



COLÉGIO LUTERANO CONCÓRDIA

“67 Anos Educando com o Coração”

Mantenedora: Comunidade Evangélica Luterana Cristo- Niterói

Material de apoio para as aulas de Física do terceiro ano



Professor Rafael Frank de Rodrigues

Eletrostática

Carga Elétrica

Carga elétrica: Segundo a visão atomista do universo, todos os corpos são constituídos por partículas elementares que formam átomos. Estes, por sua vez, se enlaçam entre si para dar lugar às moléculas de cada substância. As partículas elementares são o prótons e o nêutron, contidos no núcleo, e o elétron, que gira ao seu redor e descreve trajetórias conhecidas como órbitas.

Às partículas eletrizadas (elétrons e prótons) chamamos de "carga elétrica" .

"Num sistema eletricamente isolado, a soma das cargas elétricas é constante."

Corpo neutro -> N° prótons = N° elétrons

Corpo positivo -> O corpo perdeu elétrons

Corpo negativo -> O corpo ganhou elétrons

A carga total do átomo é nula, ou seja, as cargas positiva e negativa se compensam porque o átomo possui o mesmo número de prótons e elétrons - partículas com a mesma carga, mas de sinais contrários. Os nêutrons não possuem carga elétrica. Quando um elétron consegue vencer a força de atração do núcleo, abandona o átomo, que fica, então, carregado positivamente. Livre, o elétron circula pelo material ou entra na configuração de outro átomo, o qual adquire uma carga global negativa. Os átomos que apresentam esse desequilíbrio de carga se denominam íons e se encontram em manifestações elétricas da matéria, como a eletrólise, que é a decomposição das substâncias por ação da corrente elétrica. A maior parte dos efeitos de condução elétrica, porém, se deve à circulação de elétrons livres no interior dos corpos. Os prótons dificilmente vencem as forças de coesão nucleares e, por isso, raras vezes provocam fenômenos de natureza elétrica fora dos átomos.

De maneira geral, diante da energia elétrica, as substâncias se comportam como condutoras ou isolantes, conforme transmitam ou não essa energia. Os corpos condutores se constituem de átomos que perdem com facilidade seus elétrons externos, enquanto as substâncias isolantes possuem estruturas atômicas mais fixas, o que impede que as correntes elétricas as utilizem como veículos de transmissão.

Medida da carga elétrica

próton tem carga positiva

elétron tem carga negativa

Carga do elétron $q_{elétron} \cong -1,6 \times 10^{-19} \text{ C} = -e$

Carga do próton $q_{próton} \cong +1,6 \times 10^{-19} \text{ C} = +e$

$$\Delta q = \pm n \cdot e$$

n : numero de cargas;

Δq : quantidade de carga (C)

e : carga elementar (C).

A unidade de carga elétrica no SI é o coulomb (C).

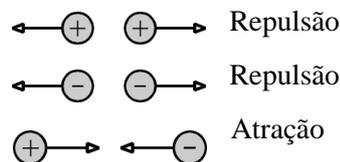
Exercícios

- 1) Na eletrosfera de um átomo de magnésio temos 12 elétrons. Qual a carga elétrica de sua eletrosfera?
- 2) Na eletrosfera de um átomo de nitrogênio temos 10 elétrons. Qual a carga elétrica de sua eletrosfera?
- 3) Um corpo tem uma carga igual a $-32 \cdot 10^{-6} \text{ C}$. Quantos elétrons há em excesso nele?
- 4) É dado um corpo eletrizado com carga $+ 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$. Determine o número de elétrons em falta no corpo.
- 5) Quantos elétrons em excesso tem um corpo eletrizado com carga de $-16 \cdot 10^{-9} \text{ C}$?
- 6) Em que condições temos atração entre duas cargas elétricas? E em que condições elas se repelem?
- 7) Qual o erro na afirmação: "Uma caneta é considerada neutra eletricamente, pois não possui nem cargas positivas nem cargas negativas"?
- 8) O que acontece quando se acrescentam elétrons em um ponto de um isolante? E de um condutor?
- 9) Que tipo de carga elétrica se movimenta em um fio metálico?
- 10) O que são elétrons livres? Eles existem nos materiais condutores ou nos isolantes?

Princípios da eletrostática

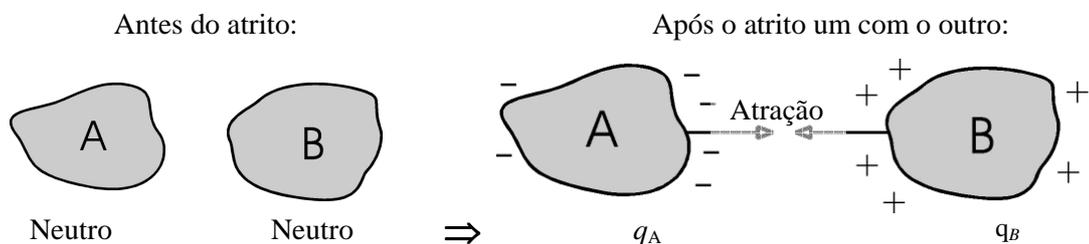
A parte da eletricidade que estuda o comportamento de cargas elétricas estáticas no espaço é conhecida pelo nome de eletrostática. Ela desenvolveu-se precocemente dentro da história da ciência e se baseia na observação das forças de atração ou repulsão que aparecem entre as substâncias com carga elétrica.

Atração e repulsão. "Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e de sinais contrários se atraem."



PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

Eletrização por Atrito: Quando dois corpos são atritados, pode ocorrer a passagem de elétrons de um corpo para outro.



A e B ficam eletrizados com cargas de mesmo valor absoluto, mas de sinais opostos:

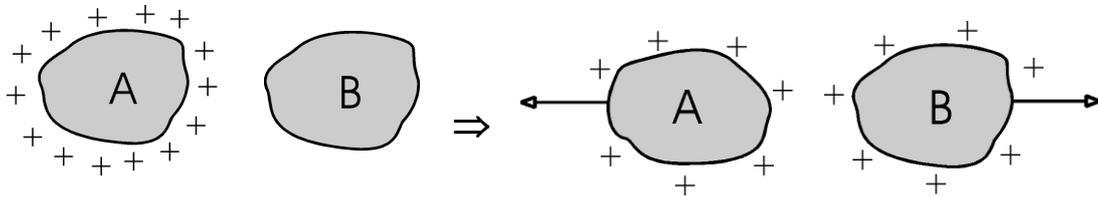
$$q_A = -q_B$$

A carga total do sistema era zero e continua zero.

Eletrização por Contato: Quando colocamos dois corpos condutores em contato, um eletrizado e o outro neutro, pode ocorrer a passagem de elétrons de um para o outro, fazendo com que o corpo neutro se eletrize.

Antes do contato:

Após o contato:



$$q_A + q_B = q_A' + q_B'$$

Eletrização por Indução: A eletrização de um condutor neutro pode ocorrer por simples aproximação de um corpo eletrizado, sem que haja contato entre eles.

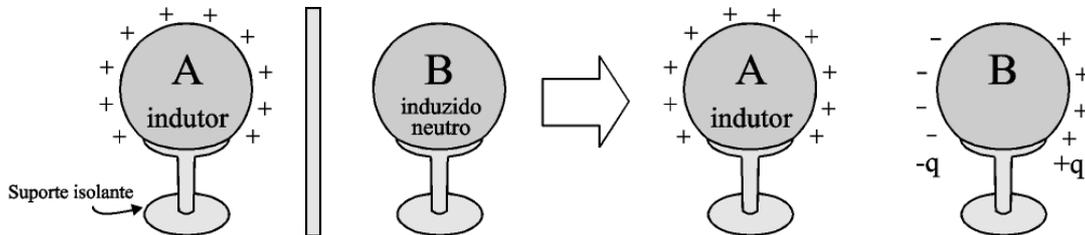


Figura 1.

Figura 2.

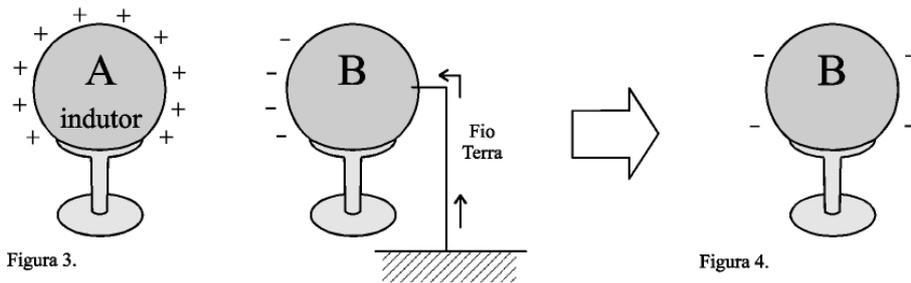


Figura 3.

Figura 4.

OBS1: O induzido fica com cara contrária à do indutor;

OBS2: A Terra é um imenso condutor, sempre em condições de fornecer ou de receber elétrons livres.

