



Ciência e Tecnologia dos Materiais Elétricos

Aula 1

Prof.^a Clebes André da Silva

Capítulo 1

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS USADOS EM ENGENHARIA

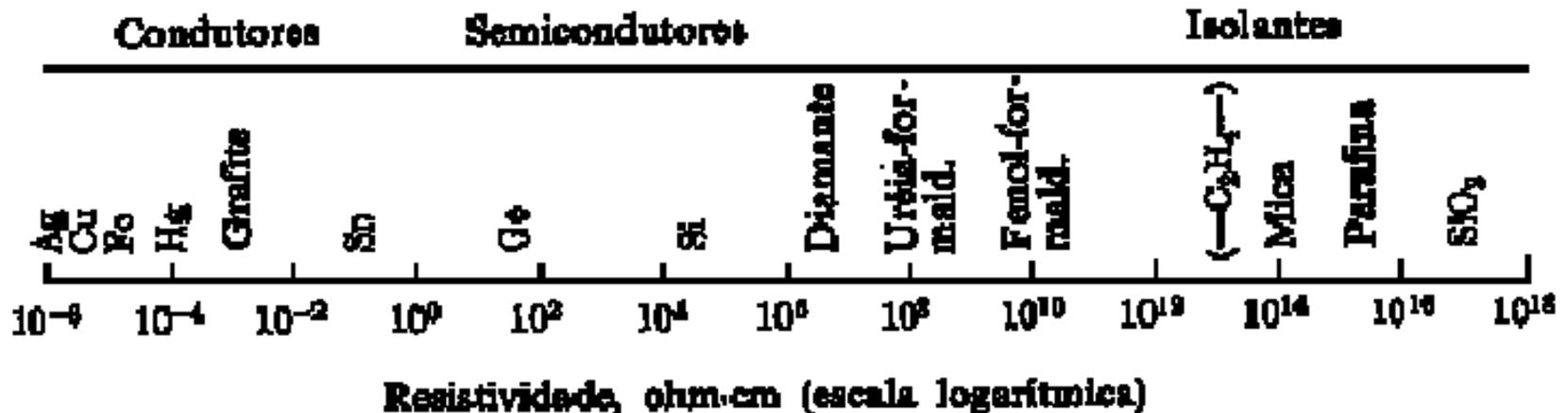
1.1 Introdução

- Distinguir e recomendar os materiais
- Correlacionar:
 - Propriedades estruturais
 - Comportamento
 - Tendências
 - Impactos ambientais
- Como selecionar um material?
 - i. Propriedades x condições de serviço;
 - ii. Considerar os efeitos das mudanças que ultrapassam o limite da normalidade;
 - iii. Segurança e custo;
 - iv. Tratamento do material;



1.2 Propriedades Eléctricas

- Possuem suas características definidas quando imersos num campo elétrico.
- São classificados em:
 - Condutores
 - Semicondutores
 - Isolantes



1.2.1 Condutividade e Resistividade Eléctricas

Condutividade eléctrica: quantifica a disponibilidade ou a facilidade de circular corrente eléctrica em um meio material submetido a uma diferença de potencial.

$$\sigma = n e \mu_n + p e \mu_p$$

σ = condutividade eléctrica do material (S/m , onde S = Siemens; ou ainda $\Omega^{-1}m^{-1}$)

n = concentração de elétrons livres do material (cm^{-3} ou m^{-3})

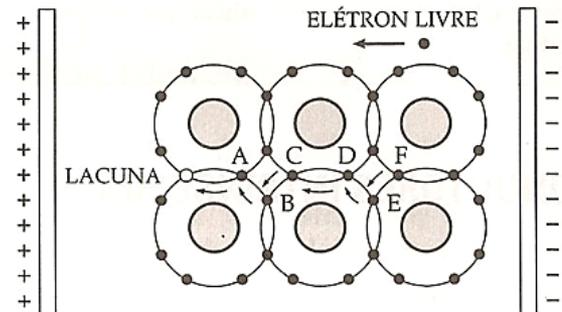
p = concentração de cargas livres positivas do material (cm^{-3} ou m^{-3}), chamadas lacunas

e = carga eléctrica elementar = $1,6022 \times 10^{-19} C$ (C = Coulombs)

μ_n, μ_p = mobilidade dos elétrons livres e das lacunas (m^2/Vs), respectivamente

Elétrons – carga (-); presente em todo tipo de material

Lacunas – carga (+); presente apenas em semicondutores



1.2.1 Condutividade e Resistividade Elétricas

Resistividade elétrica (ρ): oposição que o material faz ao fluxo de elétrons.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{n e \mu_n + p e \mu_p}$$

Unidade: Ωm ou $\Omega mm^2 / m$.

A resistividade depende da temperatura.

