

GETEF – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA

FÍSICA FAI 5

AUTO-INSTRUTIVO

- CARGAS ELÉTRICAS EM REPOUSO
- CARGAS ELÉTRICAS EM MOVIMENTO

edicação SARAIVA

FÍSICA FAI
AUTO-INSTRUTIVO

Supervisão Editorial: Alexandre Faccioli

FICHA CATALOGRÁFICA

(Preparada pelo Centro de Catalogação-na-Fonte,
Câmara Brasileira do Livro, SP)

G941f Grupo de Estudos em Tecnologia de Ensino de Física.
FAI 5, física auto-instrutivo: cargas elétricas em
5. repouso, cargas elétricas em movimento; texto progra-
4. ed. mado para 2º grau. 4. ed. São Paulo, Saraiva, 1977.

1. Física (2º grau) – Instrução programada I.
Título: FAI 5. II. Título: Física auto-instrutivo.

77-0189

CDD-530.77

Índice para catálogo sistemático:

1. Instrução programada: Física 530.77

Impressão e Acabamento:
IMPRES
Rua Cadete, 209 - São Paulo
Fones: 67-7905 - 67-3585

4ª edição



SARAIVA S.A. — Livreros Editores

São Paulo — SP
Av. do Emissário, 1897
Tels.: 66-1135 e 67-5742 — PABX.: 66-2106 e 66-2126

Belo Horizonte — MG
R. Célia de Souza, 571 — Bairro Sagrada Família

Rio de Janeiro — RJ
Av. Marechal Rondon, 2231
Tel.: 201-7149

GETEF

FÍSICA FAI 5

AUTO-INSTRUTIVO

- CARGAS ELÉTRICAS EM REPOUSO
- CARGAS ELÉTRICAS EM MOVIMENTO

TEXTO PROGRAMADO
PARA 2º GRAU

edição SARAIVA

1977

GETEF – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA

PROJETO FAI

Coordenadores

Fuad Daher Saad – Paulo Yamamura – Kazuo Watanabe

Autores

Fuad Daher Saad

Instituto de Física – USP
Prof. efetivo de Física
do Col. Est. "Anísio
Teixeira"

Paulo Yamamura

Instituto de Física – USP
Prof. efetivo de Física
do Col. Est. "Idalina
Macedo da Costa Sodré"

Kazuo Watanabe

Instituto de Física – USP
Faculdade de Tecnologia de SP –
Centro Est. de Educação
Tecnológica "Paula Souza"

Norberto Cardoso Ferreira

Instituto de Física – USP
Prof. efetivo de Física do
Col. Est. "Assis Chateaubriand"

Ms. Yashiro Yamamoto

Instituto de Física – USP

Dr. Sadao Isotani

Instituto de Física – USP

Yamato Miyao

Instituto de Física – USP

Marcelo Tassara

Faculdade de Comunicações e
Artes – USP

Ms. João André Guillaumon Filho

Instituto de Física – USP

Elias Horani

Instituto de Física – USP
Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Oziel Henrique Silva

Instituto de Ciências Exatas e
Tecnológicas – UEM (Maringá-PR)

Dononzor Sella

Instituto de Física – USP
Colégio "Santa Cruz"

Dr. Shozo Motoyama

Instituto de História – USP
Prof. efetivo de Física do
Col. Est. "Antonio Raposo Tavares"

Wanderley de Lima

Instituto de Física – USP

Dra. Maria Amélia Mascarenhas Dantas

Instituto de História – USP

Eda Tassara

Instituto de Psicologia – USP

Dr. Iuda Dawid Goldman Lejbman

Instituto de Física – USP

Noriko Kanamura

Instituto de Física – USP

José André Perez Angotti

Instituto de Ciências Exatas e
Tecnológicas – UEM (Maringá – PR)

Alberto Gaspar

Instituto Educação Padre
Anchieta – Prof. efetivo
Instituto de Física da USP

Aiko Tanonaka Ogassawara

Prof. Efetivo – I. E. E. Dr. Otávio Mendes
Instituto de Física – USP

AO ESTUDANTE

O trabalho que ora lhe apresentamos tem por objetivo dar a você condição de aprender uma parte substancial da Física Fundamental. São tratados assuntos que vão desde as primeiras leis elementares de movimento, passando pela análise dos conceitos de energia, movimentos complexos, etc., até noções básicas da Física Moderna. Quanto à importância prática da Física Fundamental, é desnecessário ressaltar. Entretanto, para sua compreensão e para seu uso eficaz, exigem-se conhecimentos razoavelmente detalhados.

Tendo em vista tal fato, este volume é constituído de textos programados, cujo conteúdo foi cuidadosamente analisado e apresentado em pequenos passos (itens). Em cada passo é fornecida uma certa informação e, logo em seguida, uma ou mais questões são apresentadas. Você deverá ler atentamente e escrever a resposta à questão formulada em espaço próprio ou desenvolver à parte. Tendo respondido, deverá verificar se sua resposta corresponde a um acerto, comparando-a com aquela correta apresentada logo a seguir.

Suas respostas servem de informação aos passos seguintes. Por isso, e por outros motivos, escrever a resposta é essencial. É essencial, também, que você escreva sua resposta *antes* de olhar a correta. Uma olhadela à resposta correta, ainda que bem intencionada, só poderá dificultar sua tarefa no futuro. Uma boa norma é fazer resumos de assuntos estudados, ressaltando pontos importantes.

As aparentes repetições que você poderá notar no texto foram incluídas porque há razão para tal. Não pule itens. Siga com o trabalho continuamente.

Se começar a notar que suas respostas não estão sendo correspondidas, é possível que você não tenha estudado o texto atentamente. Nesse caso, reestude o texto, antes de passar adiante. Se persistir a dificuldade, talvez você não esteja utilizando o texto adequadamente. Para sanar eventuais falhas peça auxílio a seu professor.

Este trabalho é um *desafio*: *você* é o responsável pelo seu aprendizado. Livre de esquemas tradicionalmente conhecidos, você irá trabalhar para criar dentro de si a satisfação de uma auto-realização, de ter enriquecido seu repertório e de sentir o sabor de um êxito constante cada vez maior.

Os autores

ÍNDICE

XI – CARGAS ELÉTRICAS EM REPOUSO

1 – Eletrização	14
2 – Cargas elétricas – condutores e isolantes	18
3 – Estrutura eletrônica da matéria – indução elétrica	27
A – Estrutura eletrônica da matéria	27
B – Indução elétrica	31
4 – Medida de forças elétricas entre cargas puntiformes	36
5 – Conservação da carga elétrica	42
6 – Problemas resolvidos	43
7 – Problemas a resolver	49
8 – Campo elétrico	52
A. – Conceito de campo elétrico – Linhas de força do campo elétrico	52
B – Definição quantitativa de campo elétrico – Orientação do campo elétrico – Unidade de medida do campo elétrico no SI	57
C – Intensidade do campo elétrico a uma distância r de uma carga q	61
D – Campo elétrico ao redor de uma esfera condutora eletrizada de raio R	65
E – Campo elétrico ao redor de duas cargas separadas entre si de uma distância d	67
F – Linhas de força do campo elétrico ao redor de corpos eletrizados	72
G – Campo elétrico uniforme e não-uniforme – Campo elétrico entre duas placas metálicas paralelas	80
9 – Energia potencial elétrica – potencial elétrico	90
A – Energia potencial elétrica em um campo uniforme	90
B – Potencial elétrico em um campo uniforme	97
C – Superfícies equipotenciais	102
D – Diferença de potencial; potencial elétrico e superfícies equipotenciais em um campo não-uniforme	115
E – Potencial elétrico nas vizinhanças e no interior de uma esfera metálica carregada – Transferência de cargas entre duas esferas quando conectadas entre si	122
F – Terra: potencial de referência zero	131
G – Elétron-volt: unidade de energia	133

XII – CARGAS ELÉTRICAS EM MOVIMENTO

1 – Fonte de força eletromotriz – Força eletromotriz (FEM)	139
2 – Fontes de força eletromotriz – A pilha voltaica – Histórico	146
3 – Conceito de corrente elétrica – Movimento de cargas elétricas: em condutores sólidos; em líquidos; em gases; no vácuo	148
4 – Intensidade de corrente elétrica – Unidade de intensidade de corrente elétrica no SI: ampère (A) – Sentido convencional da corrente	153
5 – Resistência elétrica – Lei de Ohm	158
A – Conceito de resistência elétrica – Lei de Ohm	158
B – Condutores ôhmicos e não-ôhmicos – Resistores	169
C – Resistividade de condutores elétricos	177
Apêndice: Resistores	185
6 – Associação de resistências em série e em paralelo	186
A – Características gerais da associação	186
B – Características da associação de resistores em série – Resistência equivalente de dois ou mais resistores em série	192
C – Características de uma associação de resistores ligados em paralelo – Resistência equivalente de uma associação de resistores ligados em paralelo	203
D – Associação (mista) de resistores em série e em paralelo	215
7 – Energia e Potência elétrica	228
A – Trabalho e potência de uma fonte de FEM	228
B – Energia e potência dissipada numa resistência R	233
8 – Circuitos de corrente contínua	250
A – Corrente contínua ou direta e corrente não-contínua – Fonte de FEM de corrente contínua	250
B – Elementos de um circuito – Esquematização	252
C – Associação de fontes de FEM	255
D – Equação do circuito – Voltagem nos terminais de uma fonte de FEM	257
9 – Capacitores	280
A – Capacitância e constante dielétrica	280
B – Energia armazenada	283
C – Associação de capacitores	285
10 – A Eletricidade através dos tempos – Histórico	292
Experiências	295

CAPÍTULO XI

Cargas elétricas em repouso

OBJETIVOS: Ao terminar o estudo do capítulo, espera-se que o estudante seja capaz de:

- a. definir operacionalmente carga elétrica.
- b. caracterizar cargas elétricas do ponto de vista da teoria eletrônica da matéria.
- c. especificar qualitativa e quantitativamente a Lei de Coulomb.
- d. conceituar campo elétrico e linhas de força.
- e. definir quantitativamente campo elétrico.
- f. calcular o valor do campo elétrico a uma certa distância de uma carga elétrica puntiforme e de uma esfera eletrizada.
- g. definir campo elétrico uniforme e não-uniforme.
- h. caracterizar variação de energia potencial elétrica de uma carga num campo uniforme.
- i. definir potencial elétrico e superfície eqüipotencial.
- j. calcular diferença de potencial elétrico entre dois pontos num campo elétrico.
- k. calcular potencial elétrico a uma distância finita de uma carga.
- l. calcular o potencial elétrico de uma esfera eletrizada.

Não é segredo a ninguém que a eletricidade no mundo moderno é um elemento de vital importância para a humanidade. Basta observarmos em torno de nós para sentirmos tal fato.

A energia elétrica proveniente de poderosos geradores movimenta as máquinas das fábricas, os trens elétricos, os elevadores, os computadores; gera a iluminação doméstica e pública; aciona os meios de comunicação modernos, como o rádio, a televisão, o telefone, o telégrafo, etc. Da mesma forma, na medicina, inúmeros aparelhos utilizados no diagnóstico e tratamento de enfermidades seriam inviáveis sem o emprego da eletricidade. Frequentemente, o bem-estar social de um povo é medido pelo maior ou menor número de aparelhos eletrodomésticos que possui.

Para podermos entender o funcionamento das inúmeras máquinas e aparelhos elétricos que nos cercam, é necessário desenvolver conhecimentos das leis fundamentais da eletricidade. É o que faremos, começando a estudar os fenômenos elétricos mais simples.

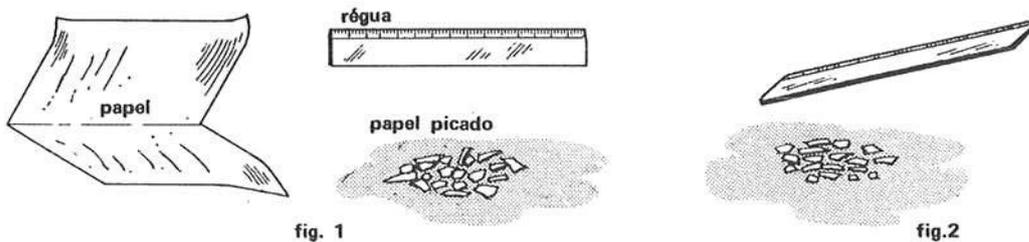
SEÇÃO 1 – ELETRIZAÇÃO

Descreveremos nos quadros subsequentes várias experiências que poderão ser reproduzidas pelos alunos.

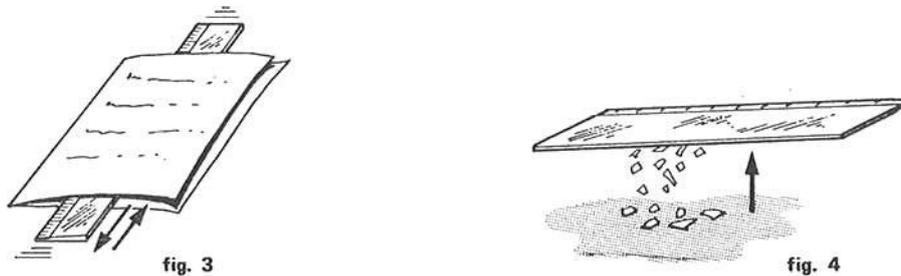
Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 1 a 3.