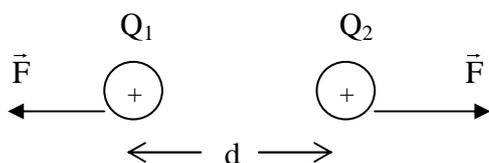
Exercícios

- 11) Um corpo A, com carga $Q_A = 8 \cdot 10^{-6} \text{C}$, é colocado em contato com um corpo B, inicialmente neutro. Em seguida, são afastados um do outro. Sabendo que a carga do corpo B, após o contato, é de $5 \cdot 10^{-6} \text{C}$, calcule a nova carga do corpo A.
- 12) Duas esferas metálicas idênticas, de cargas $4 \cdot 10^{-6} \text{C}$ e $6 \cdot 10^{-6} \text{C}$, foram colocadas em contato. Determine a carga de cada uma após o contato.
- 13) Para evitar a formação de centelhas elétricas, os caminhões transportadores de gasolina costumam andar com uma corrente metálica arrastando-se pelo chão. Explique.
- 14) Um pedaço de borracha é atritado em uma certa região de sua superfície, adquirindo uma carga negativa naquela região. Esta carga se distribuirá na superfície de borracha? Por que?
- 15) Por que, em dias úmidos, um corpo eletrizado perde sua carga com relativa rapidez?
- 16) Que partícula é transferida de um corpo para o outro no processo de eletrização por atrito?

Lei de Coulomb

"As cargas elétricas exercem forças entre si. Essas forças obedecem ao princípio da ação e reação, ou seja, têm a mesma intensidade, a mesma direção e sentidos opostos."

A chamada lei de Coulomb estabelece que as forças de atração ou repulsão entre partículas carregadas são diretamente proporcionais às quantidades de carga dessas partículas e inversamente proporcionais ao quadrado da distância que as separa. Determinada de forma empírica, essa lei só é válida para cargas pontuais em repouso. Sua expressão matemática é:



$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

F = força de interação entre as cargas (N)
Q = carga (C)
d = distância entre as cargas (m)
K = constante eletrostática ($\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$)
 $K_{\text{v\u00e1cuo}} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

F = Força. Será de atração ou repulsão, depende dos sinais das cargas.

K = Constante eletrostática. Depende do meio.

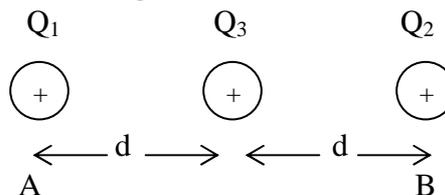
Q e Q' indicam a grandeza das cargas, r é a distância entre elas e k é a constante de proporcionalidade ou constante dielétrica, cujo valor depende do meio em que se acham imersas as partículas elétricas. A direção das forças é paralela à linha que une as cargas elétricas em questão. O sentido depende da natureza das cargas: se forem de sinais contrários, se atraem; se os sinais forem iguais, se repelem. A unidade de carga da lei de Coulomb recebe a denominação de coulomb no sistema internacional. A força se expressa em newtons e a distância, em metros.

Exercícios

- 17)** Dois corpos foram eletrizados positivamente. Um dos corpos ficou com uma carga de 10^{-5} C e o outro com uma carga de 10^{-7} C . Determine a força de repulsão que aparecerá entre eles, se forem colocados a uma distância de 10^{-3} m um do outro. Considere $K_{\text{v\u00e1cuo}} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$
- 18)** Duas cargas de $8 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ e $2 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ estão separadas por 6 m, no vácuo. Calcule o valor da força de repulsão entre elas.

- 19)** Duas cargas elétricas $Q_1 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ e $Q_2 = -2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ estão situadas no vácuo e separadas por uma distância de 0,2 m. Qual é o valor da força de atração entre elas?
- 20)** Uma carga de 10^{-12} C é colocada a uma distância de 10^{-5} m de uma carga Q. Entre as cargas aparece uma força de atração igual a $27 \cdot 10^{-4} \text{ N}$. Determine o valor da carga Q. Considere $K_{\text{v\u00e1cuo}} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

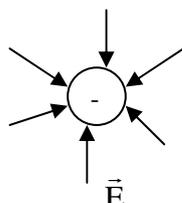
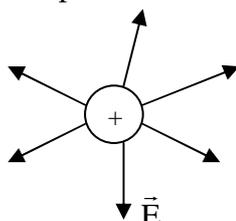
- 21) Uma carga de 10^{-9} C é colocada a uma distância de $2 \cdot 10^{-2}$ m de uma carga Q. Entre as cargas aparece uma força de atração igual a $9 \cdot 10^{-5}$ N. Determine o valor da carga Q. Considere $K_{\text{v\u00e1cuo}} = 9 \cdot 10^9$ N.m²/C²
- 22) A que distância no v\u00e1cuo devem ser colocadas duas cargas positivas e iguais a 10^{-4} C, para que a força el\u00e9trica de repuls\u00e3o entre elas tenha intensidade 10 N?
- 23) Colocam-se no v\u00e1cuo duas cargas el\u00e9tricas iguais a uma distância de 2 m uma da outra. A intensidade da força de repuls\u00e3o entre elas \u00e9 de $3,6 \cdot 10^2$ N. Determine o valor das cargas.
- 24) Duas cargas el\u00e9tricas puntiformes positivas e iguais a Q est\u00e3o situadas no v\u00e1cuo a 2 m de distância, Sabendo que a força de repuls\u00e3o m\u00fatua tem intensidade 0,1 N, calcule Q.
- 25) A distância entre um el\u00e9tron e o pr\u00f3ton no \u00e1tomo de hidrog\u00eancio \u00e9 da ordem de $5,3 \cdot 10^{-11}$ m. Determine a a força de atra\u00e7\u00e3o eletrost\u00e1tica entre as part\u00edculas.
- 26) Uma pequena esfera recebe uma carga de $40 \mu\text{C}$ e outra esfera, de di\u00e2metro igual, recebe uma carga - $10 \mu\text{C}$. As esferas s\u00e3o colocadas em contato e afastadas de $5 \cdot 10^{-2}$ m. Determine a força de intera\u00e7\u00e3o entre elas.
- 27) Duas cargas puntiformes $Q_1 = 10^{-6}$ C e $Q_2 = 4 \cdot 10^{-6}$ C est\u00e3o fixas nos pontos A e B e separadas pela distância de 0,3 m no v\u00e1cuo. Determine a força el\u00e9trica resultante sobre uma terceira carga $Q_3 = 2 \cdot 10^{-6}$ C, colocada no ponto m\u00e9dio do segmento AB.



Campo el\u00e9trico

Define-se campo el\u00e9trico como uma altera\u00e7\u00e3o introduzida no espa\u00e7o pela presen\u00e7a de um corpo com carga el\u00e9trica, de modo que qualquer outra carga de prova localizada ao redor indicar\u00e1 sua presen\u00e7a. Por meio de curvas imagin\u00e1rias, conhecidas pelo nome de linhas de campo, visualiza-se a dire\u00e7\u00e3o da força gerada pelo corpo carregado.

"Existe uma regi\u00e3o de influ\u00eancia da carga Q onde qualquer carga de prova q, nela colocada, estar\u00e1 sob a a\u00e7\u00e3o de uma força de origem el\u00e9trica. A essa regi\u00e3o chamamos de campo el\u00e9trico."



E = Intensidade do campo el\u00e9trico (N/C)

F = For\u00e7a (N)

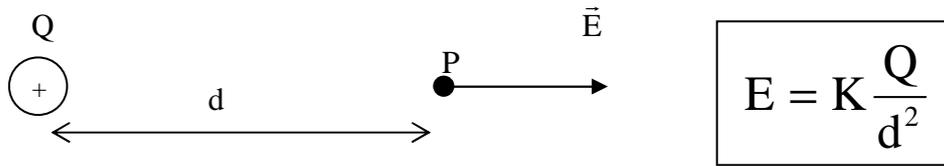
q = carga de prova (C)

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

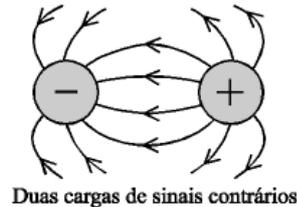
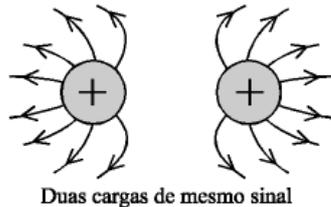
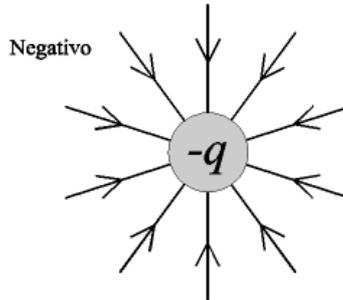
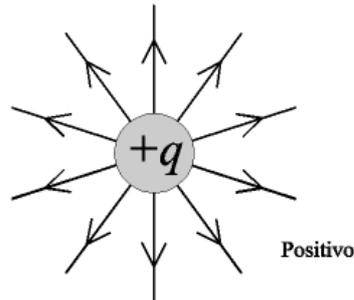
O campo el\u00e9trico \vec{E} \u00e9 uma grandeza vetorial.
A unidade de E no SI \u00e9 N/C.