Material	Resistividade ρ ($\Omega.m$)
Condutores	
Prata	$1,58 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,67 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,65 \times 10^{-8}$
Tungstênio	$5,6 \times 10^{-8}$
Ferro	$9,71 \times 10^{-8}$
Semicondutores	
Carbono (grafite)	$(3 - 60) \times 10^{-5}$
Germânio	$(1 - 500) \times 10^{-3}$
Silício	0,1 - 60
Isolantes	
Vidro	$10^9 - 10^{12}$
Borracha	$10^{13} - 10^{15}$

1.2.1 Condutividade e Resistividade Elétricas

- Outra forma de cálculo:

$$\rho = \frac{R A}{l}$$

R é a resistência elétrica (Ω)

A é a área da seção transversal do material (m^2 ou mm^2)

l é o comprimento (m ou km)

- A resistência R obedece a Lei de Ohm ($U = R i$)
- A resistência R não pode ser calculada a partir da resistividade, quando o material está submetido à corrente alternada por causa do Efeito Peculiar (capítulo 3).
- Quanto o menor a resistividade menores serão as perdas de energia (Efeito Joule) do material.



1.2.2 Permissividade Dielétrica

➤ Propriedades Elétricas do Material:

Condutor elétrico:

- grande concentração de elétrons livres (10^{22} elétrons livres/ cm^3);
- Um condutor isolado, se mergulhado um campo elétrico externo, tem seus elétrons livres rearranjados anulando o campo elétrico interno;

Isolante elétrico (dielétrico):

- Pequena concentração de elétrons livres (10^6 elétrons livres/ cm^3);
- O campo elétrico interior não é anulado, quando material é mergulhado num campo elétrico;

1.2.2 Permissividade Dielétrica (ϵ)

Permissividade Dielétrica (ϵ): é a propriedade que representa a capacidade do material de permitir o adensamento de um fluxo de campo elétrico.

- ✓ Nos materiais isolantes a polarização das moléculas (dipolos elétricos) formam uma carga em sua superfície, quando na presença de uma campo elétrico.
- ✓ Unidade: F/m
- Permissividade elétrica do ar/vácuo: $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
- Permissividade relativa (ϵ_r): medida em relação à permissividade do ar ou vácuo.

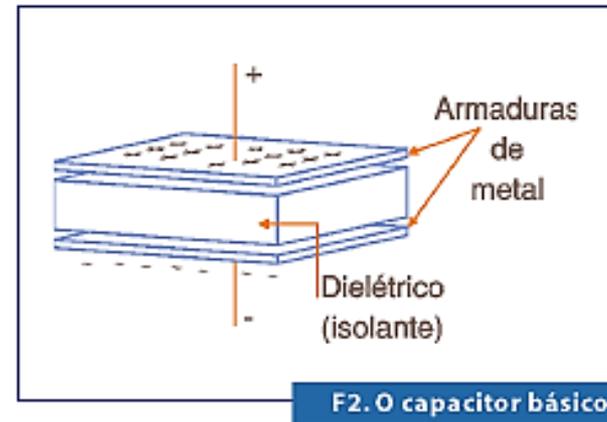
$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad \text{adimensional}$$

1.2.2 Permissividade Dielétrica

- Constante dielétrica: relação de capacitâncias entre um capacitor com um determinado dielétrico e outro capacitor igual com dielétrico substituído pelo ar ou vácuo.

$$K = \epsilon_r = \frac{C}{C_0}$$

Permissividade dielétrica do ar/vácuo: varia com a temperatura e frequência de utilização.



Material	Permissividade dielétrica (k)
Ar	~1
Mica	5 a 7,8
Vidros	5 a 10
Porcelana	5,1 a 5,5
PVC	2,6 a 6,5
EPR	2,6
Óleo de transformador	2,5
Papel encerado	3,1
Ebonite	2 a 2,8

1.2.3 Rigidez Dielétrica

Rigidez Dielétrica (E_{max}): é o máximo valor de tensão por unidade de espessura, cujo material não irá se ionizar.

Unidade: kV/mm

Varia com alguns fatores:

- Temperatura.
- Espessura do dielétrico.
- Tempo de aplicação da diferença de potencial
- Taxa de crescimento da tensão.
- Para um gás, a pressão é fator importante.



Material	$E_{m\acute{a}x}$ (kV/mm)	Material	$E_{m\acute{a}x}$ (kV/mm)	Material	$E_{m\acute{a}x}$ (kV/mm)
ar seco	3	EPR	53	vidro	80
poliestireno	20	mica	60	porcelana	100
PVC	50	polietileno reticulado	65	óleo mineral	15 a 280

Tab. 1.2.3: Rigidez dielétrica de alguns materiais a 20 °C.

