

Disciplina de Materiais Elétricos

Mauro Hemerly Gazzani

mauro.hemerly@gmail.com

Curso de Engenharia Elétrica

Ituiutaba, 1º Semestre de 2018

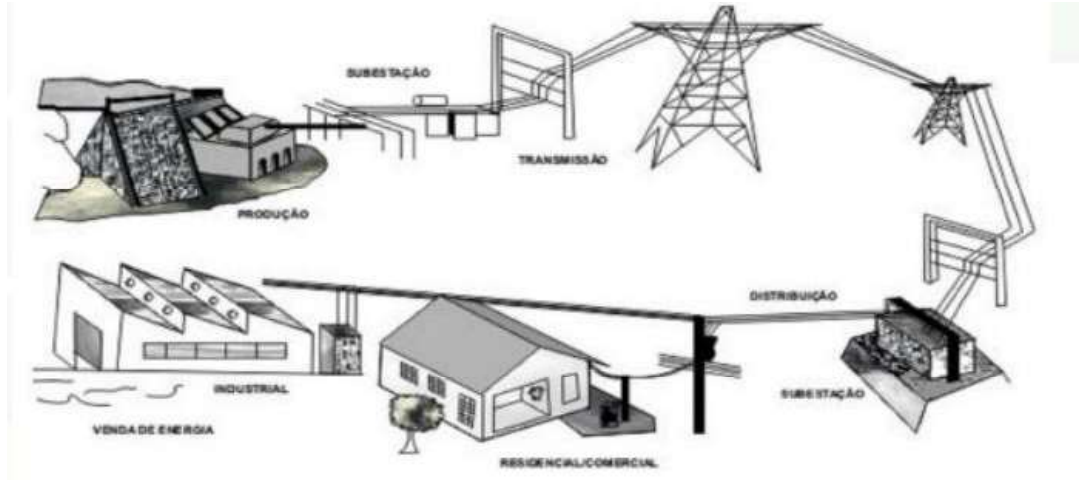


Sistema Elétrico de Potência e o Estudo de Materiais Elétricos



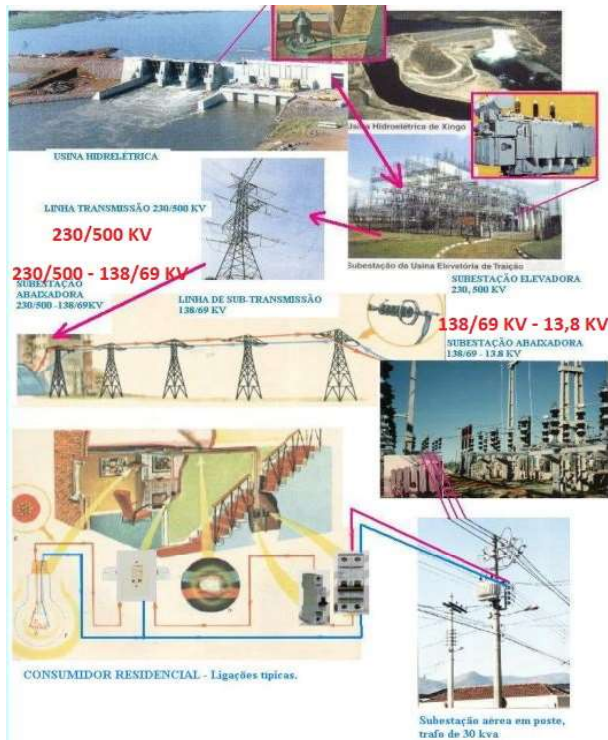
Sistema Elétrico de Potência - Estrutura básica

Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

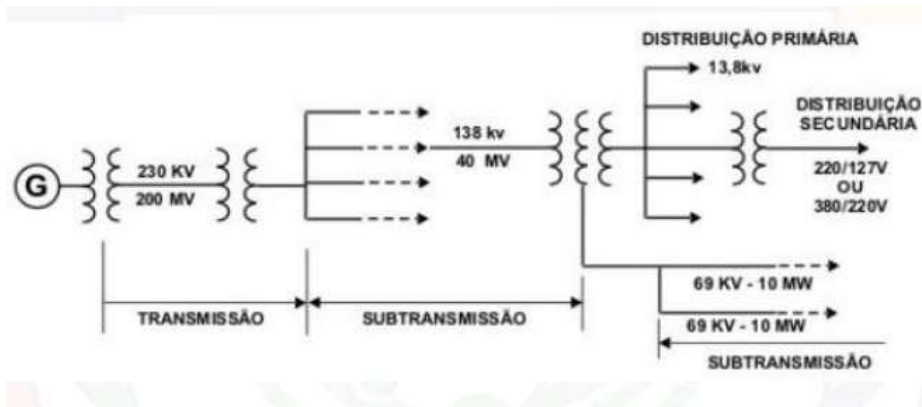


- Torres metálicas ou postes de concreto de grande porte, cadeia de isoladores, feixe de condutores de cabo nu, cabos de para-raios aéreos, condutor de aterramento, etc...