QUADRO A

- a. Têm-se pedaços de papel picado, uma régua de plástico (pode ser utilizado um pente) e uma folha de papel (pode ser utilizado um lenço) (fig. 1). A régua é aproximada dos pedaços de papel picado e verifica-se que nada ocorre (fig. 2).



- b. A régua é atritada várias vezes com a folha de papel (fig. 3) e em seguida é aproximada dos pedaços de papel. Verifica-se que eles são atraídos pela parte da régua que foi atritada com a folha de papel (fig. 4).



- 1 ■ A régua de plástico é atritada com _____.

papel

- 2 ■ Item a: Ao ser aproximada dos pedaços de papel, antes de ser atritada, a régua os atraiu. (sim; não)

não

- 3 ■ Item b: Depois de atritada com a folha de papel, a régua passou a ter uma nova propriedade: a de _____ pequenos pedaços de papel.

atrair

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 4 a 7.

QUADRO B

a. Têm-se um tênue filete de água escoando através de uma torneira, uma régua de plástico e uma folha de papel (fig. 1). A régua é aproximada do filete de água e verifica-se que nada ocorre (fig. 2).

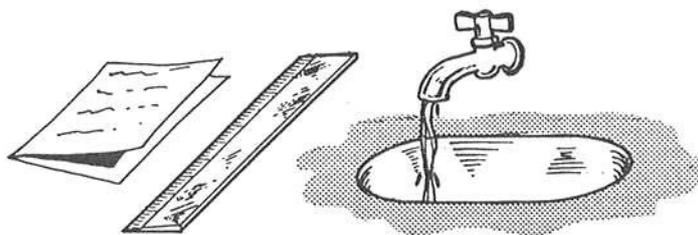


fig. 1

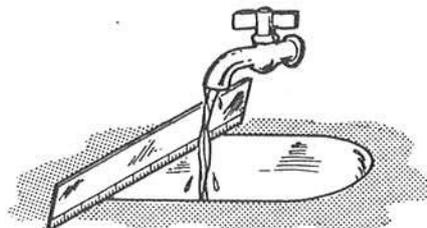


fig. 2

b. A régua é atritada várias vezes com a folha de papel e em seguida é aproximada do filete de água. Observamos agora que o filete é desviado de sua trajetória original (fig. 3).

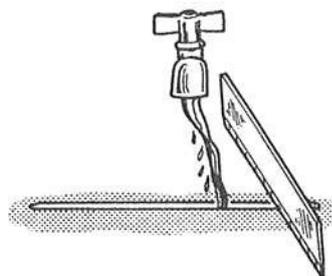


fig. 3

4 ■ A régua de plástico é atritada com uma folha de _____.

papel

5 ■ Item a: Antes de ser atritada com papel, a régua (alterou; não alterou) a trajetória do filete de água.

não alterou

6 ■ Item b: A parte da régua atritada com papel (produziu; não produziu) alteração na trajetória da água quando trazida para suas proximidades.

produziu

7 ■ Item b: A parte da régua atritada com papel (atraiu; não atraiu) as moléculas de água.

atraiu

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 8 a 10.

QUADRO C

a. Têm-se um pedaço de arame, linha fina e isopor (ou cortiça) (fig. 1). Com estes materiais pode-se construir o dispositivo indicado na fig. 2, que é chamado de pêndulo elétrico.

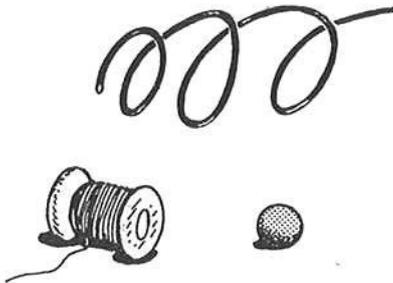


fig. 1

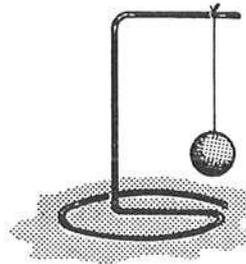


fig. 2

b. Aproximando-se uma régua de plástico do pêndulo verifica-se que nada ocorre (fig. 3).

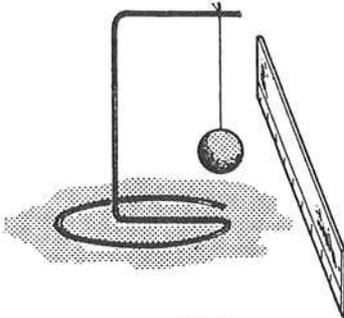


fig. 3

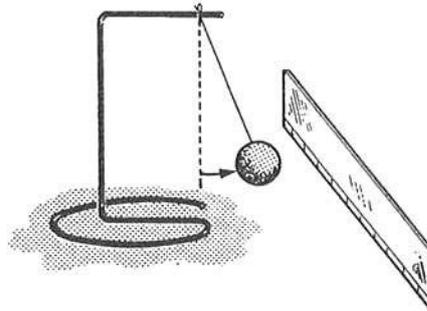


fig. 4

c. A régua é atritada várias vezes com uma folha de papel e em seguida é aproximada do pêndulo. Observa-se que ele é atraído pela parte atritada da régua (fig. 4).

8 ■ O dispositivo montado no Quadro C chama-se _____.

pêndulo elétrico

9 ■ Item b: Aproximando-se a régua não atritada com papel do pêndulo elétrico, observou-se uma alteração no estado de movimento do isopor. (sim; não)

não

10 ■ Item c: A parte atritada da régua atrai o isopor do pêndulo elétrico. (sim; não). Logo, (existe; não existe) uma interação da parte atritada da régua com o isopor do pêndulo.

sim; existe

11 ■ Você acaba de verificar o comportamento de um objeto (régua ou pente) quando atritado com outro objeto diferente (papel ou lenço). Dizemos que a régua ficou **eletrizada por atrito**. O mesmo resultado experimental seria obtido se, ao invés de aproximarmos a régua dos elementos anteriormente indicados, tivéssemos aproximado a parte da folha de papel que foi atritada com a régua. Logo, podemos concluir que a folha de papel atritada com a régua também fica _____.

eletrizada

12 ■ Chamamos de **corpo neutro** aquele que não está eletrizado. A régua e a folha de papel utilizadas nos Quadros A, B e C, antes de serem atritadas, são exemplos de corpos (eletrizados; neutros).

neutros

13 ■ Atualmente sabemos que duas substâncias, **contanto que sejam diferentes**, quando atritadas, sempre se eletrizam. Quando nos penteamos, tanto o pente como a parte dos cabelos que foi tocada pelo pente se eletrizam; já dois pedaços de madeira quando atritados um contra o outro (se eletrizam; permanecem neutros).

permanecem neutros

14 ■ Quando dois corpos diferentes são atritados, podemos prever que (ambos; apenas um deles; nenhum deles) se eletriza(m).

ambos

15 ■ Ao dizermos que um corpo está eletrizado, ou seja, que possui a propriedade de atrair objetos leves, queremos dizer que a ele foi dada uma **carga elétrica**. Através do atrito pode-se produzir _____ elétrica nos corpos atritados.

carga

16 ■ Portanto, através do atrito de duas substâncias diferentes, é possível desenvolver cargas elétricas nos corpos atritados, ou seja, é possível carregá-los ou eletrizá-los. Um corpo neutro (possui; não possui) carga elétrica.

não possui

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

1 ■ Quando uma substância não está eletrizada ou carregada, dizemos que ela está eletricamente _____.

neutra

2 ■ Quando se esfrega um pedaço de pano com uma placa de isopor, tanto o isopor como o pano passam a gozar de uma nova propriedade: a de atrair objetos leves. Daí dizermos que através do atrito eles se _____.

eletrizam

3 ■ Quando atritamos duas réguas de plástico entre si, elas (se eletrizam; permanecem neutras).

permanecem neutras (materiais iguais)

4 ■ As experiências estudadas nesta seção indicam que uma substância eletrizada sempre _____ objetos leves e neutros.

atrai

5 ■ Quando um corpo recebe uma carga elétrica, ele se eletriza. Uma forma de eletrizar ou carregar uma substância é através do _____ com outra substância de (mesma natureza; natureza diferente).

atrito; natureza diferente

Após ter estudado atentamente esta seção, você deve estar apto para:

- a. distinguir, operacionalmente, objetos eletrizados dos não-eletrizados.
- b. definir objeto eletricamente neutro.
- c. especificar a condição de eletrização por atrito, em termos da natureza do material.

SEÇÃO 2 – CARGAS ELÉTRICAS – CONDUTORES E ISOLANTES

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 1 a 4.

QUADRO D

a. Têm-se dois bastões de vidro, sendo um deles suspenso por um fio de linha, e um pedaço de seda (fig. 1). Aproximando-se um bastão de vidro do outro, nada ocorre (fig. 2).



b. O bastão solto é atritado com a seda. Indicaremos com o sinal + a parte do bastão que foi atritada com a seda. Em seguida ele é trazido para as proximidades do bastão suspenso. Observa-se que agora eles se atraem, isto é, existe força atuando entre eles (fig. 3).

c. Uma das extremidades do bastão suspenso é agora atritada com a seda e em seguida aproxima-se dela o outro bastão; verifica-se que agora eles se repelem (fig. 4).

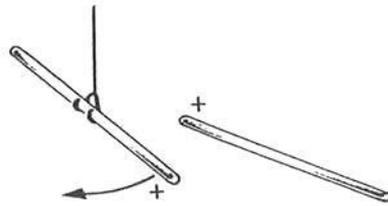


fig. 4

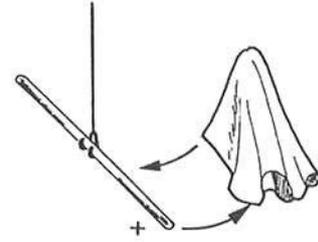


fig. 5

d. A seda, depois de atritada com um dos bastões, é trazida para as proximidades da parte atritada do bastão suspenso. Verifica-se que eles se atraem (fig. 5).

1 ■ O pedaço de seda é atritado com um bastão de _____

vidro

2 ■ Item b: A experiência indica que um bastão de vidro eletrizado por atrito com seda (atrai; repele) um outro bastão de vidro neutro.

atrai

3 ■ Item c: Ao aproximarmos os dois bastões de vidro atritados com seda, (eles se atraem; eles se repelem; nada ocorre).

eles se repelem

4 ■ Item c: Têm-se (apenas um; os dois; nenhum) bastão(ões) de vidro eletrizado(s). Constata-se que a força que age entre eles é de (atração; repulsão).

os dois; repulsão

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 5 a 9.

QUADRO E

a. Têm-se dois bastões de plástico e um pedaço de lã (fig. 1). Inicialmente nenhum dos objetos estão eletrizados, ou seja, ao aproximarmos um objeto do outro nada acontece (fig. 2).

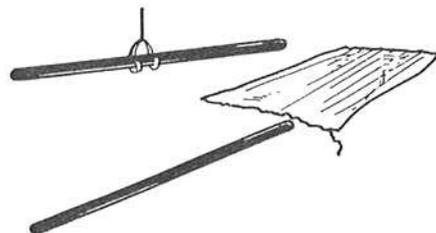


fig. 1

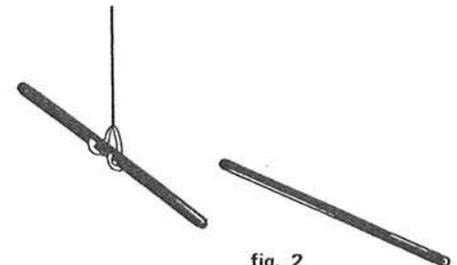


fig. 2

b. O bastão suspenso é atritado com a lã. Indicaremos com o sinal - a parte do bastão que foi atritada com a lã. Em seguida, o segundo bastão é trazido para as proximidades da parte atritada do bastão suspenso; observa-se que agora eles se atraem, isto é, existem forças atuando entre eles (fig. 3).

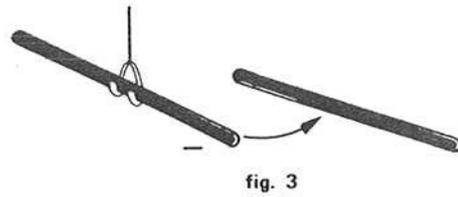


fig. 3

c. A extremidade do segundo bastão é também atritada com a lã e em seguida é trazido para as proximidades do bastão suspenso; verifica-se que eles se repelem (fig.4).

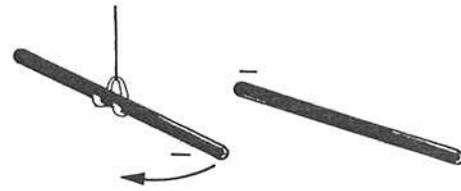


fig. 4

5 ■ As barras de plástico são atritadas com _____.

★★★★★★★★★★

lã

6 ■ Item b: O bastão de plástico eletrizado através do atrito com lã (atrai; repele; não afeta) um outro bastão de plástico neutro.

