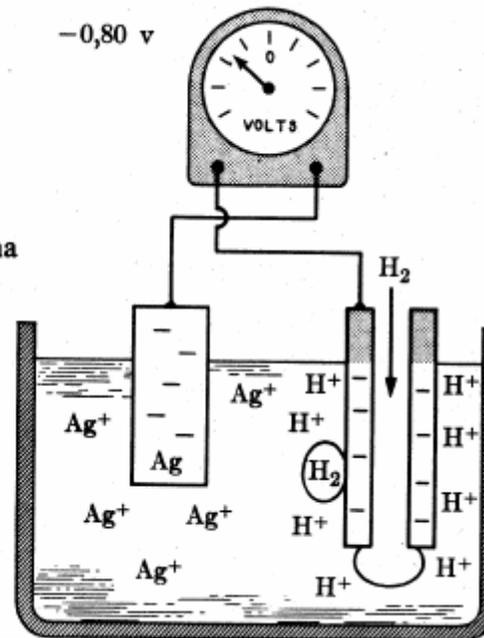
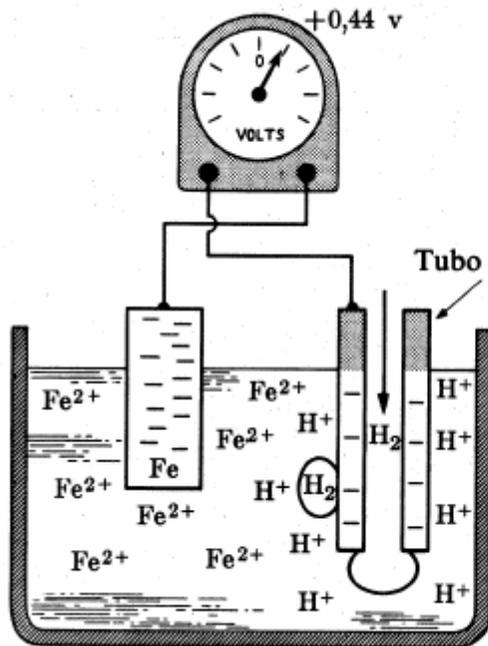
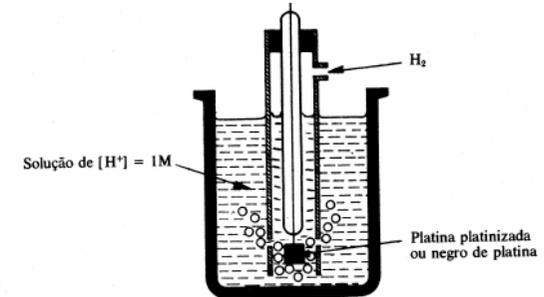
- Dissolução do ferro em solução;
- Formam-se íons de ferro;
- Os elétrons produzem um potencial.



Propriedades químicas

Eletrodo normal de hidrogênio:

- Referencial para a tabela de potenciais de eletrodo.



Potencial negativo:

$Fe > H$

Fe = anodo

H = catodo

$Ag < H$

Ag = catodo

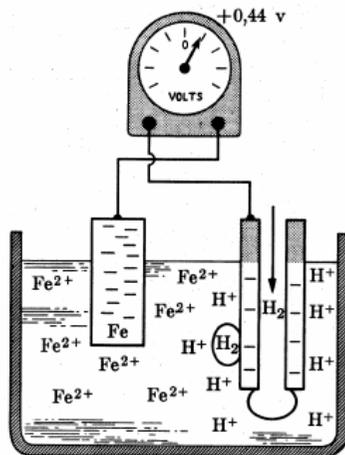
H = anodo

Anodo – cede elétrons (saem do).

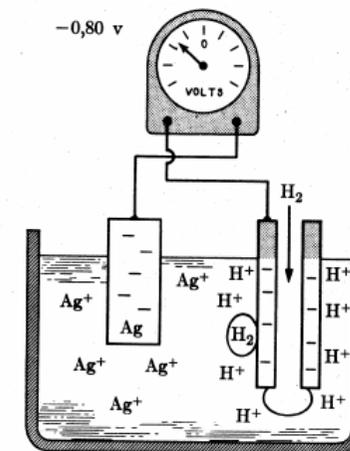
Catodo – recebe elétrons (entram no).