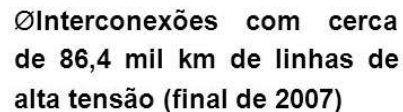
Sistema Elétrico de Potência - Estrutura básica



Sistema Elétrico de Potência - Estrutura básica

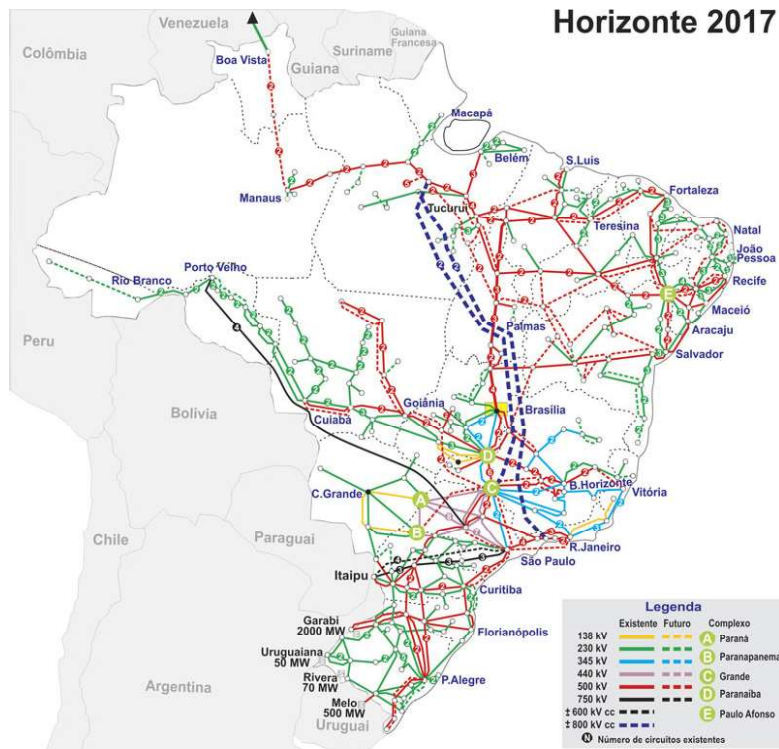


SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL



ØExpansão 2008/2017 de
cerca de 36,4 mil km de
linhas de alta tensão (a partir
de 230kV)

Sistema Elétrico de Potência - Estrutura básica



Propriedades dos Materiais Usados em Engenharia

Propriedades dos Materiais

- São características auferidas ao material de acordo com a sua estrutura atômica ou molecular.
- Algumas propriedades auferidas são **penalizadas**.

Propriedades dos Materiais Usados em Engenharia

Propriedades Elétricas

Os materiais, quando **mergulhados em um campo elétrico**, exibem certos comportamentos que **determinam suas propriedades elétricas** e os classificam dentro das **três classes de materiais** caracterizados por estas propriedades: **condutores, semicondutores e isolantes**.

Propriedades Elétricas

Condutividade Elétrica

A propriedade **condutividade elétrica** σ quantifica a disponibilidade ou a facilidade de circular corrente elétrica em um meio material submetido a uma diferença de potencial.

Definição física mais geral é dada por:

$\sigma = n.e.\mu_n + p.e.\mu_p$, onde:

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

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

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

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

μ_n, μ_p = mobilidade dos elétrons livres e das lacunas

Elétrons livres e **lacunas** são chamados portadores de carga livre, pois reagem a campos elétricos e magnéticos e fluem livremente. Elétrons livres estão presentes em todos os tipos de materiais mas as **lacunas apenas nos semicondutores**.

Resistividade Elétrica

A **resistividade elétrica** ρ de um material pode ser entendida como a maior ou menor oposição que este material impõe a um fluxo de elétrons (corrente elétrica). O inverso

da condutividade e pode ser dada por:
$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{n.e.\mu_n + p.e.\mu_p}$$

onde a unidade da resistividade pode ser dada em $\Omega.m$ ou $\Omega.mm^2/m$

Influência da Temperatura na Resistividade

A resistividade elétrica depende da temperatura. Nos materiais condutores, a resistividade aumenta com o aumento da temperatura.