Campo elétrico de uma carga puntiforme

"O vetor campo elétrico em um ponto P independe da carga de prova nele colocada."



Linhas de campo



Exercício

28) Calcule o valor do campo elétrico num ponto do espaço, sabendo que uma força de 8N atua sobre uma carga de 2C situada nesse ponto.

29) Devido ao campo elétrico gerado por uma carga Q, a carga $q = +2 \cdot 10^{-5}$ fica submetida à força elétrica $F = 4 \cdot 10^{-2}$ N. Determine o valor desse campo elétrico.

30) O corpo eletrizado Q, positivo, produz num ponto P o campo elétrico \vec{E} , de intensidade $2 \cdot 10^5$ N/C. Calcule a intensidade da força produzida numa carga positiva $q = 4 \cdot 10^{-6}$ C colocada em P.

31) Em um ponto do espaço, o vetor campo elétrico tem intensidade $3,6 \cdot 10^3$ N/C. Uma carga puntiforme de $1 \cdot 10^{-5}$ C colocada nesse ponto sofre a ação de uma força elétrica. Calcule a intensidade da força.

32) Uma carga de prova $q = -3 \cdot 10^{-6}$ C, colocada na presença de um campo elétrico \vec{E} , fica sujeita a uma força elétrica de intensidade 9N, horizontal, da direita para a esquerda. Determine a intensidade do vetor campo elétrico e sua orientação.

33) Num ponto de um campo elétrico, o vetor campo elétrico tem direção vertical, sentido para baixo e intensidade $5 \cdot 10^3$ N/C. Coloca-se,

neste ponto, uma pequena esfera de peso $2 \cdot 10^{-3}$ N e eletrizada com carga desconhecida. Sabendo que a pequena esfera fica em equilíbrio, determine: a) A intensidade, a direção e o sentido da força elétrica que atua na carga; b) O valor da carga.

34) Sobre uma carga de $2C$, situada num ponto P, age uma força de $6N$. No mesmo ponto, se substituirmos a carga de por uma outra de $3C$, qual será o valor da força sobre ela?

35) Sobre uma carga de $4C$, situada num ponto P, atua uma força de $8N$. Se substituirmos a carga de $4C$ por uma outra de $5C$, qual será a intensidade da força sobre essa carga quando colocada no ponto P?

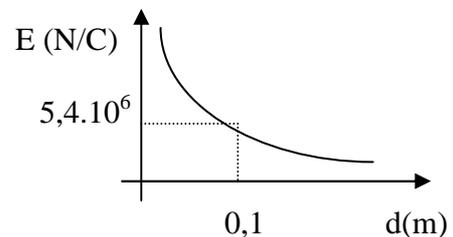
36) Calcule o campo elétrico criado por uma carga $Q = 2 \cdot 10^{-6}$ C, situada no vácuo, em um ponto distante $3 \cdot 10^{-2}$ m de Q.

37) Calcule o campo elétrico gerado por uma carga $Q = - 4 \cdot 10^{-6}$ C, situada no vácuo, em um ponto distante $0,6m$ de Q. Faça também um esquema representando a carga Q e o vetor campo elétrico.

38) Uma carga Q, positiva, gera no espaço um campo elétrico. Num ponto P, a $0,5m$ dela o campo elétrico tem intensidade $E = 14,4 \cdot 10^6$ N/C. Sendo o meio o vácuo, determine Q.

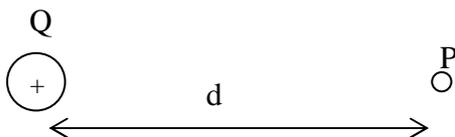
39) Considere uma carga Q, fixa, de $- 5 \cdot 10^{-6}$ C, no vácuo. a) Determine o campo elétrico criado por essa carga num ponto A localizado a $0,2$ m da carga; b) Determine a força elétrica que atua sobre uma carga $q = 4 \cdot 10^{-6}$ C, colocada no ponto A.

40) O diagrama representa a intensidade do campo elétrico, originado por uma carga Q, fixa, no vácuo, em função da distância à carga. Determine: a) o valor da carga Q, que origina o campo; b) o valor do campo elétrico situado num ponto P, a $0,5$ m da carga Q.



Potencial elétrico

"Com relação a um campo elétrico, interessa-nos a capacidade de realizar trabalho, associada ao campo em si, independentemente do valor da carga q colocada num ponto P desse campo."

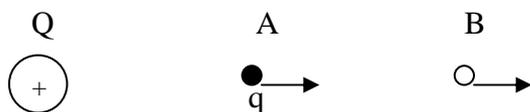


$$V = \frac{E_P}{q} \quad V = \frac{K \cdot Q}{d}$$

O potencial elétrico, V , é uma grandeza escalar. No SI, o potencial é medido em volt (V)

RELAÇÃO ENTRE TRABALHO E DIFERENÇA DE POTENCIAL (DDP)

"O trabalho realizado pela força elétrica, no deslocamento de uma carga q de um ponto A até um ponto B, pode ser calculado a partir dos potenciais dos pontos A e B."



Exercícios

41) A energia potencial elétrica de uma carga q , situada no ponto P de um campo elétrico, vale 40 J. Calcule o potencial elétrico no ponto P, quando $q = 5 \mu\text{C}$.

42) A energia potencial elétrica de uma carga q , situada no ponto P de um campo elétrico vale -20 J. Calcule o potencial elétrico no ponto P, quando $q = 0,05 \text{ C}$.

43) Uma carga Q tem um potencial de 12 V em um ponto P. Qual é a energia potencial elétrica de uma carga $q = 5 \mu\text{C}$, colocada no ponto P?

44) No campo elétrico produzido por uma carga pontual $Q = 4 \cdot 10^{-7} \text{ C}$, calcule o potencial elétrico em um ponto P, situado a 2m de Q . O meio é o vácuo.

45) Determine a energia potencial elétrica que uma carga de $5 \mu\text{C}$ adquire a 0,1m de uma carga de $0,2 \mu\text{C}$, localizada no vácuo.

46) No campo elétrico criado por uma carga elétrica $Q = 3 \mu\text{C}$, determine:
a) o potencial elétrico num ponto P situado a 0,3 m da carga Q ; b) a energia potencial elétrica que uma carga $q = 2 \mu\text{C}$ adquire no ponto P. O meio é o vácuo.

$$\tau_{AB} = q (V_A - V_B) \quad \tau_{AB} = q \cdot U$$

U = diferença de potencial (ddp), medido em volts.

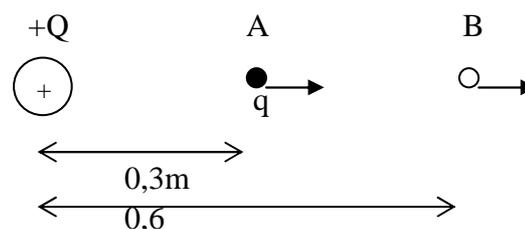
$$U = V_A - V_B$$

47) Determinar o trabalho realizado pela força elétrica para transportar uma carga $q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ de um ponto A até um ponto B, cujos potenciais são, respectivamente, 60V e 40V.

48) Uma partícula eletrizada com carga $q = 7,5 \mu\text{C}$ encontra-se num campo elétrico. A partícula é deslocada de um ponto A ($V_A = 30\text{V}$) até um ponto B ($V_B = 18\text{V}$). Qual o trabalho da força elétrica?

49) Num campo elétrico, transporta-se uma carga q de $2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ de ponto X até um ponto Y. O trabalho da força elétrica é de $-6 \cdot 10^{-5} \text{ J}$. Determine a ddp entre os pontos X e Y.

50) No campo elétrico de carga $Q = 3 \mu\text{C}$ são dados dois pontos, A e B, conforme a figura abaixo. Determine: a) os potenciais elétricos de A e de B; b) o trabalho da força elétrica que atua sobre uma carga elétrica $q = 1 \mu\text{C}$, no deslocamento de A para B. O meio é o vácuo.

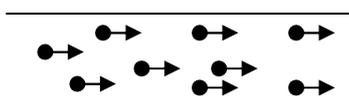


Eletrodinâmica

Corrente elétrica

O movimento das cargas é provocado por diferenças de potencial elétrico no espaço, e as partículas carregadas se dirigem de zonas de maior para as de menor potencial. Nessa propriedade se fundamentam as pilhas e, em geral, todos os geradores de corrente, que consistem em duas placas condutoras com potenciais diferentes. A ligação dessas duas placas, chamadas eletrodos, por um fio, produz uma transferência de carga, isto é, uma corrente elétrica, ao longo do circuito. A grandeza que define uma corrente elétrica é sua intensidade, que é a quantidade de cargas que circulam através de uma seção do filamento condutor numa unidade de tempo. A unidade de intensidade da corrente é o ampère (coulomb por segundo).

"As cargas elétricas em movimento ordenado constituem a corrente elétrica. As cargas elétricas que constituem a corrente elétrica são os elétrons livres, no caso do sólido, e os íons, no caso dos fluídos."



Intensidade da corrente elétrica

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$\Delta q = n \cdot e$$

i = corrente elétrica (A)

Δq = carga elétrica (C)

e = carga elementar (C)

n = número de cargas

Δt = tempo (s)

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

Unidade de corrente elétrica no SI é ampère (A)

Tipos de corrente

- *Corrente contínua*

É aquela cujo sentido se mantém constante.