Propriedades químicas

Tabela de potenciais de eletrodo



Íon metálico	Potencial*
Li ⁺ (básico)	+ 2,96 (anódico)
K ⁺	+ 2,92
Ca ²⁺	+ 2,90
Na ⁺	+ 2,71
Mg ²⁺	+ 2,40
Al ³⁺	+ 1,70
Zn ²⁺	+ 0,76
Cr ²⁺	+ 0,56
Fe ²⁺	+ 0,44
Ni ²⁺	+ 0,23
Sn ²⁺	+ 0,14
Pb ²⁺	+ 0,12
Fe ³⁺	+ 0,045
H ⁺	0,000 (referência)
Cu ²⁺	- 0,34
Cu ⁺	- 0,47
Ag ⁺	- 0,80
Pt ⁺⁺	- 0,86
Au ⁺ (nobre)	- 1,50 (catódico)



Propriedades químicas

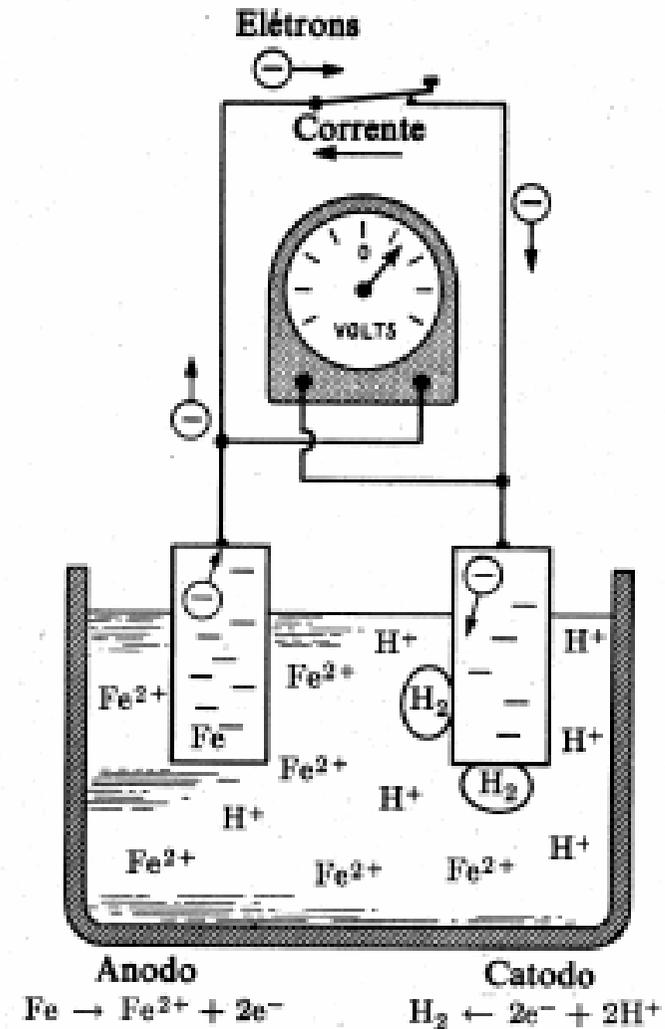
Células galvânicas:

- É um dispositivo que permite a conversão de energia química em energia elétrica.

Anodo (maior potencial)



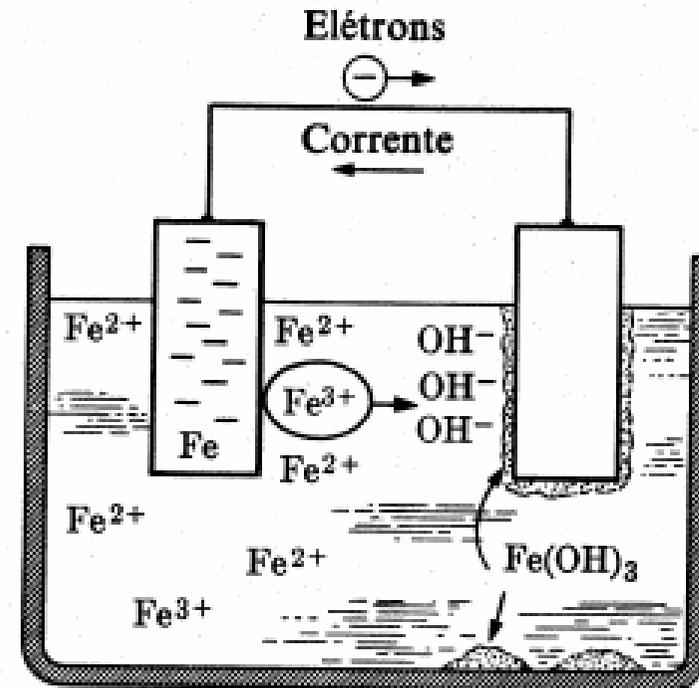
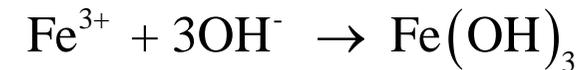
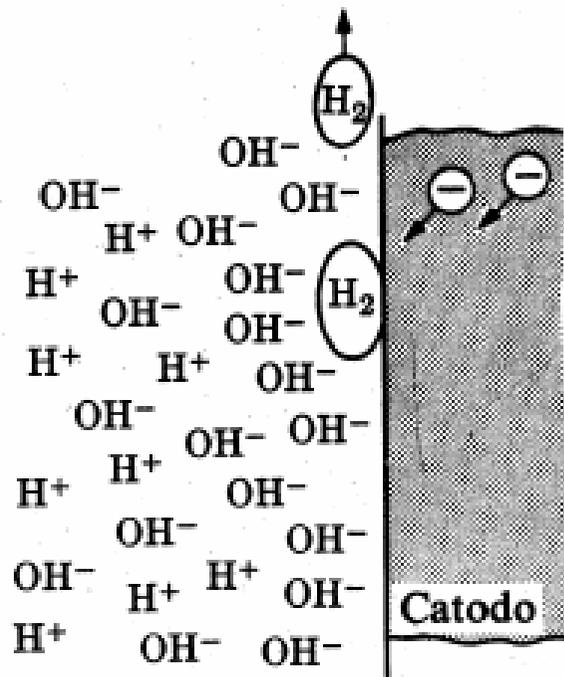
Catodo (menor potencial)