★★★★★★★★★★

atrai

7 ■ Item c: Ao aproximarmos os dois bastões de plástico atritados com lã, (eles se atraem; eles se repelem; nada ocorre).

★★★★★★★★★★

eles se repelem

8 ■ As experiências descritas nos Quadros D e E nos permitem concluir que um corpo eletrizado ou carregado (atrai; repele) um outro corpo neutro.

★★★★★★★★★★

atrai

9 ■ Da mesma forma, podemos concluir que dois corpos feitos do mesmo material e eletrizados da mesma forma sempre se (atraem; repelem).

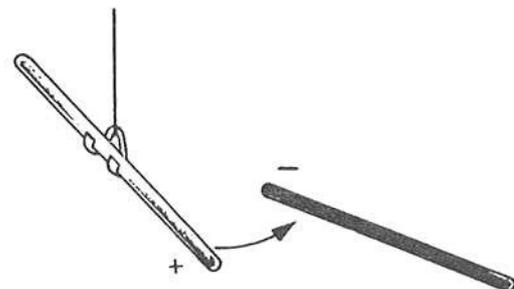
★★★★★★★★★★

repelem

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 10 e 11.

QUADRO F

O bastão de vidro atritado com seda encontra-se suspenso através de um fio e um segundo bastão de plástico atritado com lã é trazido para as proximidades do primeiro. Verifica-se que eles se atraem.



- 10 ■ O bastão de vidro é atritado com _____ e o de plástico é atritado com _____.
- ★★★★★★★★★★
- seda; lã
- 11 ■ Na experiência acima (apenas o bastão de vidro; ambos os bastões; nenhum dos bastões) encontra(m)-se eletrizado(s) ou carregado(s).
- ★★★★★★★★★★
- ambos os bastões
- 12 ■ O item 9 resume um fenômeno no qual dois bastões de vidro atritados com seda, e portanto eletrizados, ao se aproximarem se (atraem; repelem) e, da mesma forma, dois bastões de plástico atritados com lã ao se aproximarem se (atraem; repelem).
- ★★★★★★★★★★
- repelem; repelem
- 13 ■ Pode-se realizar experiências semelhantes às descritas nos Quadros D e E com outros materiais e pode-se sempre obter os mesmos resultados já vistos, ou seja, objetos de mesmo material, que foram eletrizados da mesma forma, sempre se (atraem; repelem).
- ★★★★★★★★★★
- repelem
- 14 ■ Pode-se também realizar experiências semelhantes à descrita no Quadro F, nas quais objetos de material diferente, que foram eletrizados de forma diferente, poderão se atrair ou se repelir. Objetos diferentes eletrizados por processos diferentes podem _____ ou se repelir.
- ★★★★★★★★★★
- se atrair
- 15 ■ As experiências registram que existem apenas duas espécies de cargas elétricas: aquela que aparece no vidro quando atritado com seda, chamada de carga elétrica positiva(+), e aquela que aparece no plástico quando atritado com lã, chamada de carga elétrica negativa (-). Dois objetos quaisquer com cargas positivas (repelem-se; atraem-se). Do mesmo modo, dois corpos quaisquer com cargas negativas (repelem-se; atraem-se).
- ★★★★★★★★★★
- repelem-se; repelem-se
- 16 ■ Objetos eletrizados com cargas de sinais contrários sempre se (atraem; repelem).
- ★★★★★★★★★★
- atraem
- 17 ■ Um objeto eletrizado que se comporta da mesma forma que o vidro atritado com seda é dito estar eletrizado (positivamente; negativamente). Ao aproximá-lo de um objeto que se comporta da mesma forma que o plástico quando atritado com lã, ele (o atrai; o repele; não interage).
- ★★★★★★★★★★
- positivamente; o atrai
- 18 ■ Para um corpo eletrizado ou carregado positivamente utiliza-se o símbolo + . Para um corpo eletrizado negativamente utiliza-se o símbolo - . A parte do bastão de vidro atritada com seda é indicada pelo símbolo (+ ; -) e a parte do bastão de plástico atritada com lã, pelo símbolo (+ ; -).
- ★★★★★★★★★★
- + ; -

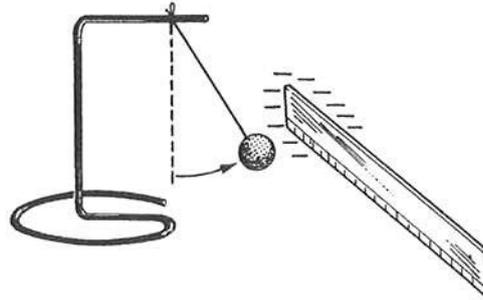
19 ■ Dois corpos eletrizados positivamente (ou negativamente) se _____, ao passo que dois corpos eletrizados com cargas de sinais opostos se _____.

repelem; atraem

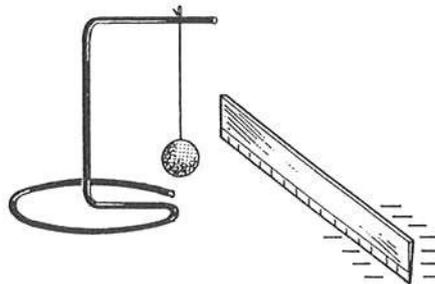
Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 20 e 21.

QUADRO G

a. Uma das extremidades de uma régua de plástico é atritada com flanela e se eletriza. Podemos constatar a eletrização da parte atritada aproximando-a da esfera de um pêndulo elétrico.



b. Aproximando da esfera do pêndulo elétrico a extremidade da régua não atritada, verifica-se que nada ocorre, indicando que ela não se encontra eletrizada.



c. Através desta experiência podemos observar que a carga elétrica desenvolvida numa parte da régua através do atrito não se espalha ou não atinge as partes da régua que não foram atritadas.

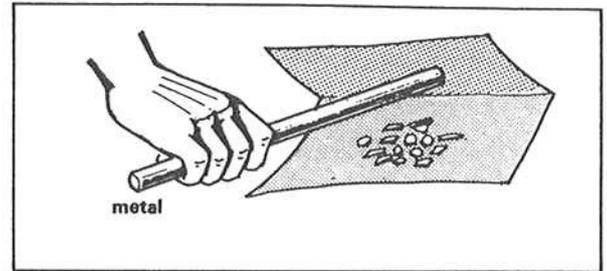
20 ■ A carga elétrica (permanece na região atritada; se espalha por toda a régua).

permanece na região atritada

21 ■ Um grande número de substâncias comporta-se como a régua de plástico do Quadro G, ou seja, quando uma carga elétrica é desenvolvida em determinada região, ela aí permanece. Dizemos que tais substâncias são **isolantes**. O plástico (é; não é) uma substância isolante.

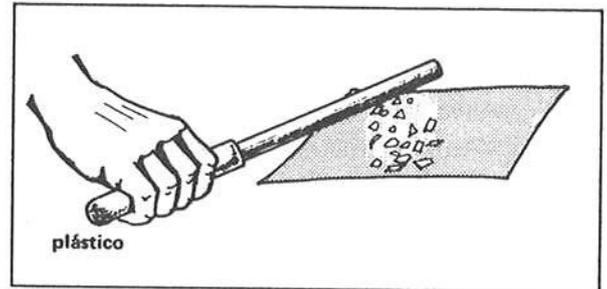
é

- 22 ■ Se um bastão de metal é atritado com uma outra substância, observaremos que se ele for segurado diretamente com as mãos não atrairá corpos leves. Logo, nestas condições, o bastão de metal (apresentará; não apresentará) eletrização.



não apresentará

- 23 ■ Se repetirmos a experiência descrita no item 22, mas ao invés de segurarmos diretamente o bastão de metal o fizermos através de um cabo de plástico, constatamos que após atritar a parte metálica com uma outra substância, por exemplo, seda ou flanela, o bastão de metal passará a atrair objetos leves. Nestas condições, o bastão (apresentará; não apresentará) eletrização.



apresentará

- 24 ■ Aparentemente, o metal se eletriza quando tem um cabo de plástico e não se eletriza quando não tem. Mas na realidade o metal se eletriza sempre. O metal quando eletrizado numa região não isola a eletricidade aí desenvolvida, mas permite que ela se espalhe por toda sua superfície. O metal, portanto, (é; não é) isolante.

não é

- 25 ■ Quando um bastão de metal está segurado com as mãos e é eletrizado, a carga elétrica chega ao corpo do experimentador e se escoia para a Terra. Quando o metal possui cabo de plástico, esse cabo (permite; não permite) o escoamento da eletricidade aí desenvolvida.

não permite

- 26 ■ As substâncias que se comportam como os metais, isto é, que conduzem a eletricidade, são chamadas de condutores. São condutores: os metais, o carbono, soluções aquosas de ácido, sais e bases, os gases rarefeitos, os corpos dos animais, as substâncias úmidas, etc. São isolantes: vidro, seda, plástico, parafina, enxofre, borracha, madeira seca, porcelana, ar seco, água pura, algodão, etc. O corpo humano é (isolante; condutor), ao passo que o papel é (condutor; isolante).

condutor; isolante

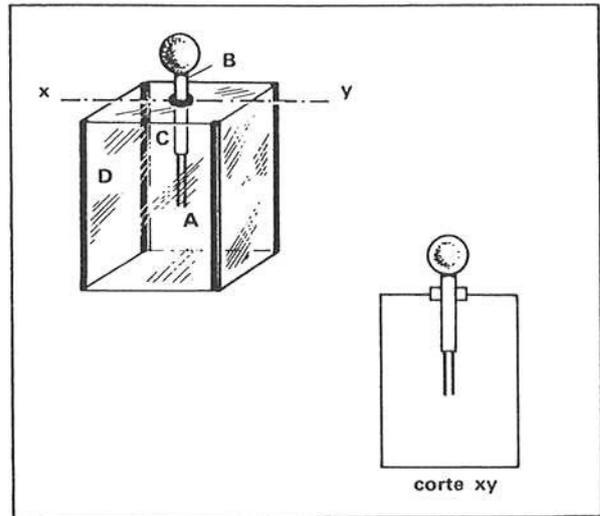
- 27 ■ Todas as vezes que um corpo eletrizado é colocado em contato com a Terra, a eletricidade do corpo se escoia para ela; isto só pode ocorrer porque a Terra é também (isolante; condutora). O fato de a carga elétrica de um corpo eletrizado se escoar para a Terra quando é colocado em contato com ela é devido não somente à presença de substâncias condutoras, mas também porque o seu volume é muito maior que o volume dos corpos que entram em contato com a Terra. Este fenômeno será estudado mais adiante.

condutora

28 ■ Quando usamos sapatos de borracha e tocamos um objeto eletrizado, sua carga elétrica (pode; não pode) se escoar para a Terra, pois a borracha é (condutora; isolante).

não pode; isolante

29 ■ A figura ao lado representa um instrumento chamado eletroscópio, utilizado para revelar a presença de cargas elétricas. Duas lâminas delgadas ou folhas de ouro ou alumínio (A) são fixadas à extremidade inferior de uma haste metálica (B) que passa através de um suporte (C) de borracha ou de vidro ou ainda de plástico. A haste possui na sua parte superior uma esfera metálica. A caixa (D) é provida de janela de vidro que permite que se observe as folhas de ouro ou de alumínio e as protege contra correntes de ar. As folhas e a haste do eletroscópio são feitas de material (condutor; isolante), ao passo que o suporte é feito de material (condutor; isolante).



condutor; isolante

30 ■ Quando o eletroscópio está eletrizado positivamente ou negativamente, a carga elétrica se espalha por todas as partes condutoras, ou seja, haste e folhas. Estas (se atraem; se repelem) porque _____

se repelem; estão eletrizadas com cargas de mesmo sinal e elas se repelem

31 ■ Quando as folhas do eletroscópio estão abertas é porque suas folhas (apresentam; não apresentam) excesso de cargas elétricas.

apresentam

32 ■ Quando tocamos a esfera da haste metálica de um eletroscópio inicialmente descarregado ou neutro com um corpo eletrizado negativamente, uma parte das cargas negativas do corpo passa para o eletroscópio e suas folhas (se abrem; permanecem fechadas), porque ficam eletrizadas (positivamente; negativamente).

se abrem; negativamente

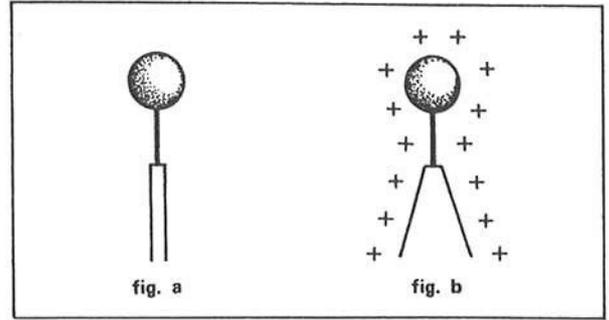
33 ■ O mesmo ocorreria se a haste metálica fosse tocada por um corpo carregado positivamente. Se o eletroscópio estivesse descarregado, ele adquiriria uma parte da carga positiva do corpo e suas folhas _____.