Ex: corrente de uma bateria de carro, pilha, etc.

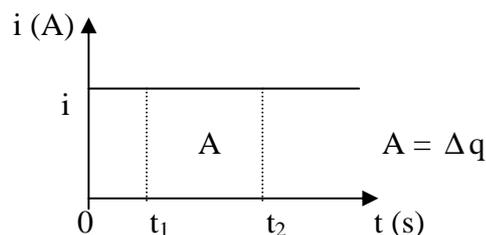
- *Corrente alternada*

É aquela cujo sentido varia alternadamente.

Ex: corrente usada nas residências.

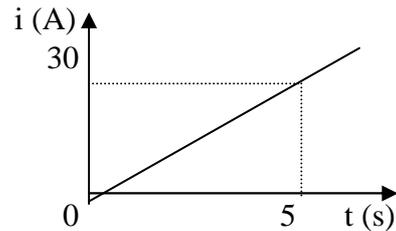
Propriedade gráfica

"No gráfico da corrente em função do tempo, a área sob a curva, é numericamente igual a quantidade de carga que atravessa o condutor."

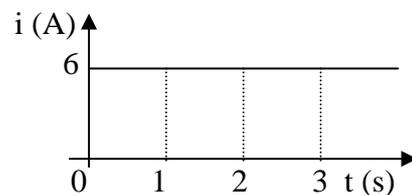


Exercícios

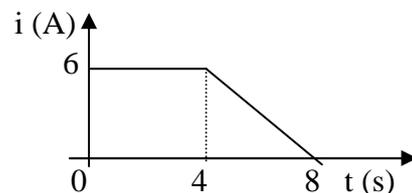
- 51) Por uma secção transversal de um fio de cobre passam 20C de carga em 2 segundos. Qual é a corrente elétrica?
- 52) Em cada minuto, a secção transversal de um condutor metálico é atravessada por uma quantidade de carga elétrica de 12C. Qual a corrente elétrica que percorre o condutor?
- 53) O filamento de uma lâmpada é percorrido por uma corrente de 2A. Calcule a carga elétrica que passa pelo filamento em 20 segundos.
- 54) Um condutor metálico é percorrido por uma corrente de $10 \cdot 10^{-3}$ A. Qual o intervalo de tempo necessário para que uma quantidade de carga elétrica igual a 3C atravesse uma secção transversal do condutor?
- 55) Pela secção transversal de um condutor metálico passam $6 \cdot 10^{20}$ elétrons durante 2s. Qual a corrente elétrica que atravessa o condutor? É dada a carga elétrica elementar: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.
- 56) Um condutor metálico é percorrido por uma corrente elétrica contínua de 8A. Determine o número de elétrons que atravessam uma secção transversal do condutor em 5s. É dada a carga elétrica elementar: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.
- 57) Um condutor é percorrido por uma corrente de intensidade 20A. Calcule o número de elétrons que passam por uma secção transversal do condutor em 1s ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C).
- 58) O gráfico abaixo ilustra a variação da corrente elétrica em um fio condutor, em função do tempo. Qual é a carga elétrica que passa por uma secção transversal desse condutor, em 5s?



- 59) O gráfico abaixo representa a corrente elétrica em um fio condutor, em função do tempo. Qual é a carga elétrica que passa por uma secção transversal desse condutor, em 3s?



- 60) No gráfico tem-se a intensidade da corrente elétrica através de um condutor em função do tempo. Determine a carga que passa por uma secção transversal do condutor em 8s.



- 61) A corrente elétrica de um aquecedor elétrico é 7,5 A. Qual a quantidade de carga elétrica que passa pelo aquecedor em 30 segundos?
- 62) Um fio é atravessado por $2 \cdot 10^{20}$ elétrons em 20s. Qual a intensidade da corrente elétrica nesse fio?
- 63) Uma lâmpada de lanterna é atravessada por uma carga de 90 C no intervalo de tempo de 1 minuto. Qual a intensidade da corrente, em ampère?

Efeitos da corrente elétrica

Na passagem de uma corrente por um condutor observam-se alguns efeitos, que veremos a seguir.

Efeito térmico ou efeito Joule: Qualquer condutor sofre um aquecimento ao ser atravessado por uma corrente elétrica. Esse efeito é a base de funcionamento dos aquecedores elétricos, chuveiros elétricos, secadores de cabelo, lâmpadas térmicas etc.

Efeito luminoso: Em determinadas condições, a passagem da corrente elétrica através de um gás rarefeito faz com que ele emita luz. As lâmpadas fluorescentes e os anúncios luminosos são aplicações desse efeito. Neles há a transformação direta de energia elétrica em energia luminosa.

Efeito magnético: Um condutor percorrido por uma corrente elétrica cria, na região próxima a ele, um campo magnético. Este é um dos efeitos mais importantes, constituindo a base do funcionamento dos motores, transformadores, relés etc.

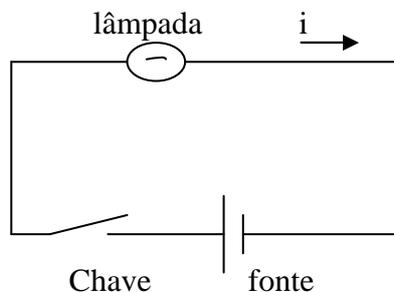
Efeito químico: Uma solução eletrolítica sofre decomposição, quando é atravessada por uma corrente elétrica. É a eletrólise. Esse efeito é utilizado, por exemplo, no revestimento de metais: cromagem, niquelação etc.

Questões

- 64) Por meio de qual processo se obtém luz numa lâmpada de filamento?
- 65) Cite um exemplo onde o aquecimento de um fio condutor é inconveniente. Cite um exemplo onde o aquecimento é desejável.
- 66) Qual a propriedade da corrente elétrica que permitiu a construção dos primeiros instrumentos de medida?
- 67) Compare as lâmpadas incandescentes e as lâmpadas fluorescentes e estabeleça as vantagens e desvantagens de cada um dos tipos.

Elementos de um circuito elétrico

Para se estabelecer uma corrente elétrica são necessários, basicamente: um gerador de energia elétrica, um condutor em circuito fechado e um elemento para utilizar a energia produzida pelo gerador. A esse conjunto denominamos circuito elétrico.

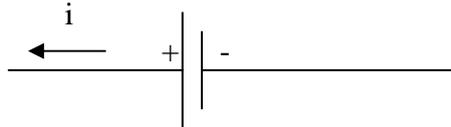


Gerador elétrico

É um dispositivo capaz de transformar em energia elétrica outra modalidade de energia. O gerador não gera ou cria cargas elétricas. Sua função é fornecer energia às cargas elétricas que o atravessam. Industrialmente, os geradores mais comuns são os químicos e os mecânicos.

· *Químicos*: aqueles que transformam energia química em energia elétrica. Exemplos: pilha e bateria.

· *Mecânicos*: aqueles que transformam energia mecânica em elétrica. Exemplo: dínamo de motor de automóvel.



Resistor elétrico

É um dispositivo que transforma toda a energia elétrica consumida integralmente em calor. Como exemplo, podemos citar os aquecedores, o ferro elétrico, o chuveiro elétrico, a lâmpada comum e os fios condutores em geral.



Dispositivos de manobra

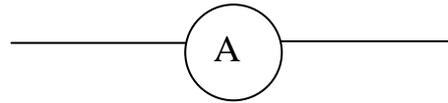
São elementos que servem para acionar ou desligar um circuito elétrico. Por exemplo, as chaves e os interruptores.



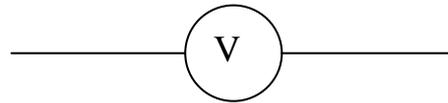
Dispositivos de controle

São utilizados nos circuitos elétricos para medir a intensidade da corrente elétrica e a ddp existentes entre dois pontos, ou, simplesmente, para detectá-las. Os mais comuns são o amperímetro e o voltímetro

Amperímetro: aparelho que serve para medir a intensidade da corrente elétrica.



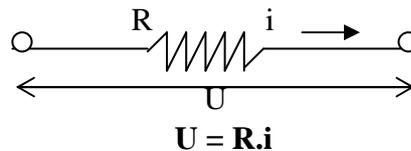
· *Voltímetro*: aparelho utilizado para medir a diferença de potencial entre dois pontos de um circuito elétrico.



Resistores

"Resistores são elementos de circuito que consomem energia elétrica, convertendo-a integralmente em energia térmica."

Lei de Ohm



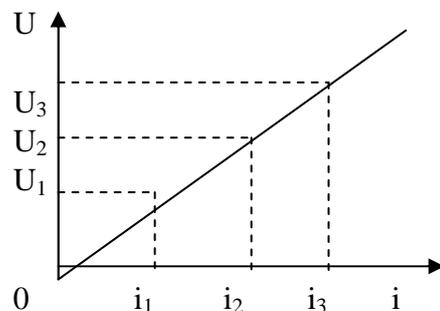
U = (ddp) diferença de potencial (V)

R = resistência elétrica (Ω)

i = corrente elétrica (A)

No SI, a unidade de resistência elétrica é o ohm (Ω)

Curva característica de um resistor ôhmico



$$\frac{U}{i} = R \quad (\text{constante})$$

Todos os condutores que obedecem à lei de oh são denominados resistores ou condutores ôhmicos. Os demais são denominados condutores não-ôhmicos.