Propriedades químicas

Formação da ferrugem:

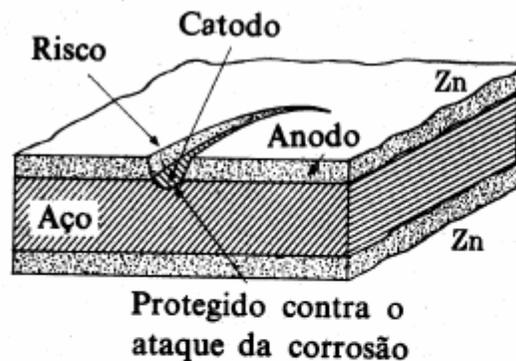
- A corrosão (perda de elétrons) ocorre no anodo, mas a formação da ferrugem ocorre no catodo.



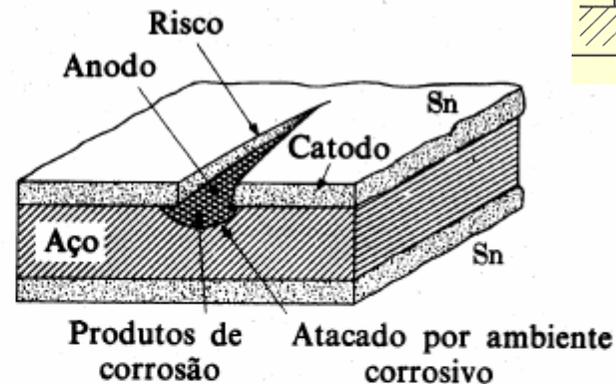
Propriedades químicas

Classificação das células galvânicas:

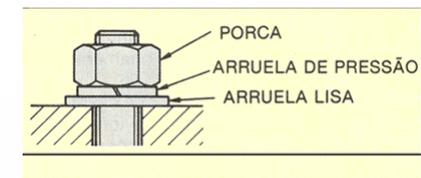
- Células de composição (formada a partir de metais diferentes);
- Células de tensão (deformação a frio – encruamento);
- Células de concentração (deficiência de oxigênio).



Aço Galvanizado. O zinco atua como anodo e o ferro como catodo. Portanto, o ferro está protegido, mesmo que a camada de zinco seja perfurada