se abririam

34 ■ Quando um corpo inicialmente neutro é tocado em outro carregado ou eletrizado, dizemos que ele se eletriza por contato. Ao atritarmos um pano com um pente, dizemos que eles se eletrizam por _____, se encostarmos o pente eletrizado em um outro corpo inicialmente neutro, este será eletrizado por _____.

atrito; contato

35 ■ A fig. a, ao lado, representa, esquematicamente, um eletroscópio descarregado, e a fig. b, um eletroscópio carregado positivamente. Ao tocarmos a haste de um eletroscópio com um vidro atritado com seda, o eletroscópio ficará eletrizado, por contato, (positivamente; negativamente). Quando a haste de um eletroscópio for tocada por um pedaço de plástico atritado com lã, ele ficará eletrizado (positivamente; negativamente).



positivamente; negativamente

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

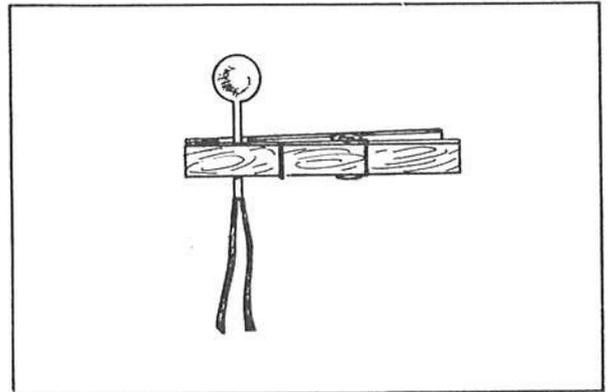
1 ■ Quando um bastão de vidro é atritado com seda, ele fica eletrizado _____. O plástico atritado com lã fica eletrizado _____. O bastão de vidro atritado com seda (atrai; repele) um pedaço de plástico atritado com lã.

positivamente; negativamente; atrai

2 ■ Um objeto inicialmente neutro ao ser tocado por um objeto eletrizado negativamente ficará eletrizado negativamente por (atrito; contato).

contato

3 ■ Construa um eletroscópio rudimentar para investigar os fenômenos de eletrização descritos nesta seção. Utilize, para tal, papel de cigarro (a parte aluminizada separada do papel) e um pregador de roupa. Atrite com papel uma régua de plástico ou pente e coloque-a em contato com seu eletroscópio. As folhas do eletroscópio _____. Encoste a seguir seu dedo na haste do eletroscópio. Suas folhas _____. Portanto, a carga do eletroscópio se escoou, através de seu corpo, que é (condutor; isolante).



abrir-se-ão; fechar-se-ão; condutor

4 ■ Um corpo eletrizado positivamente (atrairá; repelirá) um segundo corpo eletrizado negativamente. Um corpo eletrizado positivamente (atrairá; repelirá; não atrairá nem repelirá) um segundo corpo descarregado.

atrairá; atrairá

5 ■ A experiência registra que, geralmente, os bons condutores de calor também são bons condutores de eletricidade, da mesma forma que os bons isolantes térmicos também são bons isolantes elétricos. Os fios utilizados para o transporte de eletricidade são feitos de material _____, ao passo que a capa que os cobre é feita de material _____.

condutor; isolante

6 ■ Cargas elétricas de sinais contrários se _____, ao passo que cargas de mesmos sinais se _____.

atraem; repelem

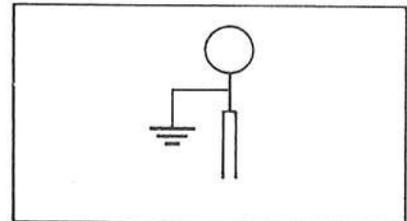
7 ■ Um corpo eletrizado positivamente sempre atrairá um segundo corpo _____ e sempre repelirá um corpo _____.

eletrizado negativamente ou neutro; eletrizado positivamente

8 ■ Aproximando-se de um corpo um bastão de vidro atritado com seda, observa-se que o mesmo é atraído. Podemos afirmar que o corpo está eletrizado negativamente?

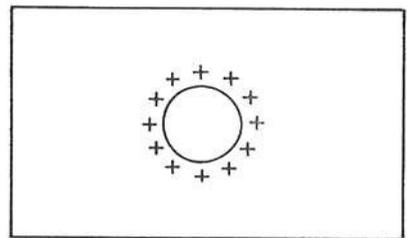
Não. Ele poderá estar neutro.

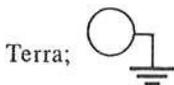
9 ■ O símbolo  é utilizado para indicar que um corpo está ligado à Terra. O eletroscópio esquematizado ao lado (está; não está) ligado à Terra. Quando um corpo eletrizado é ligado à Terra e nas suas proximidades não existe outro corpo eletrizado, sua carga elétrica se “escoa” para ela, e o corpo fica _____.



está; neutro

10 ■ Quando tocamos um corpo eletrizado com os dedos, estamos na realidade efetuando a ligação do corpo à _____. Faça a ligação à Terra do corpo eletrizado ao lado.





Após ter estudado atentamente esta seção, você deve estar apto para:

- definir carga elétrica positiva e negativa.
- enunciar as leis de atração e repulsão entre cargas elétricas.
- caracterizar a eletrização de um objeto por contato.
- caracterizar substâncias condutoras e isolantes.

SEÇÃO 3 – ESTRUTURA ELETRÔNICA DA MATÉRIA – INDUÇÃO ELÉTRICA

A – ESTRUTURA ELETRÔNICA DA MATÉRIA

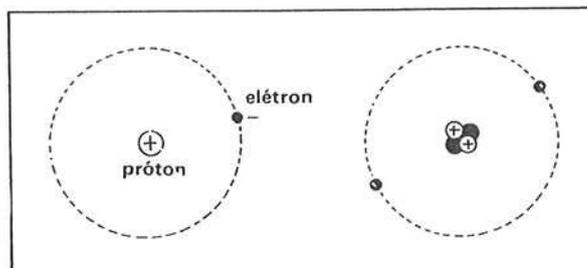
- 1 ■ A compreensão dos fenômenos relacionados à eletricidade nos leva à recapitulação de alguns conceitos básicos da estrutura da matéria. Já sabemos que a matéria é composta de átomos dos quais existem muitos tipos. Os átomos (são; não são) os constituintes fundamentais dos corpos.

são

- 2 ■ Um átomo tem aproximadamente 10^{-10} m de diâmetro e é formado de uma região central, chamada núcleo, na qual está concentrada quase toda sua massa, e de outra que o circunda, na qual se encontram partículas leves chamadas elétrons. O diâmetro do núcleo é da ordem de 10^{-14} m. Logo, o diâmetro do átomo é da ordem de _____ vezes o diâmetro do núcleo.

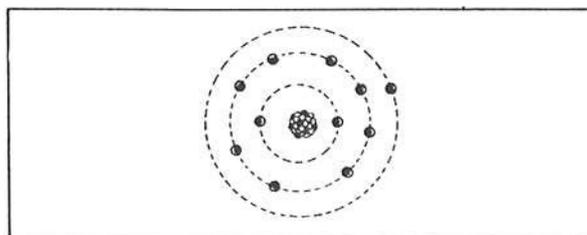
10^4

- 3 ■ O núcleo do átomo é constituído, basicamente, por prótons, que possuem carga elétrica positiva, e nêutrons, que conforme o nome indica não possuem carga elétrica. Dois prótons próximos um do outro se (atraem; repelem). Justifique sua resposta.



repelem; pois têm cargas de mesmo sinal.

- 4 ■ Os elétrons, que giram em torno do _____ do átomo, possuem carga elétrica **negativa**. Logo, um elétron (atrai; repele) um próton e repele outro _____.



núcleo; atrai; elétron

- 5 ■ Os prótons e os nêutrons encontram-se firmemente presos no núcleo por uma poderosa força de origem nuclear, força esta que atua a distâncias muito pequenas, ou seja, da ordem de 10^{-13} cm. Portanto, a força que mantém os prótons e os nêutrons no núcleo dos átomos é de origem (gravitacional; nuclear; elétrica).

nuclear

- 6 ■ Os elétrons permanecem presos à estrutura atômica pela atração elétrica do núcleo do átomo, que possui carga _____.

positiva

7 ■ A carga positiva do núcleo do átomo depende do número atômico do elemento. O número atômico (Z) de um elemento químico corresponde ao número de prótons que ele contém no núcleo. O hidrogênio (H) possui número atômico (Z) igual a 1. Logo, ele possui _____ em seu núcleo. No átomo neutro, o número de prótons é igual ao número de elétrons. Nessas condições, o número atômico (Z) pode também ser definido como o número de elétrons do átomo. O átomo de sódio tem 11 elétrons. O número atômico do sódio é _____.

um próton; 11

8 ■ O hélio (He) possui $Z = 2$. Logo, ele possui _____ cargas negativas ou elétrons.

duas

9 ■ Cada próton possui uma unidade de carga positiva e cada elétron possui uma unidade de carga _____. Como um átomo em seu estado normal contém o mesmo número de prótons e elétrons, ele se apresenta eletricamente (positivo; negativo; neutro).

negativa; neutro

10 ■ Dizemos que um átomo em seu estado normal é neutro porque o número de cargas positivas ou prótons _____.

é igual ao número de cargas negativas ou elétrons

11 ■ Na natureza não se conhece, até o presente momento, carga menor do que a que um próton ou elétron possuem. Logo, (é; não é) possível dividir a carga de um próton ou elétron.

não é

12 ■ Os prótons estão firmemente presos nos núcleos dos átomos. Em algumas substâncias, como os metais, certos elétrons periféricos podem abandonar o átomo e se tornar, assim, **elétrons livres**. Os átomos que perdem elétrons tornam-se íons positivos e os que recebem, tornam-se íons _____. Portanto, os íons positivos possuem um excesso de cargas _____ em relação ao átomo normal, pois a perda de elétrons desequilibra a igualdade de cargas positivas e negativas.

negativos; positivas

13 ■ Nos corpos condutores, os elétrons livres formam um verdadeiro "gás" de elétrons, com grande mobilidade através do corpo. Um corpo neutro torna-se eletrizado negativamente quando recebe elétrons de um outro corpo, isto é, fica com excesso de elétrons. Da mesma forma, podemos dizer que um corpo encontra-se eletrizado positivamente quando (possui excesso de elétrons; lhe faltam elétrons; recebe prótons de outro corpo).

lhe faltam elétrons

14 ■ Se um corpo torna-se eletrizado, então ele apresenta falta ou excesso de elétrons. O número de prótons do corpo não é mais igual ao número de elétrons. Eletrizar um corpo é, portanto, romper o equilíbrio existente entre o número de prótons e o de elétrons. Quando atritamos a seda com o vidro, ambos inicialmente neutros, o vidro fica eletrizado _____; logo, ele cedeu _____ para a seda. Esta por sua vez fica eletrizada _____, isto é, fica com excesso de _____.

positivamente; elétrons; negativamente; elétrons

- 15 ■ Os corpos isolantes foram caracterizados como sendo aqueles nos quais os átomos acham-se ligados de tal forma que seus elétrons, mesmo os mais externos, estão bastante presos dentro da estrutura atômica. Desta forma, eles não podem se tornar elétrons livres. Se um excesso de elétrons for transferido para uma determinada região de um corpo isolante, eles ficarão nessa região porque não possuem mobilidade. Somente haverá elétrons livres num isolante se fizermos atuar forças externas intensas sobre o corpo. Em um corpo condutor existem (muitos; poucos) elétrons livres, ao passo que num corpo isolante existem (muitos; poucos) elétrons livres.

muitos; poucos

- 16 ■ Pelos exemplos estudados, pode-se concluir que as cargas que se movimentam nos sólidos são as (positivas; negativas), uma vez que as cargas _____ acham-se rigidamente presas no núcleo do átomo.

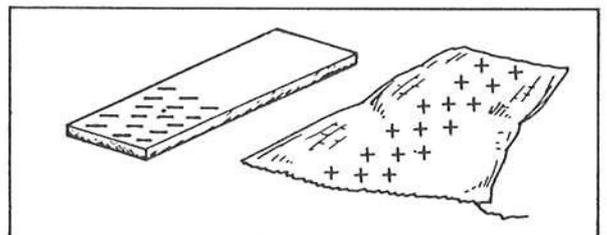
negativas; positivas

- 17 ■ Retorne ao item 33 da página 24.

Explique o que ocorre na experiência desse item em termos da teoria eletrônica da matéria.

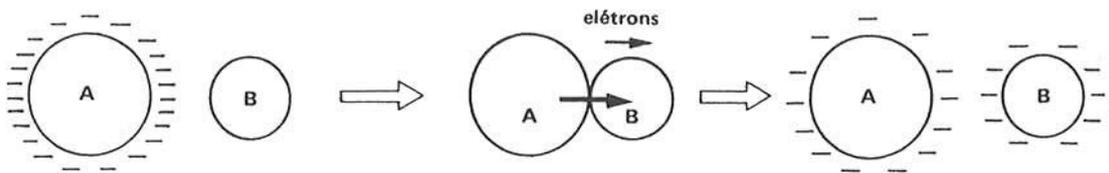
Na realidade, o eletroscópio cede elétrons para o corpo carregado positivamente colocado em contato com o mesmo. Na verdade, o eletroscópio “não adquire” carga positiva, entendida como carga transferida do corpo eletrizado positivamente.