Material	$\rho (\Omega m)$	Material	$\rho (\Omega m)$	Material	$\rho (\Omega m)$
prata	$1,5 \times 10^{-8}$	ferro	10×10^{-8}	água	128
cobre	$1,7 \times 10^{-8}$	solda	$14,3 \times 10^{-8}$	silício (puro)	2300
ouro	$2,4 \times 10^{-8}$	chumbo	21×10^{-8}	porcelana	10^{10}
alumínio	$2,8 \times 10^{-8}$	mercúrio	$9,6 \times 10^{-7}$	vidro	10^{10} a 10^{14}
zinco	6×10^{-8}	grafite	$1,4 \times 10^{-5}$	polistireno	10^{16}

Tab. 1.2.1: Resistividade de alguns materiais a 20 °C

Propriedades Elébricas

Nos metais, o aumento na temperatura aumenta a vibração dos átomos, isto é, aumenta a dificuldade que os elétrons livres encontram para passar por entre os átomos, diminuindo a sua mobilidade.

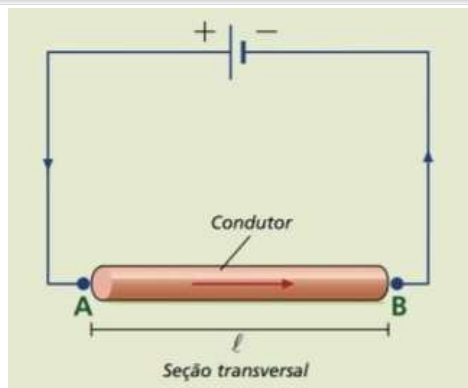
Efeito Joule

A resistividade está relacionada diretamente com a **perda de energia na forma de calor**, conhecido como **Efeito Joule**, que ocorre em qualquer material percorrido por corrente elétrica devido ao choque entre si dos elétrons livres do material. O estudo da resistividade elétrica de um material é importante quando, através do mesmo, se deseja passar um fluxo de elétrons para se determinar quais serão as perdas por **Efeito Joule** e a **queda de potencial**. Quanto **menor a resistividade do material**, **menor será a perda de energia** e melhor será o material para o transporte de corrente elétrica. Por isso, resistividade e condutividade são propriedades mais interessantes no estudo dos materiais condutores e

Propriedades Eléctricas

Parâmetros que afetam o valor da resistência ôhmica

A resistência elétrica dos condutores depende dos seguintes parâmetros: comprimento do fio (l), área de sua seção transversal (A), temperatura e material de que é feito. Ohm estudou a influência deles na resistência com experimentos em que variava um parâmetro de cada vez, mantendo os demais constantes.

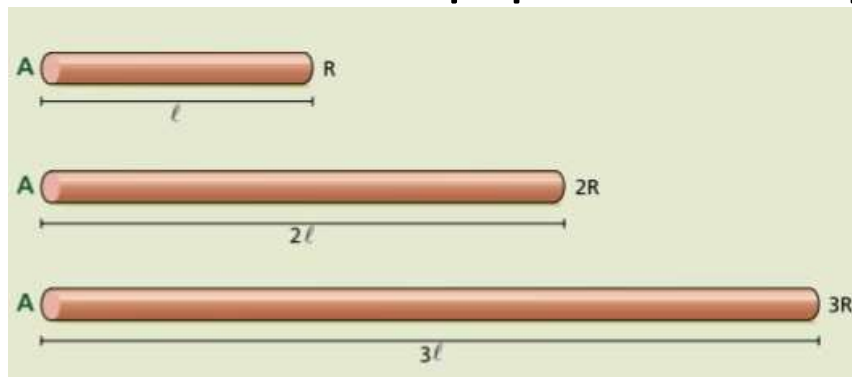


Propriedades Elétricas

Fatores que influenciam a resistência elétrica

A resistência elétrica é uma característica do condutor, portanto, depende do material de que é feito, de sua forma e dimensões, bem como da temperatura a que está submetido o condutor.

A resistência elétrica R é diretamente proporcional ao comprimento l do fio

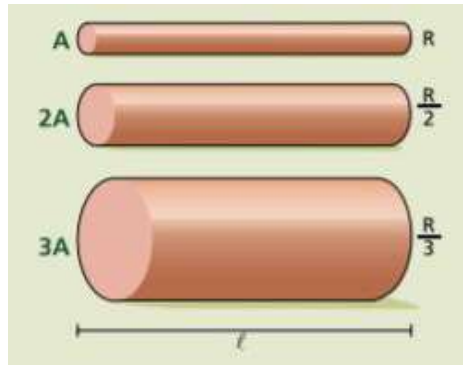


Propriedades Elétricas

Fatores que influenciam a resistência elétrica

A resistência elétrica é uma característica do condutor, portanto, depende do material (ρ) de que é feito, de sua forma e dimensões, bem como da temperatura a que está submetido o condutor.