A resistência elétrica de um fio metálico depende do seu comprimento, da área da seção transversal e do material de que é constituído, podendo ser expressa como segue:

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

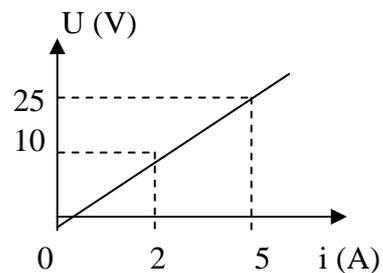
l = comprimento do fio
 S = área da seção transversal
 ρ = resistividade do material

A resistividade é uma propriedade do material. Assim, cada condutor possui um valor determinado. No SI, a resistividade do material é dada em ohm x metro($\Omega.m$)

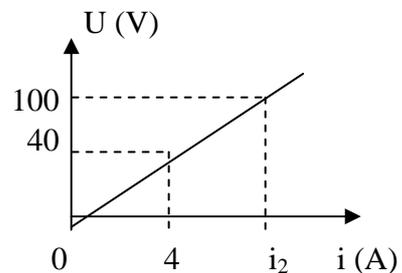
Exercícios

- 68) Um chuveiro elétrico é submetido a uma ddp de 220V, sendo percorrido por uma corrente elétrica de 10A. Qual é a resistência elétrica do chuveiro?
- 69) Determine a ddp que deve ser aplicada a um resistor de resistência 6Ω para ser atravessado por uma corrente elétrica de 2A.
- 70) Uma lâmpada incandescente é submetida a uma ddp de 110V, sendo percorrida por uma corrente elétrica de 5,5A. Qual é, nessas condições, o valor da resistência elétrica do filamento da lâmpada.
- 71) Determine a resistência elétrica de um fio de níquel-cromo de 2 m de comprimento e área de seção transversal igual a $4 \times 10^{-8} \text{ m}^2$. A resistividade do níquel-cromo é $1,5 \times 10^{-6} \Omega.m$.
- 72) Nos extremos de um resistor de 200Ω , aplica-se uma ddp de 100V. Qual a corrente elétrica que percorre o resistor?

- 73) Um resistor ôhmico, quando submetido a uma ddp de 20V, é percorrido por uma corrente elétrica de 4 A. Para que o resistor seja percorrido por uma corrente elétrica de 3A, que ddp deve ser aplicada a ele?
- 74) A curva característica de um resistor ôhmico é dada abaixo. Determine sua resistência elétrica.

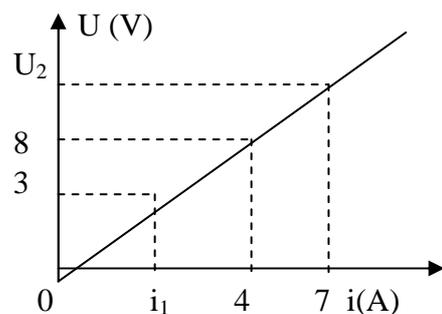


- 75) A curva característica de um resistor ôhmico é dada abaixo. Determine sua resistência elétrica R e o valor de i_2 .



- 76) A curva característica de um resistor é dada abaixo. Determine sua resistência elétrica R e o valor de U_2 e i_2 .

77)



Potência dissipada no resistor

Quando a corrente elétrica circula através de **resistores**, esses sempre se aquecem. Neles ocorre conversão de energia elétrica em energia térmica. Essa energia térmica produzida, via de regra, é transferida para fora do corpo do resistor sob a forma de calor.

Isso se torna óbvio ao examinarmos o que acontece no filamento da lâmpada da lanterna. Seu filamento comporta-se como um resistor de resistência elevada. Nele a energia elétrica proveniente das pilhas é convertida em energia térmica.

$$P = U \cdot i \quad P = R \cdot i^2 \quad P = \frac{U^2}{R}$$

Unidade de potência no SI: W (watt)

Exercícios

- 78) Quando uma lâmpada é ligada a uma tensão de 120V, a corrente que flui pelo filamento da lâmpada vale 1A. Qual a potência da lâmpada?
- 79) Calcule a corrente que percorre o filamento de uma lâmpada de 120V e 60W.
- 80) Em um resistor, de resistência igual a 10Ω , passa uma corrente com intensidade de 2A. Calcule a potência dissipada no resistor.
- 81) De acordo com o fabricante, um determinado resistor de 100Ω pode dissipar, no máximo, potência de 1 W. Qual é a corrente máxima que pode atravessar esse resistor?
- 82) Num certo carro, o acendedor de cigarros tem potência de 48W. A ddp no sistema elétrico desse carro é 12V. Qual é a resistência elétrica do acendedor de cigarros?
- 83) Sob tensão de 10V, um determinado resistor dissipa 5W de potência. Qual é a resistência desse resistor?
- 84) Uma lâmpada de filamento apresenta o valor escrito sobre o vidro (40W, 60W, 100W). Qual o significado desse valor?
- 85) que acontecerá se ligarmos uma lâmpada com as inscrições (60W-110V) na tensão 220V. Por quê?
- 86) O que seria um condutor elétrico ideal? Você acha que os fios da instalação de sua casa podem ser considerados condutores ideais?
- 87) Como você explica o aquecimento de fios metálicos, quando uma corrente elétrica passa por eles?
- 88) Indique a principal transformação de energia que ocorre com o funcionamento de: um chuveiro; um liquidificador; uma lâmpada incandescente.

Energia consumida

O cálculo do consumo de energia elétrica não é uma tarefa tão complicada quanto você pode estar imaginando. Este procedimento requer a aplicação de uma fórmula básica, definida pela seguinte expressão:

$$E = P \cdot \Delta t$$

Com a fórmula acima mencionada, fica claro que a energia consumida é diretamente proporcional à potência do aparelho e ao respectivo tempo em que o mesmo fica ligado. Resumindo: Quanto **maior a potência** e o **tempo de utilização**, maior será a energia consumida e, conseqüentemente, a conta para pagar no final do mês.

E = energia (J, kWh)

P = potência (W)

Δt = tempo (s)

No SI a unidade de energia é o joule (J), mas também é muito utilizado o kWh.

1kWh é a energia consumida, com potência de 1kW, durante 1 hora.

Exercícios

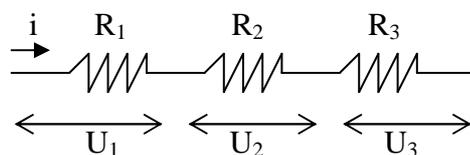
- 89) Qual é o consumo de energia, durante um mês, em kWh, de um chuveiro de 4000W, que é utilizado meia hora por dia?
- 90) Qual é o consumo de energia, em kWh de uma lâmpada de 60W que fica acesa 5h por dia durante os 30 dias do mês?
- 91) Em um ferro elétrico, lê-se a inscrição 600W-120V. Isso significa que, quando o ferro elétrico estiver ligado a uma tensão de 120V, a potência desenvolvida será de 600W. Calcule a energia elétrica (em kWh) consumida em 2h.
- 92) Uma torradeira dissipa uma potência de 3000W. Ela é utilizada durante 0,5h. Pedese: a) a energia elétrica consumida em kWh; b) o custo da operação, considerando o preço do kWh igual a R\$ 0,12.
- 93) Uma lâmpada de 100W permanece acesa durante 20h. a) Determine a energia elétrica consumida em kWh; b) Determine o custo que essa lâmpada representa considerando o preço do kWh igual a R\$ 0,12.
- 94) Um ferro elétrico consome uma potência de 1100W quando ligado a uma tensão de 110V. a) Qual a energia consumida (em kWh) em 2 horas; b) Qual é o custo da operação para 2 horas, sabendo que o preço do kWh é de R\$ 0,12?
- 95) Um fio de resistência elétrica igual a $50\ \Omega$ é submetido a uma ddp de 20V. Qual a energia dissipada no fio em 1 minuto?

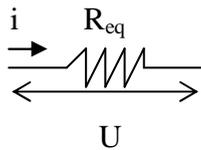
Associação de resistores

A associação de resistores é muito comum em vários sistemas, quando queremos alcançar um nível de resistência em que somente um resistor não é suficiente. Qualquer associação de resistores será representado pelo Resistor Equivalente, que representa a resistência total dos resistores associados.

Associação de resistores em série

Em uma associação em série de resistores, o resistor equivalente é igual à soma de todos os resistores que compõem a associação.