- 18 ■ Quando a lã é atritada com plástico, o plástico torna-se (positivo; negativo; neutro), ao passo que a lã se torna (positiva; negativa; neutra). Portanto, pode-se afirmar que a lã (fornece; recebe) elétrons (ao; do) plástico, quando atritados entre si.



negativo; positiva; fornece; ao

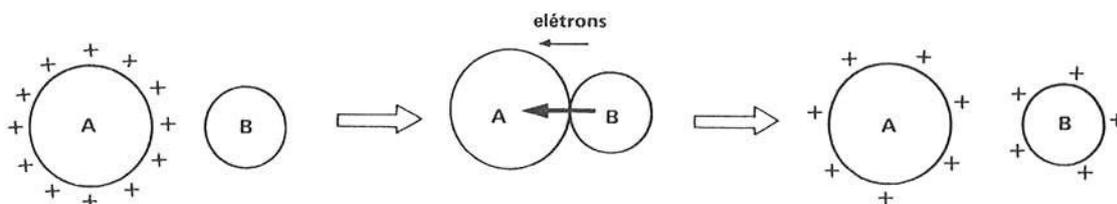
- 19 ■ Um bom condutor contém muitos elétrons livres, que se movem com relativa facilidade no interior do material. Como cargas iguais se repelem, os elétrons livres se espalham por todo o material, procurando cada carga negativa situar-se o mais longe possível de outra. Quando um corpo tiver um excesso de elétrons e for colocado em contato com um segundo corpo condutor neutro, uma parte das cargas negativas se transfere para o corpo inicialmente neutro, eletrizando-o _____. Desta forma, o corpo eletrizado negativamente ficará com um número (maior; menor; igual) de cargas negativas em excesso. O corpo que estava inicialmente neutro ficará com um excesso de cargas (positivas; negativas)



O corpo A eletrizado negativamente ao ser colocado em contato com o corpo B inicialmente neutro transfere uma parte do excesso de cargas que possui para B.

negativamente; menor; negativas

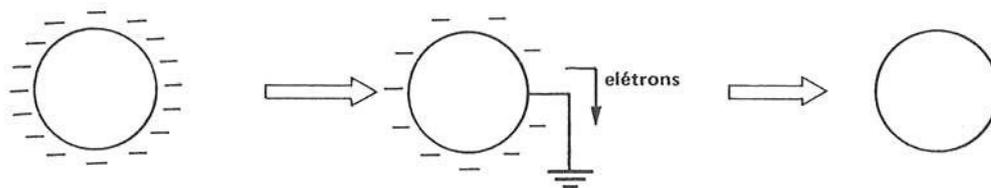
- 20 ■ Quando um corpo positivamente carregado é colocado em contato com um segundo condutor inicialmente descarregado, uma parte dos elétrons livres do corpo neutro se transfere para o corpo positivamente carregado. Desta forma, o corpo eletrizado positivamente ficará com um número (maior; menor; igual) de cargas positivas em excesso. O corpo que estava inicialmente neutro ficará com um excesso de cargas (positivas; negativas).



O corpo A eletrizado positivamente ao ser colocado em contato com o corpo B inicialmente neutro retira algumas cargas negativas do mesmo, deixando-o com um excesso de cargas positivas.

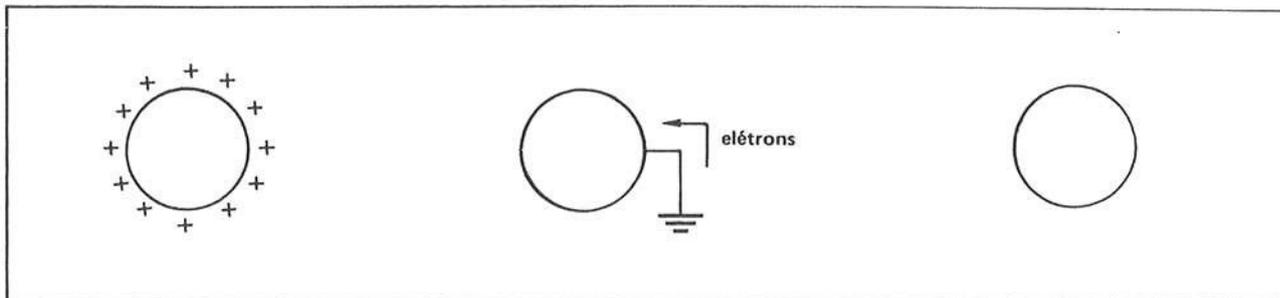
menor; positivas

- 21 ■ Quando ligamos um corpo carregado negativamente à Terra, o excesso de elétrons do corpo se escoia para a Terra. Desta forma, o corpo fica (positivamente carregado; negativamente carregado; descarregado).



descarregado

- 22 ■ Se o corpo condutor encontrar-se positivamente eletrizado e fizermos sua ligação com a Terra, o excesso de cargas positivas que possui será neutralizado pelos elétrons fornecidos (pelo próprio corpo; pela Terra).



pela Terra

B – INDUÇÃO ELÉTRICA

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 1 a 6.

QUADRO H

a. Têm-se um bastão de vidro eletrizado positivamente e um eletroscópio descarregado (fig. 1). A parte eletrizada do bastão de vidro é trazida para as proximidades da haste do eletroscópio; as folhas do eletroscópio se abrem (fig. 2).

fig. 1

fig. 2

fig. 3

b. O bastão de vidro é retirado das proximidades da haste do eletroscópio. As suas folhas se fecham, voltando à posição inicial (fig. 3).

- 1 ■ O bastão de vidro eletrizado positivamente (tocou; não tocou) na haste do eletroscópio.

não tocou

- 2 ■ Item a, fig. 2: As folhas abertas do eletroscópio indicam que elas apresentam um excesso de cargas elétricas. Como o bastão de vidro positivamente carregado atrai as cargas _____ e repele as _____, na esfera do eletroscópio deve haver um excesso de cargas _____, ao passo que nas folhas do eletroscópio deve existir um excesso de cargas _____.

negativas; positivas; negativas; positivas

3 ■ Item a, fig. 2: Quando o bastão de vidro se encontra nas proximidades da haste do eletroscópio, (ocorre; não ocorre) transferência de cargas do bastão para o eletroscópio.

não ocorre

4 ■ Item b, fig. 3: Ao ser retirado o bastão eletrizado das proximidades do eletroscópio, suas folhas _____; isto indica que ele se encontra eletricamente _____.

se fecham; neutro

5 ■ Item a, fig. 2: Ao aproximarmos o bastão de vidro do eletroscópio, uma parte das cargas do eletroscópio separa-se (as positivas das negativas); ao afastarmos o bastão de vidro (fig. 3), essas cargas retornam às suas posições iniciais. Logo, durante a experiência descrita, o número de cargas positivas do eletroscópio foi sempre (igual ao; maior que o; menor que o) das cargas negativas.

igual ao

6 ■ Na experiência do Quadro H é descrito o fenômeno elétrico conhecido por **indução elétrica**. Ela consiste num processo de separação de cargas de sinais contrários em um corpo, pela influência de um outro corpo eletrizado, sem que haja transferência de cargas entre eles. O corpo que se encontra inicialmente carregado é chamado **indutor** e o outro **induzido**. No Quadro H o corpo indutor é o _____ e o induzido é o _____.

bastão de vidro; eletroscópio

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 7 a 9.

QUADRO I

Tem-se um eletroscópio inicialmente descarregado (fig. 1). Uma régua eletrizada negativamente é trazida para as proximidades da haste do eletroscópio. Observa-se que suas folhas se abrem (fig. 2). Afastando-se a régua eletrizada das proximidades do eletroscópio, suas folhas se fecham (fig. 3).

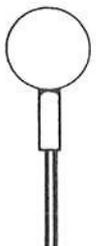


fig. 1

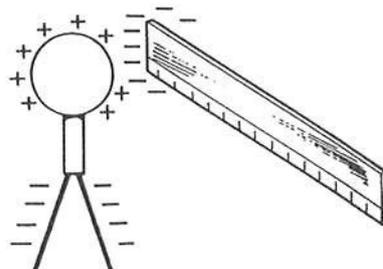


fig. 2

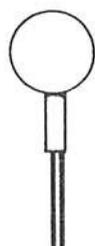


fig. 3

7 ■ Uma régua de plástico eletrizada (positivamente; negativamente) é aproximada da haste de um eletroscópio.

negativamente

- 8 ■ Na experiência acima, fig. 2, o indutor é (a régua; o eletroscópio). Nas folhas do eletroscópio existe um excesso de cargas (positivas; negativas) enquanto que na extremidade da haste existe um excesso _____

a régua; negativa; de cargas positivas

- 9 ■ Quando a régua de plástico foi retirada das proximidades do eletroscópio, suas folhas (fecharam-se; permaneceram abertas). Nesta experiência (houve; não houve) transferência de cargas elétricas de um corpo para outro.

fecharam-se; não houve

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 10 a 12.

QUADRO J

- a. Têm-se uma régua carregada negativamente e uma esfera condutora inicialmente neutra (fig. 1). Aproxima-se da esfera a régua eletrizada e constata-se que há uma separação de cargas da esfera. As cargas negativas (elétrons livres) da esfera são repelidas para a extremidade mais afastada da régua e as positivas ficam na face defronte da régua (fig. 2).

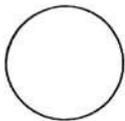


fig. 1

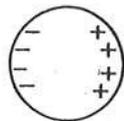


fig. 2

- b. Faz-se a ligação da esfera com a Terra mantendo-se a régua eletrizada próxima da esfera. As cargas negativas repelidas pelas de mesmo sinal da régua se escoam para a Terra, enquanto que as positivas, induzidas pelas negativas da régua, permanecem na esfera (fig. 3). Ao ser afastada a régua, cortando-se antes a ligação com a Terra, verifica-se que a esfera ficará eletrizada positivamente. (fig. 4).

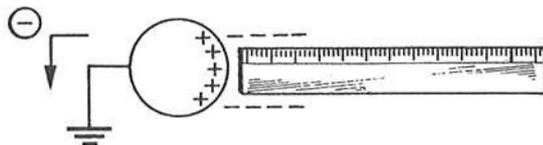


fig. 3

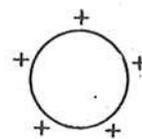


fig. 4

- 10 ■ Neste quadro é descrita uma experiência que nos permite carregar um corpo inicialmente neutro utilizando-nos do fenômeno da indução elétrica. O indutor está carregado _____.

negativamente

- 11 ■ Na experiência (houve; não houve) transferência de cargas do corpo eletrizado para o corpo inicialmente neutro.

não houve

12 ■ Quando foi feita a ligação à Terra mantendo-se a régua perto da esfera condutora, as cargas induzidas negativas da esfera escoaram-se para a Terra, enquanto que as induzidas positivas da esfera nela permaneceram devido à interação entre as cargas de sinais contrários da régua e da esfera. Desta forma, quando a régua é afastada após o rompimento da ligação à Terra, a esfera ficará com um excesso de cargas _____ .

positivas

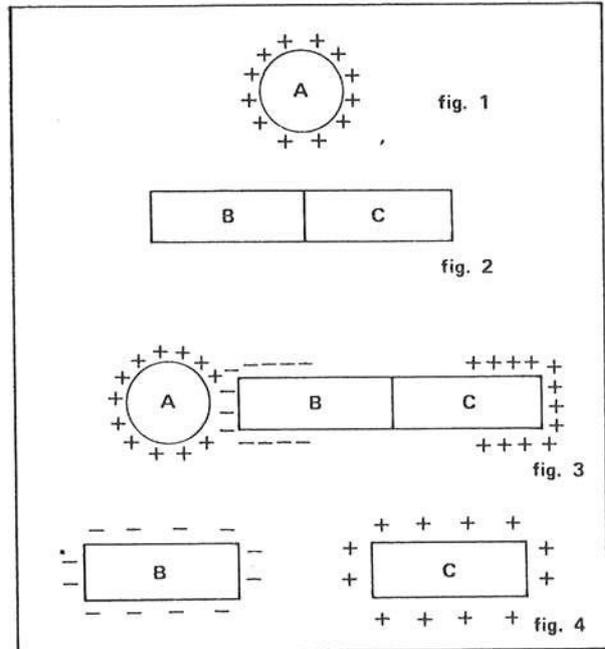
13 ■ Qualquer objeto condutor, que se encontra isolado, pode ser temporariamente eletrizado por indução. A região do objeto mais próxima do corpo carregado adquirirá uma carga de (sinal igual; sinal oposto) à do indutor, ao passo que a região mais afastada adquirirá uma carga de (mesmo sinal; sinal oposto).

sinal oposto; mesmo sinal

14 ■ Os diagramas ao lado ilustram uma forma de se eletrizar dois corpos condutores de cargas iguais em módulo e de sinais opostos utilizando-se do fenômeno da indução elétrica. Têm-se um objeto (A) eletrizado positivamente (fig. 1) e dois condutores (B e C) conectados e inicialmente descarregados (fig. 2). Aproxima-se dos condutores o corpo eletrizado. Como as cargas negativas possuem livre movimento através de um condutor, elas são atraídas para as proximidades do corpo indutor, ao passo que na extremidade oposta encontram-se as positivas (fig. 3). Separando-se os corpos B e C e afastando-se o corpo A, observa-se que B e C _____

(fig. 4).

tornam-se eletrizados: B negativamente e C positivamente (ou seja, cada corpo possui a mesma quantidade de cargas em excesso, mas de sinais opostos)



EXERCÍCIOS DE REVISÃO

1 ■ De acordo com a distribuição de cargas num átomo, temos: um núcleo carregado _____ e girando em torno dele cargas _____ ou _____

positivamente; negativas; elétrons

2 ■ Dos processos de eletrização existentes, até o presente momento desenvolvemos três. Dê os nomes dos processos de eletrização já estudados: _____

atrito; contato; indução elétrica

- 3 ■ Tem-se um eletroscópio carregado positivamente. Aproxima-se dele um objeto carregado e observa-se que suas folhas se abrem mais. Determine o sinal da carga do objeto.

positiva

- 4 ■ Explique por que o cobre é um bom condutor de eletricidade.