1.3 Propriedades Magnéticas

Força magnética ou magnetismo é fundamental na geração e aproveitamento da corrente.



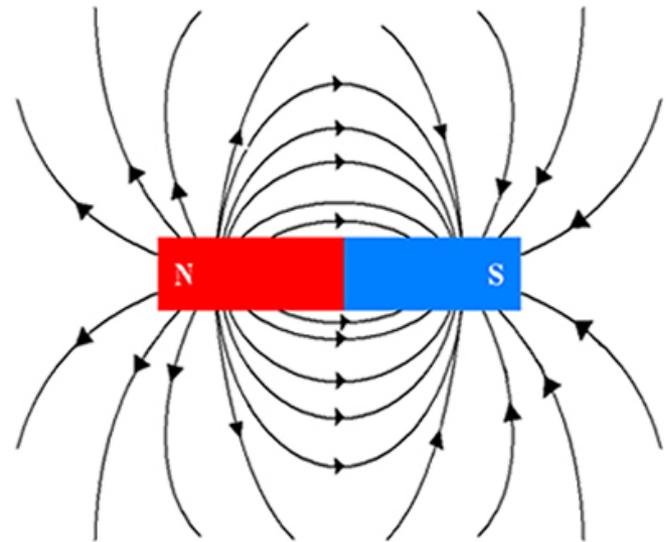
1.3.1 Permeabilidade e Susceptibilidade Magnética

A concentração das linhas do campo magnético de um material podem apresentar comportamentos diferentes, quando submetido a um campo magnético:

- Atração
- Repulsão
- Não há perturbação

Classificação dos materiais:

- Fracamente atraídos (paramagnéticos);
- Fracamente repelidos (diamagnéticos);
- Fortemente atraídos (ferromagnéticos) ou
- Não exercem ação alguma sobre as linhas de fluxo magnético (indiferentes).



1.3.1 Permeabilidade e Susceptibilidade Magnética

Permeabilidade magnética (μ): propriedade que descreve a ação do material sobre as linhas de campo magnético.

- Unidade: H/m ($H = \text{Henry}$)
- Permeabilidade magnética no vácuo: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$

Permeabilidade relativa (μ_r): permeabilidade do material com relação ao vácuo.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

- Unidade: adimensional

1.3.1 Permeabilidade e Susceptibilidade Magnética

Tipos de materiais quanto a permeabilidade magnética:

- Materiais indiferentes: $\mu = \mu_r = 1$
- Materiais diamagnéticos: $\mu < \mu_0$ ligeiramente menor que 1
- Materiais paramagnéticos: $\mu > \mu_r$ ligeiramente maior que 1
- Materiais ferromagnéticos: $\mu \gg \mu_r$ muito maiores que 1

Permeabilidade magnética depende da temperatura:

Material	Permeabilidade magnética relativa μ_r
Ar, cobre e madeira	1
Prata	1 a -20×10^{-6}
Zinco	1 a -10×10^{-6}
Alumínio	1 a $+22 \times 10^{-6}$
Ferro	5500
Aço	500 a 5000

1.3.1 Permeabilidade e Susceptibilidade Magnética

Magnetização (M): de um material representa o grau de polarização dos dipolos magnéticos do material quando o mesmo é atravessado por um campo magnético H.

$$M = (\mu_r - 1) H = \chi_m H \quad (A/m)$$

Onde, χ_m é susceptibilidade magnética;

Susceptibilidade magnética (χ_0):

- Medida da intensidade com que o material pode ser magnetizado.
- Facilidade com que um material se deixa atravessar pelo fluxo magnético circulante.

$$\chi_m = \mu_r - 1 \text{ (adimensional)}$$

1.3.2 Retentividade e Relutividade

- **Retentividade:** habilidade do material em reter a magnetização do mesmo quando cessado o campo magnético que o atravessa.
 - Aplicada a materiais ferromagnéticos (mantém o magnetismo residual);
 - Não aplicada a equipamentos que têm perdas por histerese:
 - Transformadores
 - Motores elétricos
 - Aplica-se dispositivos como fitas K7, que armazenam informações;

Relutividade: oposição feita ao estabelecimento de um fluxo magnético num meio material.