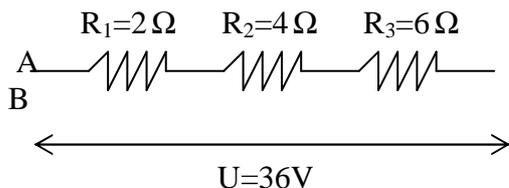


R_{eq} = resistência equivalente (Ω)
 U = ddp da associação (V)

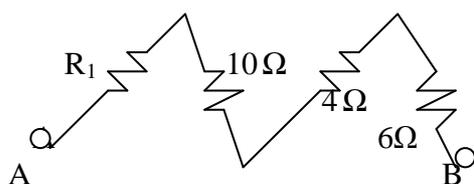
$U = U_1 + U_2 + U_3$
 $i = i_1 = i_2 = i_3$
 $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

Exercícios

96) Considere a associação em série de resistores esquematizada abaixo. Determine: a) a resistência equivalente da associação; b) a corrente elétrica i ; c) a ddp em cada resistor.

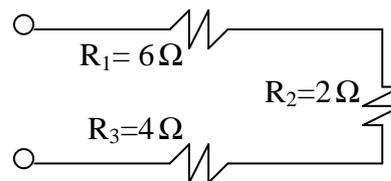


97) Na associação representada abaixo, a resistência do resistor equivalente entre os pontos A e B vale 28Ω . Calcule o valor da resistência R_1 .



98) Um fogão elétrico, contém duas resistências iguais de 50Ω . Determine a resistência equivalente da associação quando essas resistências forem associadas em série.

99) A intensidade da corrente que atravessa os resistores da figura abaixo vale $0,5\text{ A}$. Calcule: a) a resistência equivalente; b) a ddp em cada resistor; c) a ddp total.



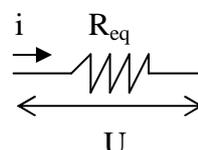
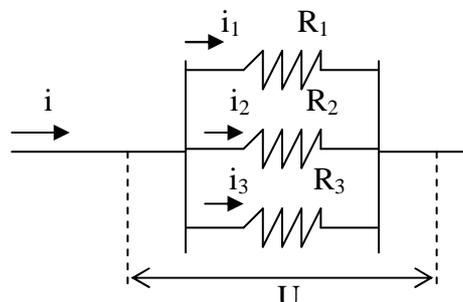
100) Associam-se em série dois resistores, sendo $R_1=10\Omega$ e $R_2=15\Omega$. A ddp entre os extremos da associação é de 100V . Determine: a) a resistência equivalente da associação; b) a corrente que atravessa os resistores; c) a ddp em cada resistor.

101) Duas resistências $R_1 = 1\Omega$ e $R_2 = 2\Omega$ estão ligadas em série a uma bateria de 12 V . Calcule: a) a resistência equivalente; b) a corrente total do circuito.

Associação de resistores em paralelo

Em uma associação em paralelo de resistores, a tensão em todos os resistores é igual, e a soma das correntes que atravessam os resistores é igual à resistência do resistor equivalente (no que nos resistores em série, se somava as tensões (V), agora o que se soma é a intensidade (i)).

A resistência equivalente de uma associação em paralelo sempre será menor que o resistor de menor resistência da associação.



R_{eq} = resistência equivalente (Ω)

U = ddp da associação (V)

$U = U_1 = U_2 = U_3$

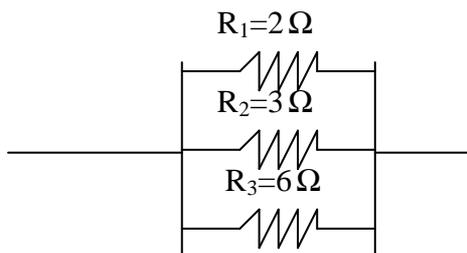
$i = i_1 + i_2 + i_3$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Exercícios

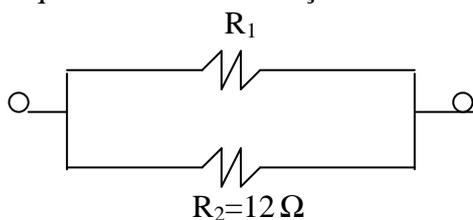
102) Duas resistências $R_1 = 2 \Omega$ e $R_2 = 3 \Omega$ estão ligadas em paralelo a uma bateria de 12 V. Calcule: a) a resistência equivalente da associação; b) as correntes i_1 e i_2 ; c) a corrente total do circuito.

103) Calcule o resistor equivalente da associação representada pela figura abaixo.



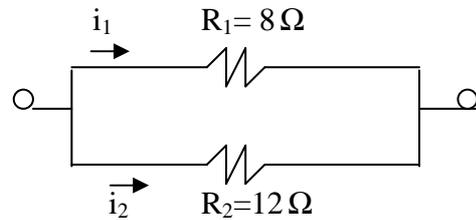
104) Um fogão elétrico, contém duas resistências iguais de 50Ω . Determine a resistência equivalente da associação quando essas resistências forem associadas em paralelo.

105) Calcule o valor da resistência R_1 , sabendo que a resistência equivalente da associação vale 4Ω .

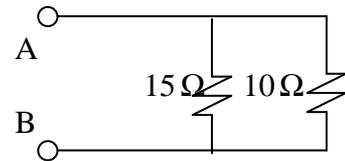


106) Na associação da figura, a corrente que passa por R_1 é 3A. Calcule: a) a resistência

equivalente; b) a corrente que passa por R_2 .



107) No circuito esquematizado abaixo determine a resistência equivalente entre A e B.

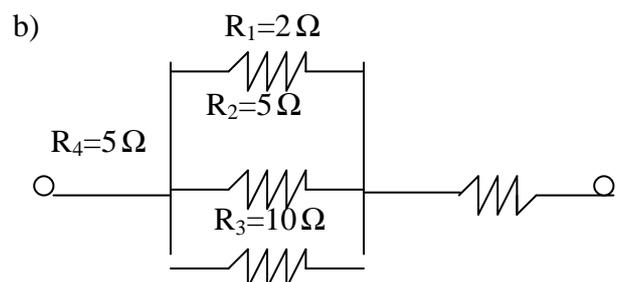
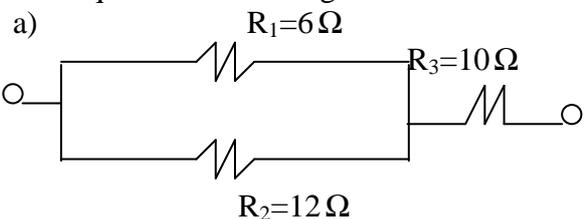


Associação mista de resistores

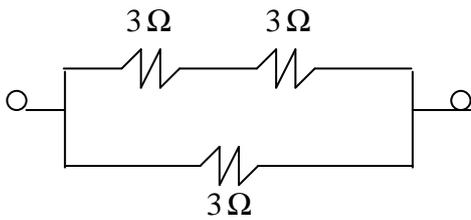
Em um mesmo circuito podem ser encontrados resistores em série e resistores em paralelo. Para calcular a resistência total do circuito, deve-se primeiro calcular a resistência equivalente dos resistores em paralelo, e em posse desse valor, considerá-lo como se fosse mais um resistor em série.

Exercícios

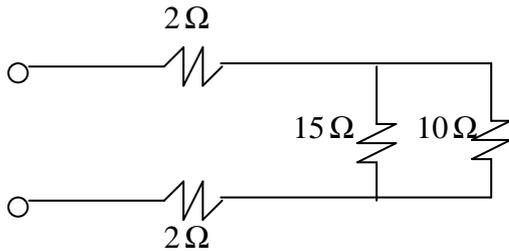
108) Determine a resistência equivalente das associações esquematizadas a seguir.



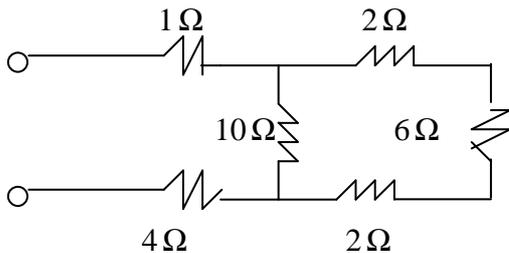
c)



d)



e)



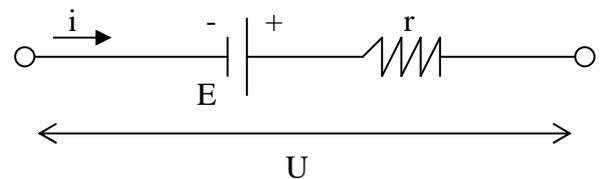
Gerador elétrico

Geradores elétricos são aparelhos que convertem energia, o nome gerador elétrico sugere um conceito muito errado pois a energia não é gerada e sim transformada, pois o Princípio da Conservação de energia seria violado.

Sendo que a função básica de um gerador elétrico é abastecer um circuito, temos que analisar o gerador ideal e o real.

O gerador ideal é um gerador capaz de fornecer às cargas elétricas que o atravessam toda a energia gerada, a tensão elétrica medida entre seus pólos leva o nome de f.e.m. força eletromotriz, e será representada por E.

O gerador real vai ter sempre uma perda de energia devido a resistência interna.



$$U = E - r \cdot i$$

Circuitos elétricos

$$i = \frac{\sum E}{\sum R}$$

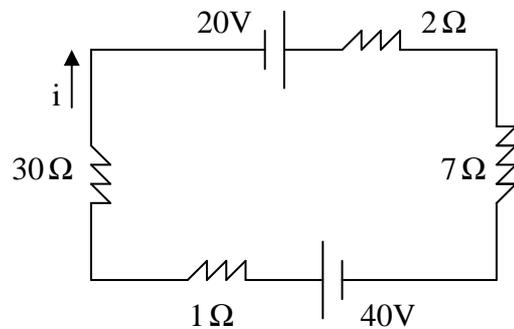
$\sum E$ = soma de todas as forças eletromotrizes do circuito.