Porque possui elétrons que não estão rigidamente ligados ao núcleo do átomo, podendo ser facilmente separados do átomo, constituindo os chamados elétrons livres.

- 5 ■ Explique por que o enxofre é mau condutor.

Porque os elétrons de seus átomos encontram-se rigidamente presos aos núcleos dos átomos.

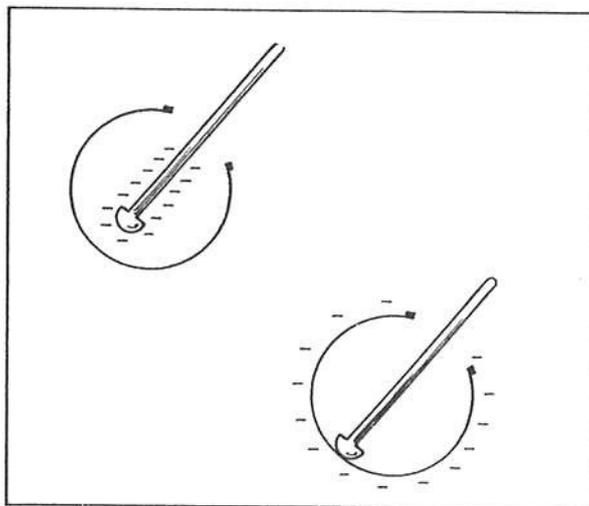
- 6 ■ Os prótons acham-se presos no núcleo do átomo por poderosas forças de origem _____

nuclear

- 7 ■ Os elétrons se mantêm presos no átomo girando em torno do núcleo por forças de origem _____

elétrica

- 8 ■ A experiência registra que nos corpos condutores a carga elétrica se distribui pela superfície externa dos corpos. Isto ocorre porque a carga de um corpo é a soma de um grande número de cargas elétricas de mesmo sinal em excesso neste corpo: essas cargas, por serem de mesmo sinal, repelem-se. Portanto, tendem a afastar-se o mais possível uma da outra, procurando ocupar a maior superfície do corpo, ou seja, a sua superfície externa. Quando colocamos uma carga no interior de uma esfera através de um orifício, conforme ilustra a figura ao lado, esta carga (permanece no local onde foi colocada; se espalha por todo o corpo; se espalha pela superfície externa e aí permanece).



se espalha pela superfície externa e aí permanece

- 9 ■ O fato de as cargas elétricas localizarem-se na superfície externa de um corpo condutor faz com que, quando um raio atinge um avião ou carro, as pessoas em seu interior (corram; não corram) perigo de serem atingidas pela descarga.

não corram

- 10 ■ Colocam-se sobre uma mesa de madeira (isolante) três blocos condutores de modo que haja contato entre eles na ordem A, B e C. A seguir, aproximam-se de cada lado desses blocos, (ao lado de A e de C) sem tocá-los, dois objetos eletrizados positivamente. Em seguida, com um objeto isolante, separam-se os blocos condutores, enquanto os objetos carregados permanecem em suas posições. Finalmente, retiram-se estes últimos. Que carga existe agora em cada bloco? Explique como os blocos adquiriram estas cargas, descrevendo o movimento das partículas negativas.

A: negativa; B: positiva; C: negativa; por indução, as cargas negativas se concentram nas extremidades do conjunto, isto é, blocos A e C, enquanto o bloco B fica com excesso de cargas positivas; os elétrons livres de B movimentam-se para os blocos A e C.

- 11 ■ Com relação ao item anterior, se, ao invés de dois corpos eletrizados positivamente, tivéssemos utilizado apenas um corpo eletrizado positivamente ao lado de A, como seria sua resposta?

A: negativa; C: positiva; B: neutra

Após ter estudado atentamente esta seção, você deve estar apto para:

- descrever a forma pela qual as cargas elétricas se distribuem no átomo.
- definir operacionalmente a carga elementar.
- descrever a estrutura eletrônica da matéria.
- definir a indução elétrica.

SECÃO 4 – MEDIDA DE FORÇAS ELÉTRICAS ENTRE CARGAS PUNTIFORMES

- 1 ■ No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de carga elétrica é o coulomb (símbolo: C). Um corpo possui um coulomb de carga quando possui um excesso ou falta de $6,25 \times 10^{18}$ elétrons. Quando um corpo possui carga positiva de 2 C, dele foram retirados _____ elétrons.

$1,25 \times 10^{19}$

- 2 ■ A menor carga elétrica encontrada na natureza, até o presente momento, é a de um elétron ou próton. Portanto, um corpo eletrizado positivamente ou negativamente apresenta sempre um múltiplo inteiro da carga do elétron ou próton. Dizemos, portanto, que um elétron ou próton possui uma carga elementar (abreviatura: c.el.). Uma partícula alfa (núcleo do átomo de hélio) possui _____ cargas elementares.

duas

- 3 ■ $1 \text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$ cargas elementares
_____ = -1 carga elementar (regra de três)

$-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (O sinal - indica tratar-se de carga negativa.)

4 ■ A carga elétrica de um elétron em coulombs é dada por _____ e a de um próton por _____.

$-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}; +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

5 ■ Um bilhão de elétrons representa uma carga de _____ C.

$-1,6 \times 10^{-19} \times 10^9 = -1,6 \times 10^{-10}$

6 ■ $1 \text{ C} = 6,25 \times 10^{18} \text{ c.el.}$

$0,6 \text{ C} = \text{_____ c.el.}$

$3,7 \times 10^{18}$

7 ■ A carga elétrica que possui um elétron e (maior que; igual a; menor que) a de um próton mas com sinal _____; o valor da carga elementar, em módulo, é _____ C.

igual a; contrário; $1,6 \times 10^{-19}$

8 ■ Até o presente momento, a interação entre as cargas elétricas foi estudada de forma qualitativa. Não nos preocupamos, até agora, em medir os valores das forças que são postas em jogo quando duas cargas quaisquer são colocadas uma próxima da outra. Já vimos que cargas de sinais _____ se atraem e cargas de sinais _____ se repelem.

opostos; iguais

9 ■ A seguir, estudaremos de forma quantitativa o comportamento das cargas quando próximas umas das outras. Para isto, vamos admitir o caso em que os corpos eletrizados possuem dimensões desprezíveis em relação à distância que os separa. Daí essas cargas serem chamadas de **cargas puntiformes**. A lei que rege a ação entre cargas foi estabelecida por Charles Augustin Coulomb em 1785 e recebeu o nome de Lei de Coulomb. Coulomb verificou que a força elétrica entre duas cargas puntiformes, Q e q, é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas (r):

$$\text{Matematicamente: } F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

onde k é a constante de proporcionalidade positiva que depende da escolha da unidade de carga e do meio onde as cargas se encontram.

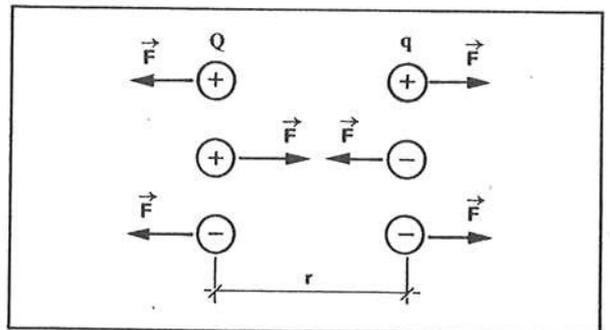
Quando Q e q possuírem o mesmo sinal, a força F terá sinal + e será de (atração; repulsão).

repulsão

10 ■ $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$

Quando Q e q tiverem sinais opostos, seu produto será (positivo; negativo) e a força será de (atração; repulsão).

negativo; atração



11 ■ O valor da força F entre duas cargas puntiformes quaisquer Qq depende, além dos valores das cargas e da distância r , também do meio onde elas se encontram. Para simplificarmos o nosso estudo, vamos admitir que as cargas Q e q encontram-se no vácuo ou no ar seco, uma vez que, nestas condições, podemos admitir para a constante k o valor obtido experimentalmente de $9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$. O valor de F é dado em newtons, Q e q em _____ e r em _____.

coulombs; metros

12 ■ $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$.

Dados $Q = +2 \times 10^{-6} \text{ C}$, $q = -3 \times 10^{-5} \text{ C}$, $r = 3 \text{ cm}$. Calcule o valor da força entre as cargas. Interprete o sinal obtido.

$F =$ _____.

$$F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)(+2 \times 10^{-6} \text{ C})(-3 \times 10^{-5} \text{ C})}{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = -6 \times 10^2 \text{ N}$$

O sinal negativo de F significa que a força é de atração.

■ $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$. $Q = -5 \times 10^{-8} \text{ C}$, $q = -5 \times 10^{-8} \text{ C}$, $r = 1 \text{ cm}$.

Nestas condições, $F =$ _____.

$+2,25 \times 10^{-1} \text{ N}$ (O sinal positivo indica que a força é de repulsão.)

14 ■ $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$. $Q = -10^{-6} \text{ C}$; $q = -4 \times 10^{-6} \text{ C}$; $F = 4 \times 10^{-1} \text{ N}$.

A separação entre as cargas é $r =$ _____.

$3 \times 10^{-1} \text{ m}$

15 ■ $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$. $F = 9 \text{ N}$; $r = 10 \text{ cm}$; $Q = q =$ _____.

$\pm \sqrt{10} \cdot 10^{-6} \text{ C}$

16 ■ A Lei de Coulomb estabelece que a força entre duas cargas puntiformes é diretamente _____, e inversamente _____ que as separam.

proporcional ao produto das cargas; proporcional ao quadrado da distância

17 ■ Quando a força é de atração, o produto das cargas é _____ e quando a força entre as cargas é de repulsão, o produto delas é _____.

negativo; positivo

18 ■ A Lei da Gravitação de Newton, para duas massas M e m , separadas pela distância r , é dada por: $F_g =$ _____.

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

19 ■ A Lei de Newton e a Lei de Coulomb são formalmente idênticas. A força definida pela Lei de Newton é apenas de atração, ao passo que a Lei de Coulomb descreve interações que podem ser de atração e de _____.

repulsão

20 ■ $F_g = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$. Sendo $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, determine a intensidade da força gravitacional entre um próton e um elétron, no átomo de hidrogênio, que se encontram separados de $5,3 \times 10^{-11} \text{ m}$. Sendo a massa de um próton $1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ e a de um elétron $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

$$F_g = \text{_____}$$

$$F_g = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} = \frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2) (9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}) (1,7 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5,3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} \therefore F_g = 3,7 \times 10^{-47} \text{ N}$$

21 ■ $F_e = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$.

Com relação ao item anterior, determine a força de atração entre o próton e o elétron no átomo de hidrogênio:

$$F_e = \text{_____}$$

$$F_e = \frac{(9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) (1,6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5,3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 8,2 \times 10^{-8} \text{ N} \text{ (omitimos o sinal negativo)}$$

22 ■ Comparando os resultados obtidos no item 20 ($F_g = 3,7 \times 10^{-47} \text{ N}$) e no item 21 ($F_e = 8,2 \times 10^{-8} \text{ N}$), podemos observar que a força de natureza elétrica é cerca de 10^{39} vezes (mais intensa; menos intensa) que a força de origem gravitacional.

mais intensa

23 ■ $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$.

Podemos utilizar para Q e q a unidade de carga elementar. Já vimos que um próton e um elétron apresentam uma unidade de carga elementar mas com sinais _____.

contrários

24 ■ $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$.

Quando Q e q são dados em cargas elementares (abreviadamente: c.el.), o valor da constante k é

$$2,3 \times 10^{-28} \text{ N} \cdot \text{m}^2/(\text{c.el.})^2.$$

Determine a força de repulsão entre dois prótons do núcleo de ferro. Admita a separação entre eles de $4,0 \times 10^{-15} \text{ m}$.