A resistência elétrica R é inversamente proporcional à área A da seção transversal do fio.



Propriedades Elétricas

Fatores que influenciam a resistência elétrica

Com base nas análises acima, pode-se escrever que a **resistividade elétrica** de um material pode ser obtida numericamente através da medida da resistência entre os centros das faces opostas de um corpo de prova homogêneo do material, com dimensões unitárias, expressa por: $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$, onde:

ρ : resistividade elétrica do material em $\Omega \cdot m$

R : resistência elétrica em Ω

l : comprimento em m

A : área da seção transversal em m^2

Propriedades Elétricas

A resistência elétrica R obedece a **Lei de Ohm** ($V = RI$) e pode ser entendida como a **avaliação quantitativa da resistividade**, pois depende da geometria do material.

Observação

- O cálculo $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$, não pode ser aplicado quando um material é percorrido por **corrente alternada** devido ao **Efeito Pelicular**.
- A distribuição uniforme de corrente através da seção de um condutor existe apenas para a corrente contínua. Com o aumento da frequência acontece uma distribuição não-uniforme de corrente, fenômeno este chamado de **efeito pelicular**, pois em um condutor circular a densidade de corrente geralmente aumenta do interior em direção a superfície.

Propriedades Elétricas

1. Exercício Resolvido

Determine a resistência de um fio de cobre, na temperatura de 20°C , com $2,5\text{mm}^2$ de seção transversal, para os seguintes valores de comprimento:

a) $l_a = 20\text{cm}$

b) $l_b = 100\text{m}$

c) $l_c = 5\text{km}$.

Dado o $\rho_{cu} = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (a 20°C).

Solução

$$R_a = \rho \frac{l_a}{A} = \frac{(1,7 \times 10^{-8})(0,2)}{2,5 \times 10^{-6}} = 1,36 \text{ m}\Omega \quad R_b = \rho \frac{l_b}{A} = \frac{(1,7 \times 10^{-8})(100)}{2,5 \times 10^{-6}} = 680 \text{ m}\Omega$$

$$R_c = \rho \frac{l_c}{A} = \frac{(1,7 \times 10^{-8})(5 \times 10^3)}{2,5 \times 10^{-6}} = 34.000 \text{ m}\Omega$$

Propriedades Eléctricas

2. Exercício Resolvido

Calcule a resistência de uma barra de prata com 6,15 mm de diâmetro e 1,10 m de comprimento. Dado: condutividade da prata = $6,3 \times 10^7 (\Omega.m)^{-1}$.

Solução

$$r = \text{raio} = 6,15/2 = 3,075 \text{ mm}; l = 1,10 \text{ m}$$

$$A = \pi.r^2 = \pi.(3,075 \times 10^{-3})^2 = 9,455 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\sigma_{Ag} = 6,3 \times 10^7 (\Omega.m)^{-1}; \rho = 1/\sigma_{Ag} = \frac{1}{6,3 \times 10^7} = 1,5 \times 10^{-8} \Omega.m \text{ (ou pela tabela 1.2.1)}$$

$$R_{Ag} = \rho_{Ag} \cdot \frac{l}{A} = 1,5 \times 10^{-8} \cdot \frac{1,10}{9,455 \times 10^{-6}} = 0,1745 \times 10^{-2} = 1,8 \text{ m}\Omega$$

3. Exercício Resolvido

Seja um cabo de **1000 m de comprimento**, constituído por **19 fios** de cobre de seção transversal circular com **1,4 mm de diâmetro**. Calcule as resistências à passagem de corrente contínua, de um fio e do cabo. Considere temperatura de **20 °C** e despreze o encordoamento

Solução

$$r = \text{raio do fio} = 1,4/2 = 0,7 \text{ mm} = 0,7 \times 10^{-3} \text{ m}; l = 10^3 \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,7 \times 10^{-3})^2 = 1,539 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Pela tabela 1.2.1 (slide anterior): $\rho_{Cu, 20^\circ C} = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

$$\text{1 fio: } R_{fio, 20^\circ C} = \rho_{Cu, 20^\circ C} \frac{l}{A} = 1,7 \times 10^{-8} \cdot \frac{10^3}{1,539 \times 10^{-6}} = 11,04 \Omega$$

$$\text{cabo de 19 fios: } R_{cabo, 20^\circ C} = \rho_{Cu, 20^\circ C} \frac{l}{19A} = \frac{R_{fio}}{19} = \frac{11,04}{19} = 0,58 \Omega$$