$\sum R$ = soma de as resistências do mesmo circuito.

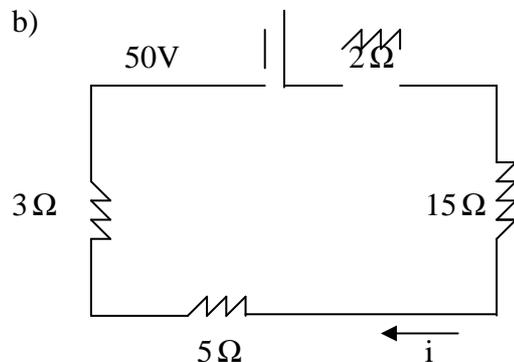
Exercícios

109) Determine a intensidade da corrente que circula em cada um dos circuitos abaixo.

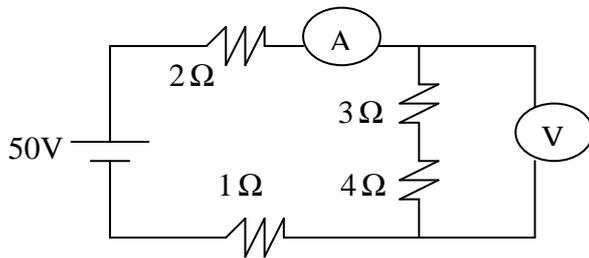
a)



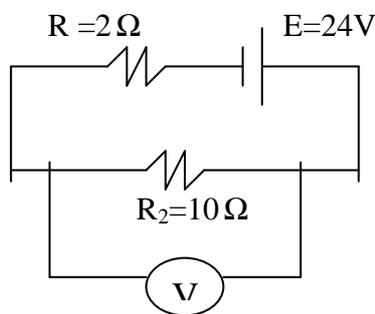
b)



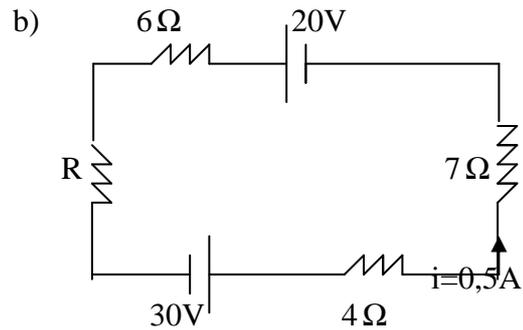
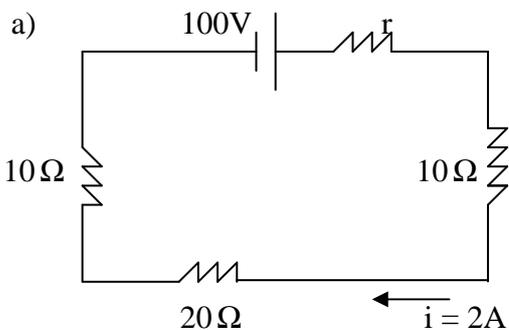
110) Quais as leituras do amperímetro e do voltmímetro no circuito abaixo?



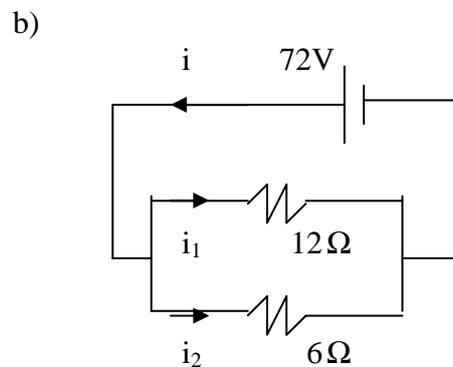
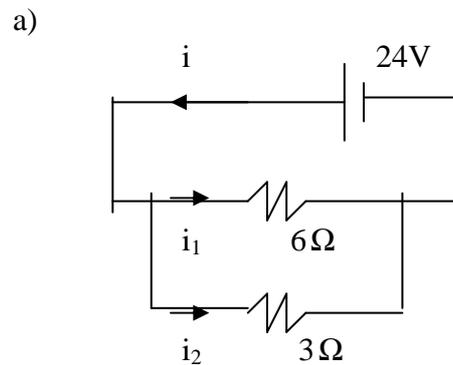
111) No circuito da figura, calcule a leitura do voltmímetro ideal V.



112) Determine o valor da resistência desconhecida em cada um dos circuitos abaixo.



113) Calcule o valor de cada uma das correntes nos circuitos abaixo.



Eletromagnetismo

Parte da física que estuda as propriedades elétricas e magnéticas da matéria, em particular as relações estabelecidas entre elas.

Campo Magnético

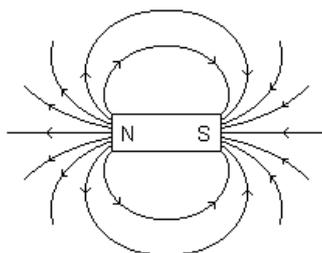
A história do magnetismo começou com um mineral chamado magnetita (Fe_3O_4), a primeira substância com propriedades magnéticas conhecida pelo homem. Sua história anterior é obscura, mas seu poder de atrair ferro já era conhecido séculos antes de

Cristo. A magnetita está amplamente distribuída. No mundo antigo, os depósitos mais abundantes ocorriam na região chamada Magnésia, localizada no que é hoje a Turquia, e a palavra magneto é derivada de uma similar grega, que se diz ter vindo do nome dessa região.

"Campo magnético é toda região ao redor de um ímã ou de um condutor percorrido por corrente elétrica."

Ímãs

Todos os materiais são formados por vários pedaços de matéria - e, em alguns materiais, os pedaços de matéria apresentam uma corrente interna com orientações distintas, sendo que, no geral, o efeito de um pedaço anula o do outro. Quando quase todos esses pequenos ímãs internos são alinhados paralelamente, apresentando a mesma direção e sentido, temos um ímã. Isso pode ocorrer porque, nesses casos, temos mais movimento em uma determinada direção do que em outra, fazendo com que os demais pedaços também adquiram o mesmo tipo de orientação magnética. Esses pedaços da matéria com a mesma orientação magnética são chamados domínios magnéticos e constituem um ímã.



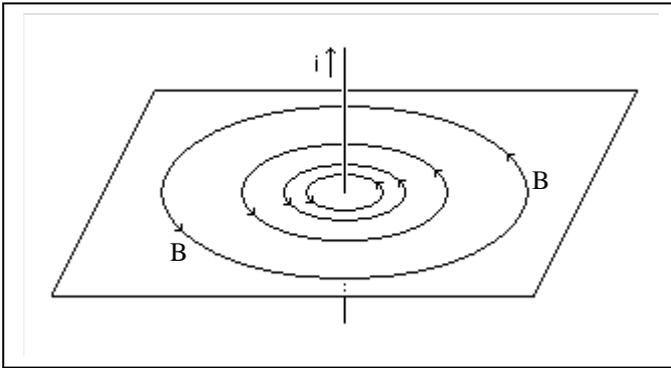
- Pólos magnéticos de mesmo nome se repelem e de nomes contrários se atraem.
- Se seccionarmos um ímã ao meio, surgirão novos pólos norte e sul em cada um dos pedaços, constituindo cada um deles um novo ímã.

Campo magnético criado por um condutor retilíneo

Há séculos, acreditava-se que o magnetismo fosse fenômeno análogo à eletricidade, mas independente desta. Em 1820, Oersted, descobriu um fato que desmente esta presunção: corrente elétrica gera campo magnético. Logo, magnetismo é manifestação de cargas elétricas em movimento. Em ímã não há corrente elétrica livre (ou verdadeira), mas existem correntes elétricas “intrínsecas” (correntes ligadas, ou de magnetização) associadas à própria estrutura da matéria. Ímãs possantes são constituídos essencialmente por ferro ou por ligas tais como “alnico” e “permalloy”; são materiais ditos ferromagnéticos. Fracamente ferromagnéticos são o cobalto, o níquel e o gadolínio.

Corrente elétrica gera campo magnético; ele é regido pela Lei de Biot-Savart-Laplace:

$$B = \frac{\mu.i}{2\pi.r}$$

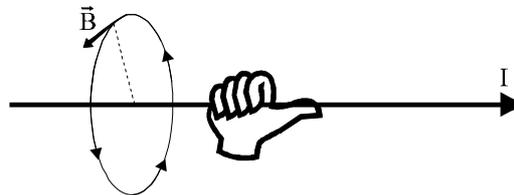


B = intensidade do vetor campo magnético em um ponto (T)
 μ = permeabilidade magnética do meio (T.m/A)
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A (no vácuo)
 r = distância do ponto ao fio (m)

A unidade de \vec{B} no SI é o tesla (T).