F = _____

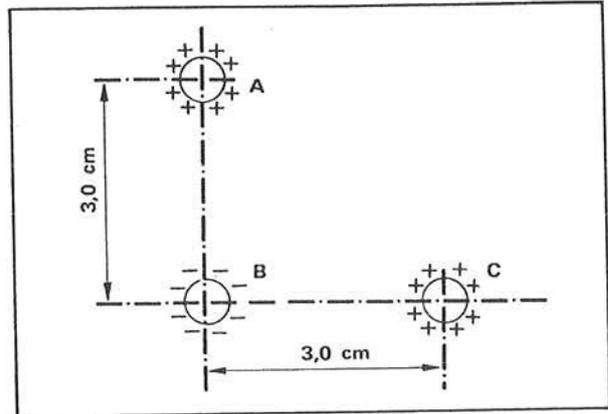
(Utilize para as cargas as unidades de cargas elementares e para k o valor $2,3 \times 10^{-28} \text{ N}\cdot\text{m}^2/(\text{c.el.})^2$.)

$$F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} = \frac{(2,3 \times 10^{-28} \text{ N}\cdot\text{m}^2/(\text{c.el.})^2) \cdot (1 \text{ c.el.}) \cdot (1 \text{ c.el.})}{(4,0 \times 10^{-15} \text{ m})^2} \approx 1,4 \times 10 \text{ N}$$

- 25 ■ Quando se trabalha com íons ou corpos eletrizados com poucas cargas elementares, é prático utilizar a unidade natural de carga elétrica (a carga de um elétron ou próton). Neste caso utilizamos para k o valor _____

$$2,3 \times 10^{-28} \text{ N}\cdot\text{m}^2/(\text{c.el.})^2$$

- 26 ■ Três corpos eletrizados posicionam-se conforme ilustra a figura ao lado. Indique, vetorialmente, as forças elétricas sobre cada corpo e a correspondente resultante. Adote a convenção seguinte: \vec{F}_{AB} - a força que o corpo A exerce sobre o B; \vec{F}_A - a resultante das forças sobre o corpo A; etc.



- 27 ■ Com relação ao item 26, admita $q_A = +3 \times 10^{-6} \text{ C}$; $q_B = -10^{-6} \text{ C}$; $q_C = +4 \times 10^{-6} \text{ C}$. A intensidade da força $F_{AB} =$ _____

$$F_{AB} = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{r_{AB}^2} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \cdot (+3 \times 10^{-6} \text{ C}) \cdot (-10^{-6} \text{ C})}{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = -3 \times 10 \text{ N (força de atração)}$$

- 28 ■ Item 26. $F_{CB} =$ _____

$$F_{CB} = k \cdot \frac{q_C \cdot q_B}{r_{CB}^2} = -4 \times 10 \text{ N (força de atração)}$$

- 29 ■ Item 27. A intensidade da força resultante sobre a carga B é $F_B =$ _____

$$F_B^2 = F_{AB}^2 + F_{CB}^2 \quad (\text{teorema de Pitágoras})$$

$$\text{como } F_{AB} = 3 \times 10 \text{ N e } F_{CB} = 4 \times 10 \text{ N}$$

$$F_B^2 = (3 \times 10 \text{ N})^2 + (4 \times 10 \text{ N})^2 = 25 \times 10^2 \text{ N}^2 \therefore F_B = 5 \times 10 \text{ N}$$

30 ■ $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$.

Têm-se duas cargas puntiformes: $Q = 2 \times 10^{-6}$ C e $q = 6 \times 10^{-7}$ C. A força de repulsão entre as cargas vale $F = 12$ N; portanto, a separação entre as cargas é $r =$ _____.

3×10^{-2} m

31 ■ $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$.

A força de atração entre duas cargas puntiformes separadas de 5 cm é de 3,6 N. O valor de uma das cargas é $Q = 5 \times 10^{-7}$ C, o valor da segunda carga é $q =$ _____ C.

2×10^{-6}

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ No SI de unidades, a unidade de carga elétrica é o _____. Símbolo: _____.
- 2 ■ Dizemos que um corpo possui carga elétrica de ± 1 C quando ele possui excesso ou falta de _____ elétrons.
- 3 ■ O que é carga elementar?
- 4 ■ Um íon de hidrogênio possui _____ c.el. e o núcleo do hélio _____ c.el.
- 5 ■ Um próton e um elétron possuem em intensidade a mesma quantidade de carga elétrica. Certo ou errado?
- 6 ■ Se colocarmos dois objetos esféricos iguais, de raio 2 cm, com os seus centros distantes 4 cm entre si, podemos considerá-los puntiformes? Por quê?
- 7 ■ Escreva a Lei de Coulomb. Defina a constante k .
- 8 ■ Na Lei de Coulomb, se usarmos unidades de força, carga elétrica e distância no SI, a constante k é igual a _____.
- 9 ■ O valor de k foi calculado teoricamente. Certo ou errado?
- 10 ■ A força definida na Lei de Newton é apenas de atração. A força definida na Lei de Coulomb é _____.
- 11 ■ A força de atração gravitacional entre o próton e o elétron no átomo de hidrogênio é desprezível se comparada com a força de atração elétrica. Certo ou errado? Justifique.
- 12 ■ Se usarmos, na Lei de Coulomb, a força em newtons (N), a distância em metros (m) e a carga elétrica em cargas elementares (c.el.), o valor de k é _____.

Após isso, você deve estar apto para:

- a. definir unidade de carga elétrica no SI: coulomb.
- b. caracterizar carga elementar e relacioná-la com coulomb.
- c. enunciar a Lei de Coulomb: $F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$.

SEÇÃO 5 – CONSERVAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA

- 1 ■ Ao atritarmos dois objetos quaisquer, por exemplo, um bastão de vidro com seda, verifica-se que surge nele (bastão) uma carga elétrica (positiva; negativa). Constata-se, da mesma forma, que uma carga (positiva; negativa) aparece na seda.
- *****
- positiva; negativa
- 2 ■ A quantidade de carga negativa que surge na seda quando atritada com vidro é (maior que; menor que; igual a) a quantidade de carga elétrica que aparece no vidro.
- *****
- igual a
- 3 ■ Através do atrito, elétrons são removidos do vidro pela seda, nela permanecendo. Neste processo de eletrização (foram; não foram) criadas cargas elétricas.
- *****
- não foram
- 4 ■ Na eletrização não são criadas cargas elétricas. Elas são removidas de um corpo para outro. Este fenômeno é conhecido como a lei da conservação da carga elétrica e diz que: “A soma algébrica das cargas elétricas em um sistema isolado deve sempre permanecer a mesma”. Num corpo eletricamente neutro a soma algébrica das cargas elétricas vale _____.
- *****
- zero
- 5 ■ A lei de conservação da carga elétrica tem sido confirmada através de experiências de grande precisão e até hoje não se conhece nenhuma exceção a esta lei. Sabe-se que quando um elétron (-1 c.el.) e um pósitron (+1 c.el.) se aproximam um do outro as duas partículas podem simplesmente “desaparecer”, convertendo suas massas inteiramente em energia, de acordo com a relação da mecânica relativística: $E = m \cdot c^2$ (sendo m a massa convertida em energia e c a velocidade da luz). A carga resultante antes da aproximação das partículas vale _____ e a carga resultante depois da interação vale _____. Portanto, nesta transformação a carga (foi; não foi) conservada. Com relação à massa (houve; não houve) conservação.
- *****
- zero; zero; foi; não houve (foi transformada em energia)

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Na experiência de eletrização por atrito entre o bastão de borracha e lã, a lã recebe ou cede elétrons?
- 2 ■ A quantidade de carga do bastão é diferente da quantidade de carga da lã. Certo ou errado? Explique..
- 3 ■ Na eletrização criam-se cargas elétricas. Comente.
- 4 ■ Explique o que significa conservação de carga elétrica.

SEÇÃO 6 – PROBLEMAS RESOLVIDOS

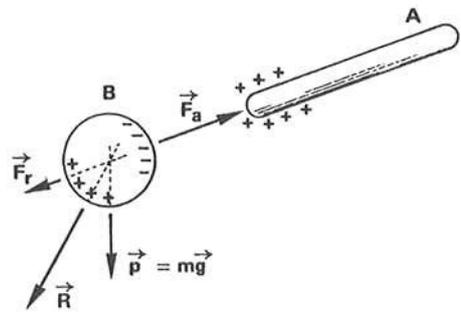
PROBLEMA 1

Através do fenômeno da indução elétrica podemos explicar a atração de corpos leves pelos objetos eletrizados. Seja A um corpo eletrizado positivamente e trazido para as proximidades de um corpo B inicialmente neutro. Este fica sujeito a três forças:

\vec{F}_a = força elétrica de atração

\vec{F}_r = força elétrica de repulsão

$\vec{p} = m\vec{g}$ = peso do objeto



- 1 ■ O número de cargas negativas induzidas no corpo B é (maior que; menor que; igual a) o das cargas induzidas positivas.

igual a

- 2 ■ A força \vec{F}_r é (mais intensa; menos intensa; de mesma intensidade) que F_a porque as cargas positivas induzidas em B estão mais distantes do que as negativas, em relação ao corpo A, uma vez que a força elétrica entre as cargas é (diretamente proporcional à; inversamente proporcional à; inversamente proporcional ao quadrado da) distância que as separam.

menos intensa; inversamente proporcional ao quadrado da

- 3 ■ $\vec{R} = \underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}}$. Para que o corpo B se desloque para o corpo A, é necessário que \vec{F}_a tenha intensidade (igual à; maior que a; menor que a) da força \vec{R} .

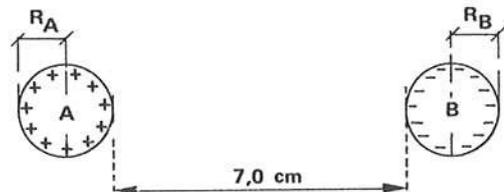
\vec{F}_r (+) \vec{P} (em qualquer ordem); maior que a

- 4 ■ Pela análise das forças que atuam sobre o corpo B, podemos concluir que quando um corpo eletrizado A se aproximar de um outro qualquer B, inicialmente neutro, poderá haver a movimentação de B para A quando a força peso \vec{P} tiver intensidade (grande; pequena) comparada com a da força elétrica \vec{F}_a .

pequena

PROBLEMA 2

Quando uma carga elétrica é fornecida a uma esfera condutora, a mesma se espalha pela superfície, e sua influência sobre um outro objeto eletrizado e situado a uma certa distância é a mesma que se a carga estivesse concentrada no centro da esfera. Determine a força elétrica entre a esfera A, eletrizada com 2×10^{-6} C e a esfera B, eletrizada com -10^{-6} C. Sendo $R_A = 2,0$ cm e $R_B = 1,0$ cm.



1 ■ Para determinarmos matematicamente a intensidade da força entre as cargas existentes nas esferas, devemos supô-las _____.

concentradas no centro das esferas

2 ■ $F = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{r_{AB}^2}$.

A distância entre as cargas dos corpos A e B para a aplicação da Lei de Coulomb é de _____ cm.

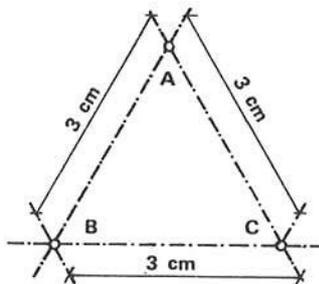
10

3 ■ Portanto, a intensidade da força entre as cargas das esferas A e B vale $F =$ _____.

-1,8 N (força de atração)

PROBLEMA 3

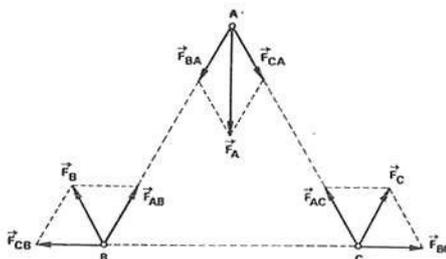
Três cargas puntiformes ocupam os vértices de um triângulo equilátero conforme ilustra a figura ao lado. Determine a intensidade da força resultante sobre cada carga e indique o respectivo esquema vetorial.



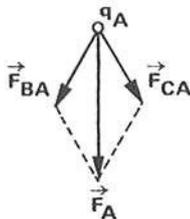
$q_A = -2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$
 $q_B = +1 \cdot 10^{-6} \text{ C}$
 $q_C = +1 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

1 ■ Sobre cada carga atua(m) (uma; duas; três; nenhuma) força(s) de origem elétrica. Indique abaixo o esquema vetorial de forças.

duas;



2 ■ Forças sobre a carga q_A :



$$F_{BA} = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{r_{AB}^2} = \underline{\hspace{4cm}}$$

$$F_{CA} = k \cdot \frac{q_A \cdot q_C}{r_{AC}^2} = \underline{\hspace{4cm}}$$

$$F_{BA} = -20 \text{ N (força de atração)}; F_{CA} = -20 \text{ N (força de atração)}$$

3 ■ A força resultante sobre a carga q_A é obtida somando-se (vetorialmente; escalarmente) F_{BA} e F_{CA} ; seu valor é $F_A \cong \underline{\hspace{4cm}}$.

vetorialmente

$$F_A^2 = F_{BA}^2 + F_{CA}^2 + 2 \cdot F_{BA} \cdot F_{CA} \cdot \cos 60^\circ \text{ (Lei dos co-senos)}$$

$$F_A^2 = 20^2 + 20^2 + 2 \cdot 20 \cdot 20 \cdot \frac{1}{2} \therefore F_A \cong 34 \text{ N}$$

4 ■ Forças sobre q_B :

$$F_{AB} = F_{BA} = \underline{\hspace{4cm}} \text{ e } F_{CB} = k \cdot \frac{q_B \cdot q_C}{r_{BC}^2} = \underline{\hspace{4cm}}$$

$$-20 \text{ N}; 10 \text{ N}$$

5 ■ $F_B^2 = F_{AB}^2 + F_{CB}^2 + 2 \cdot F_{AB} \cdot F_{CB} \cdot \cos 120^\circ$. $F_B \cong \underline{\hspace{4cm}}$.