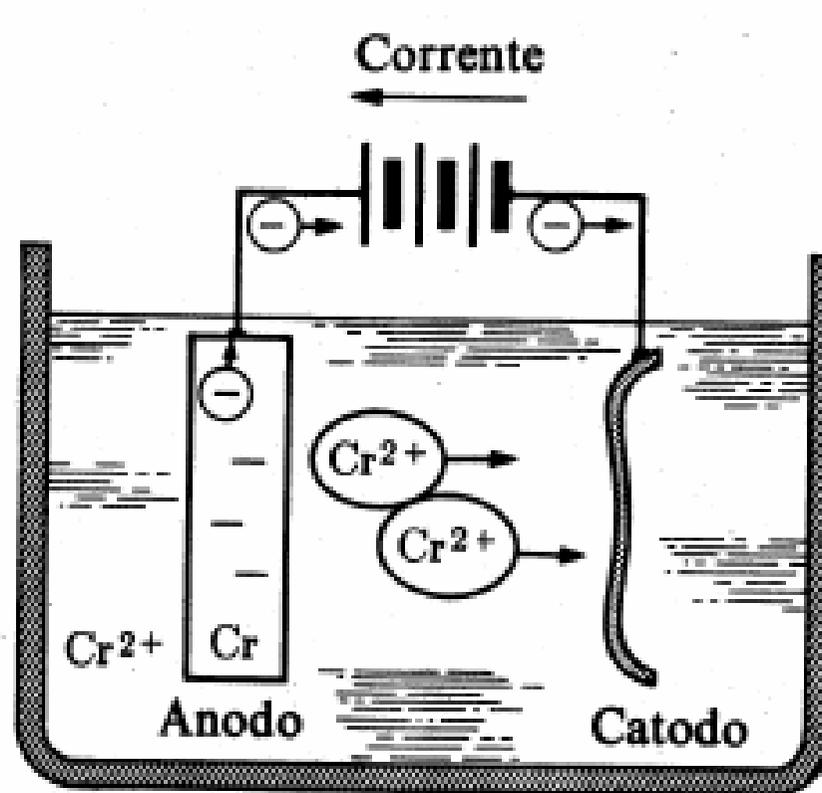
Aço Estanhado. O estanho protege o ferro, enquanto a camada for contínua. Quando a camada é perfurada o ferro do aço funciona como anodo e o estanho como catodo, o que acelera a corrosão



Propriedades químicas

Galvanoplastia:

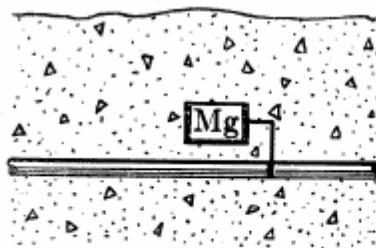
- Deposição de metal no catodo.



Propriedades químicas

Prevenção da corrosão:

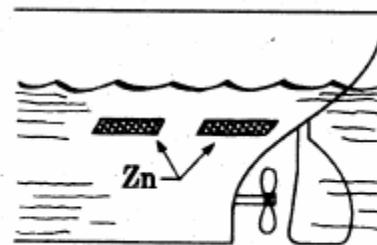
- Isolamento dos eletrólitos e eletrodos → camadas de proteção;
- Ausência de formação de pares galvânicos;
- Proteção galvânica.



Cano subterrâneo

(a)

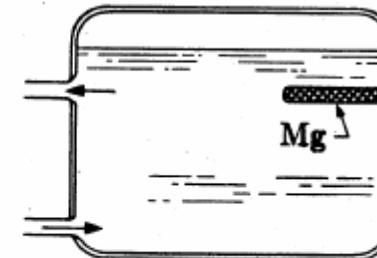
Placas de magnésio
ao longo de oleoduto



Navio

(b)

Placas de zinco em
casco de navio



Tanque de água

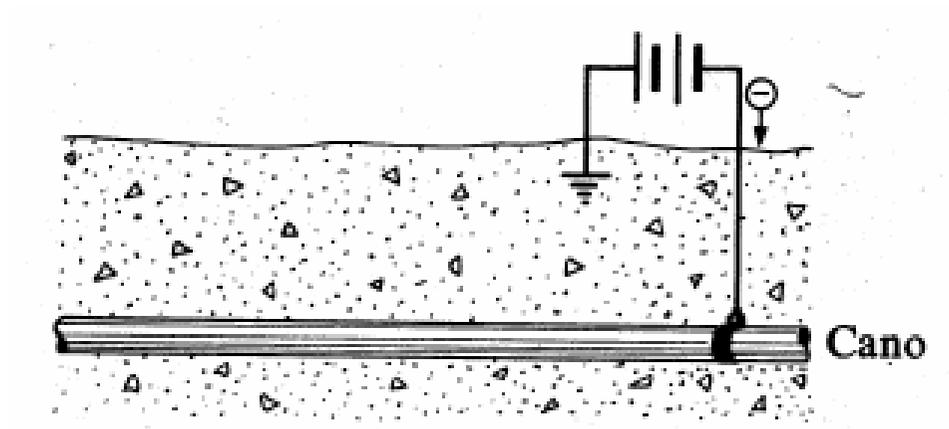
(c)

Barra de magnésio em
tanque industrial

Uso de eletrodos de sacrifício operando como anodos

Propriedades químicas

Aplicação de uma tensão externa (fonte de elétrons)



Próxima aula

Cronograma:

1. Propriedades gerais dos materiais;
2. Materiais magnéticos;
3. Materiais condutores;
4. Materiais semicondutores;
5. Materiais isolantes.