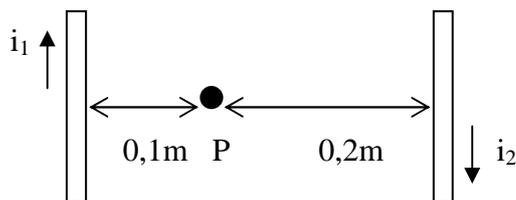
Regra da mão direita: Serve para determinar a direção e o sentido campo magnético.

Segure o condutor com a mão direita de modo que o polegar aponte no sentido da corrente. Os demais dedos dobrados fornecem o sentido do vetor campo magnético, no ponto considerado.



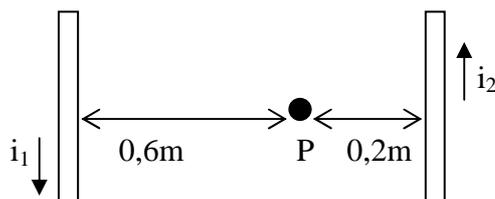
Exercícios

- 114)** Um fio retilíneo e longo é percorrido por uma corrente elétrica contínua $i = 2A$. Determine o campo magnético num ponto distante 0,5m do fio. Adote $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A
115) Um condutor reto e extenso é percorrido por uma corrente de intensidade 2A. Calcular a intensidade do vetor campo magnético num ponto P localizado a 0,1 m do condutor. O meio é o vácuo.
116) A 0,4 m de um fio longo e retilíneo o campo magnético tem intensidade $4 \cdot 10^{-6}$ T. Qual é a corrente que percorre o fio? Adote $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A.
117) Dada a figura, determine a intensidade do campo magnético resultante no ponto P.



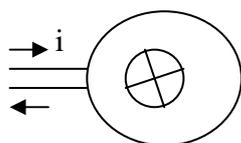
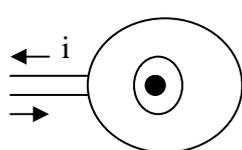
Dados:
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A.
 $i_1 = 4$ A
 $i_2 = 10$ A

- 118)** Dada a figura, determine a intensidade do campo magnético resultante no ponto P.



Dados:
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A.
 $i_1 = 3$ A
 $i_2 = 5$ A

Campo magnético no centro de uma espira circular

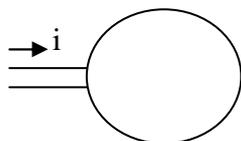


$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}$$

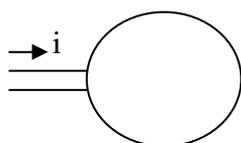
R = raio da espira

Exercícios

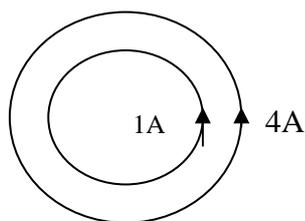
- 119) A espira da figura tem raio 0,2 m e é percorrida por uma corrente de 5A no sentido horário. Determine a intensidade e a orientação do vetor campo magnético no centro da espira. Adote $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$.



- 120) Uma espira circular de raio $R = 0,2\pi \text{ m}$ é percorrida por uma corrente elétrica de intensidade $i = 8\text{ A}$, conforme a figura. Dê as características do vetor campo magnético no centro da espira. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$.

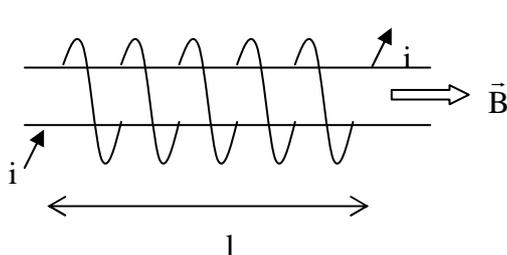


- 121) Duas espiras circulares concêntricas e coplanares de raios $0,4\pi \text{ m}$ e $0,8\pi \text{ m}$ são percorridas por correntes de intensidades 1A e 4A, respectivamente, conforme mostra a figura. Determine a intensidade do vetor campo magnético resultante no centro das espiras. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$.



Campo magnético no interior de um solenóide

Bobina elétrica formada de espiras enroladas muito juntas, às vezes em mais de uma camada, sobre um suporte cilíndrico de comprimento apreciavelmente maior que o diâmetro. Ligado a uma corrente elétrica, o solenóide cria um campo magnético uniforme.



$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot i}{l}$$

N = número de espiras

l = comprimento do solenóide

Exercícios

- 122) Um solenóide de 1 metro de comprimento contém 500 espiras e é percorrido por uma corrente de 2A. Determinar a intensidade do vetor campo magnético no interior do solenóide. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$.
- 123) Considere um solenóide de 0,16m de comprimento com 50 espiras. Sabendo que o solenóide é percorrido por uma corrente de 20A, determine a intensidade do campo magnético no seu interior.
- 124) Um solenóide de 1 metro de comprimento contém 1000 espiras e é percorrido por uma corrente de i . Sabendo que o vetor campo magnético no seu interior vale $8\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$, determine i . O solenóide está no vácuo.
- 125) No interior de um solenóide de comprimento 0,16m, registra-se um campo magnético de intensidade $5\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$, quando ele é percorrido por uma corrente de 8A. Quantas espiras tem esse solenóide? Adote $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$

Força magnética

Um campo magnético não atua sobre cargas elétricas em repouso, mas se pegarmos esta carga e lançarmos com uma velocidade v em direção a uma área onde há um campo magnético B pode aparecer uma força F atuando sobre esta carga, denominada força magnética. As características desta força magnética foram determinadas pelo físico Hendrick Antoon Lorentz (1853-1920).

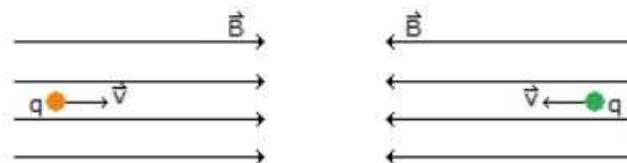
A intensidade da força magnética pode ser obtida por:

$$F = q \cdot B \cdot v \cdot \text{sen}\alpha$$

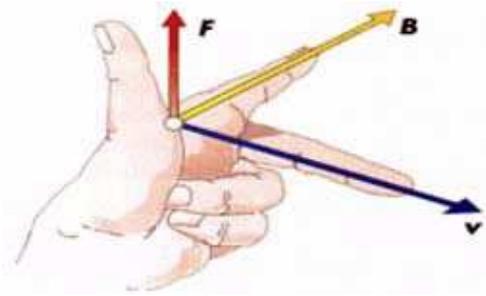
Onde α é o ângulo entre os vetores v e B . No SI a unidade de intensidade do campo magnético é o tesla representado pelo símbolo T.

A força magnética que age sobre a carga móvel é sempre perpendicular ao plano formado pelos vetores v e B .

Observando a equação acima veremos que quando $\alpha = 0$ ou $\alpha = 180^\circ$ a força magnética será nula, portanto quando o lançamento for paralelo ao campo não teremos a força magnética atuando sobre esta carga, assim descrevendo um movimento retilíneo uniforme.



O sentido da força é dada pela regra da mão esquerda, como mostra a figura abaixo:

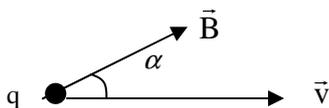


Ou seja, o dedo indicador no sentido do campo e o dedo médio no sentido da velocidade, dando no dedo polegar o sentido da força magnética.

Essa regra é válida para cargas positivas, se a carga for eletricamente negativa basta utilizar a mão direita.

Exercícios

- 125) Uma partícula de carga $6 \cdot 10^{-8}$ C é lançada perpendicularmente a um campo magnético uniforme de intensidade $4 \cdot 10^{-2}$ T, com velocidade 10^3 m/s. Determinar a intensidade da força magnética que atua sobre ela.
- 126) Uma carga elétrica puntiforme de $20 \cdot 10^{-6}$ C, é lançada com velocidade de 4m/s, numa direção perpendicular a um campo magnético, e fica sujeita a uma força de intensidade $8 \cdot 10^{-5}$ N. Qual a intensidade do campo magnético?
- 127) Uma carga elétrica de 10^{-15} C é lançada perpendicularmente a um campo magnético de 10^{-2} T, ficando sob a ação de uma força de 10^{-15} N. Determine a velocidade com que a carga foi lançada no campo.
- 128) Uma partícula elétrica de carga $q=4 \cdot 10^{-6}$ C desloca-se com velocidade $2 \cdot 10^2$ m/s, formando um ângulo $\alpha=45^\circ$ com um campo magnético uniforme de intensidade $16 \cdot 10^4$ T, conforme indica a figura. Determine a força magnética que atua sobre a partícula.



Referências:

- Física básica – volume único – Atual Editora
Autores: Nicolau e Toledo
- Física Ensino Médio – volume único – Editora Scipione
Autor: Chiquetto, Marcos José
- Física – volume único – Editora Ática
Autor: Alberto Gaspar
- Física – volume único – Editora Ática
Autor: Alberto Gaspar
- Física – volume único – Editora Scipione
Autores: Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga
- Imagens da Física – volume único – Editora Scipione
Autores: Ugo Amaldi