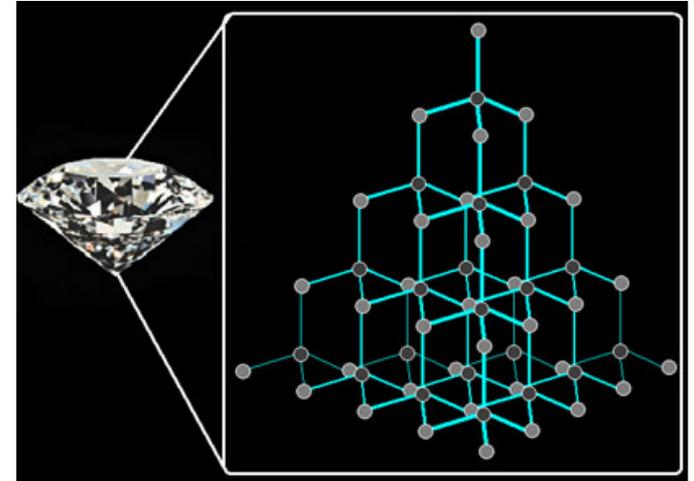
- Inverso da permeabilidade magnética: $(1/\mu)$;
- Efeito análogo à resistividade elétrica;

1.4 Propriedades Físicas

- Dependem dos átomos e sua estrutura cristalina
- Foco deste estudo: estado físico e massa específica

1.4.1 Estado Físico

- Depende da distância entre átomos, moléculas e íons.
- Estados: Sólido, líquido e gasoso



A. Sólido

- Forma própria;
- Volume constante;
- Átomos e moléculas muito próximos. Não se movimentam, apenas vibram.

1.4 Propriedades Físicas

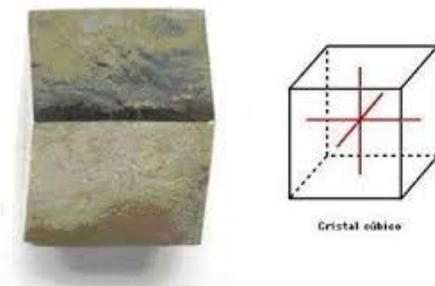
Aplicações:

- Fabricação de fios, cabos e barramentos (cobre, alumínio e ligas metálicas)
- Dielétricos em capacitores (mica, cerâmica, plásticos)
- Isoladores (porcelana, polistireno, vidro, borrachas, PVC)
- Estruturas de suporte
- Núcleos magnéticos (ferro e suas ligas)



➤ Formações da rede cristalina de um sólido:

I. Sistema cúbico:

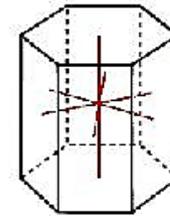


- Cúbico simples (silício e germânio)
- Cúbico de face centrada (cobre, alumínio, prata, ouro, níquel)
- Cúbico de corpo centrado (ferro, tungstênio, cromo)

1.4 Propriedades Físicas

II. Sistema hexagonal

Ex: zinco, magnésio, cádmio, berílio



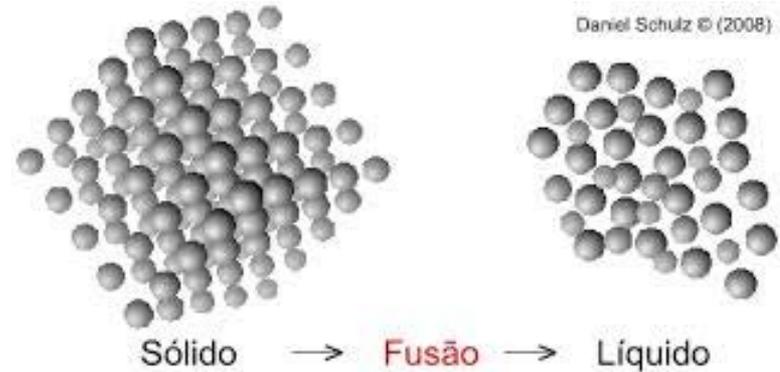
Cristal hexagonal

II. Sistema tetragonal:

Ex: estanho

B. Líquido

- Sem forma própria;
- Volume constante;
- Átomos e moléculas um pouco mais afastadas entre si com liberdade de movimento.



1.4 Propriedades Físicas

Aplicações:

- Solução iônica em baterias (eletrólito);
- Isolantes em transformadores (óleos minerais, ascarel);
- Tintas e vernizes isolantes;
- Relés para contatos (mercúrio);



C. Gasoso

- Sem forma constante;
- Sem volume constante;
- Átomos, moléculas ou íons (plasma) muito afastados entre si e sempre em movimento;



1.4 Propriedades Físicas

Aplicações:

- Lâmpadas (neon, vapor de sódio, vapor de mercúrio)
- Meio isolante entre cabos aéreos (ar)
- Disjuntores de potência
- Cabos subterrâneos



1.4 Propriedades Físicas

Comentário:

- Lâmpadas fluorescentes: gás argônio (gás inerte) e uma gota de mercúrio
 - Gases a baixas pressões se tornam condutores
 - Mercúrio quando vaporizado emite luz ultravioleta.
 - A fluorescência da lâmpada é devido à substância que recobre todo o vidro → transforma a luz ultravioleta em luz visível



Obrigado

professorclebes@gmail.com