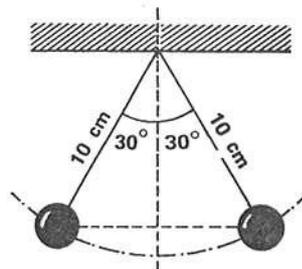
$$17 \text{ N}$$

6 ■ A força resultante sobre q_C possui a mesma intensidade que (F_A ; F_B) ou seja $\underline{\hspace{4cm}}$ N.

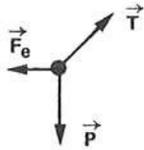
$$F_B; 17$$

PROBLEMA 4

Os pêndulos indicados na figura ao lado receberam cargas elétricas iguais e permanecem em equilíbrio. Determine os valores das cargas. Massa do pêndulo: $m = 1,0 \text{ g}$. Considere $g = 10 \text{ N/kg}$.



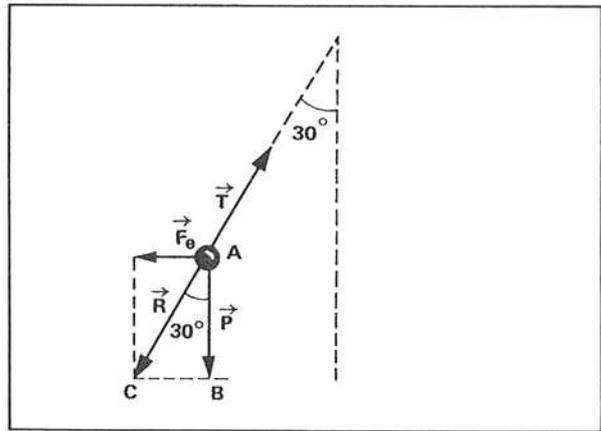
- 1 ■ As forças que agem sobre cada pêndulo são: \vec{F}_e (força elétrica de repulsão), \vec{P} (peso da massa pendular m) e \vec{T} (tração no fio). Faça o esquema das forças que agem sobre o pêndulo da esquerda no espaço reservado.



- 2 ■ Como cada pêndulo encontra-se em equilíbrio, a resultante das forças que atuam sobre cada um deles é _____.

zero

- 3 ■ Do esquema vetorial ao lado, podemos concluir, analisando o triângulo ABC, que $\text{tg } 30^\circ =$ _____ (em termos de P e F_e).



F_e/P

- 4 ■ $\text{tg } 30^\circ = F_e/P$. Logo, $F_e = P \cdot \text{tg } 30^\circ$. Lembrando que $\text{tg } 30^\circ \cong 0,57$, o valor da força elétrica é: $F_e \cong$ _____ N.

$5,7 \times 10^{-3}$ N

- 5 ■ $F_e = 5,7 \times 10^{-3}$ N. Igualando este valor à expressão $F = k \cdot \frac{q^2}{r^2}$, pode-se determinar o valor da carga elétrica existente em cada pêndulo, ou seja, $q \cong$ _____ C.

8×10^{-8}

PROBLEMA 5

Quando duas esferas de raios iguais carregadas com cargas de valores Q_1 e Q_2 são postas em contato, suas cargas se modificam, ficando cada uma delas com carga que vale a média aritmética dos valores iniciais, ou seja, cada uma ficará com carga Q igual a:

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

Duas pequenas esferas de raios iguais possuem cargas que valem respectivamente 2×10^{-8} C e 4×10^{-8} C. Elas são colocadas em contato e a seguir são separadas de modo que a distância entre seus centros é 3 cm. Determine a intensidade da força entre elas.

- 1 ■ Quando são postas em contato a carga de cada esfera passará a ser _____

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \text{_____} \text{ (numericamente).}$$

$$Q = \frac{2 \times 10^{-8} + 4 \times 10^{-8}}{2} = 3 \times 10^{-8} \text{ C}$$

- 2 ■ Aplicando a Lei de Coulomb: $F = k \cdot \frac{Q^2}{r^2} = \text{_____}$ (valor).

$$9 \times 10^{-3} \text{ N}$$

PROBLEMA 6

O núcleo do átomo de ouro consiste em 118 nêutrons e 79 prótons, e o núcleo do átomo de hélio (partícula alfa) em 2 nêutrons e 2 prótons. Determinar:

- a força de repulsão entre um núcleo de átomo de ouro e uma partícula alfa, sendo a separação entre elas de 10^{-14} m;
- a aceleração da partícula alfa quando sob ação dessa força. Massa de um próton \cong massa de um nêutron $\cong 1,67 \times 10^{-27}$ kg.

- 1 ■ $F_e = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} = \text{_____}$ (valor).

$$F_e = \frac{(2,3 \times 10^{-28} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / (\text{c.el.})^2) (+2 \text{ c.el.}) (+79 \text{ c.el.})}{(10^{-14} \text{ m})^2} = 3,6 \times 10^2 \text{ N}$$

- 2 ■ A aceleração da partícula alfa é dada pela 2ª Lei de Newton: $F = ma$. Como $F_e = F$, temos que $F_e = \text{_____}$ (em termos de massa e aceleração).

$$m \cdot a$$

3 ■ $F_e = ma$. Substitua o valor de F_e determinado no item 1 e calcule o valor da aceleração da partícula alfa:

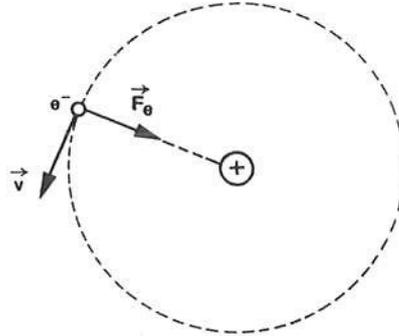
$$a = \frac{F_e}{m} = \text{_____} \text{ m/s}^2.$$

$$5,4 \times 10^{28}.$$

PROBLEMA 7

De acordo com a teoria de Bohr, a estrutura atômica do átomo de hidrogênio consiste em um elétron que gira em torno de um próton em órbita circular. O raio da órbita do elétron é cerca de $5,3 \times 10^{-11}$ m. Determinar:

- a força entre o elétron e o próton;
- a energia cinética do elétron;
- o número de voltas que o elétron dá em torno do núcleo por segundo.



1 ■ $F_e = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$. A força elétrica entre o próton e o elétron possui intensidade $F_e = \text{_____}$.

$$-8,2 \times 10^{-8} \text{ N (força de atração)}$$

2 ■ A força elétrica é a força centrípeta que mantém o elétron em órbita. Como $F_c = \frac{m \cdot v^2}{r}$ e $F_e = F_c$, podemos escrever: $F_e = \text{_____}$ (em função de m , v e r)

$$\frac{m \cdot v^2}{r}$$

3 ■ $F_e = \frac{m \cdot v^2}{r}$. Esta expressão pode ser reescrita da seguinte maneira: $F_e \cdot r = \text{_____}$.

$$m \cdot v^2$$

4 ■ $F_e \cdot r = m \cdot v^2$. Multiplicando os dois membros desta igualdade por $\frac{1}{2}$, podemos escrever:

$$\frac{1}{2} \cdot F_e \cdot r = \text{_____}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ (expressão que nos dá a energia cinética de um corpo de massa } m \text{ e animado da velocidade } v).$$

5 ■ $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot F_e \cdot r$. Substitua os valores já determinados e calcule a energia cinética.

$$E_c = \text{_____} \text{ J.}$$

$$2,2 \times 10^{-18}$$

6 ■ $E_c = \frac{1}{2} mv^2$. Conhecida a E_c e a massa m (massa do elétron = $9,11 \times 10^{-31}$ kg), a velocidade é

$v =$ _____.

$2,2 \times 10^6$ m/s

7 ■ $v = \omega r$. Como $\omega = 2 \pi f$, podemos escrever: $v =$ _____ (em termos de f e r).

$2 \pi f r$

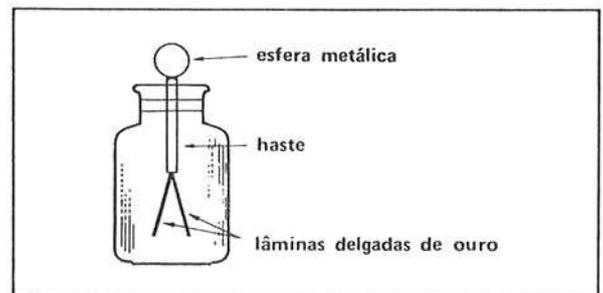
8 ■ $v = 2 \pi f r$. Substitua os valores já determinados e calcule o valor da frequência: $f =$ _____.

$6,6 \times 10^{15}$ hz

SEÇÃO 7 – PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ a) Descreva o tipo de forças que os prótons e os elétrons exercem entre si.
b) Um corpo neutro possui partículas com cargas elétricas?
c) Defina corpos eletrizados.
- 2 ■ Um corpo apresenta uma quantidade de carga negativa maior que a quantidade de carga positiva de um outro corpo. O que deve acontecer se você colocá-los em contato?
- 3 ■ Um bastão de plástico é atritado com pele de gato. O bastão fica eletrizado negativamente. Ele é aproximado de uma bolinha de sabugueiro suspensa por um fio de seda.
Observa-se: a) A bolinha é inicialmente atraída pelo bastão.
b) A bolinha toca o bastão.
c) Depois a bolinha é repelida.
Pede-se: a) Descreva acerca da transferência de elétrons entre o bastão de plástico e a pele de gato.
b) Descreva acerca da eletrização inicial da bolinha de sabugueiro.
c) Explique por que a bolinha é repelida na experiência.
- 4 ■ Um bastão de vidro carregado positivamente é aproximado da haste de um eletroscópio carregado negativamente. O que deve acontecer com a distância entre as lâminas?

- 5 ■ Um eletroscópio é carregado positivamente. O que deve ocorrer com o eletroscópio se uma pessoa tocar na esfera metálica?



- 6 ■ Em relação ao eletroscópio descrito no problema 5, se a pessoa encostar na esfera do eletroscópio um bastão de vidro carregado positivamente, pode-se esperar que:
 - a. as lâminas se aproximem um pouco.
 - b. as lâminas se juntem.
 - c. as lâminas se afastem mais e o bastão de vidro pode ficar neutralizado.
 - d. o bastão de vidro fique com mais cargas positivas.

- 7 ■ Ainda em relação ao eletroscópio do problema 5, se as lâminas estiverem carregadas negativamente e a esfera for ligada por um fio de cobre à Terra, observar-se-ia:
- um afastamento das lâminas.
 - uma aproximação das lâminas.
 - nem afastamento nem aproximação.

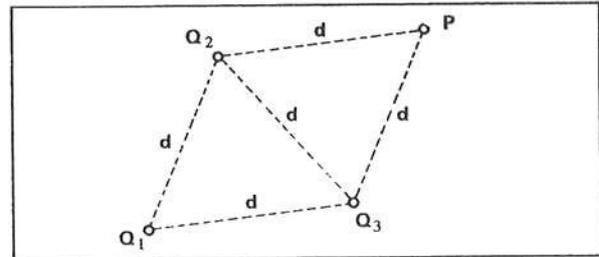
- 8 ■ Em 1932, o cientista inglês James Chadwick (Prêmio Nobel de Física de 1935), bombardeando o berílio com partículas alfa, obteve carbono e nêutron. Esse fato é representado através da seguinte reação:



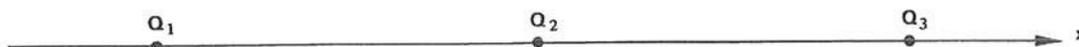
o número abaixo e à esquerda das letras representa o número de prótons. O número acima e à direita indica a soma do número de prótons e nêutrons existentes no núcleo. Verifique se houve conservação da carga elétrica no processo.

- 9 ■ Enuncie a lei de Coulomb para cargas puntiformes.
- 10 ■ Desenhe o gráfico da intensidade da força de atração entre duas cargas elétricas puntiformes em função do quadrado da distância entre elas.
- 11 ■ Considere três cargas puntiformes: $+Q$, $+Q$ e $-Q$. Fixando-se a posição das cargas positivas, onde você deve colocar a carga negativa para que a resultante de forças sobre ela seja nula?
- 12 ■ Têm-se as cargas $+Q$, $+Q$, $-Q$ e $-Q$. Indique a disposição dessas cargas nos vértices de um quadrado para que qualquer carga colocada em seu centro fique em equilíbrio.

- 13 ■ Sobre uma superfície plana e horizontal sem atrito, colocam-se três cargas elétricas, Q_1 , Q_2 e Q_3 , conforme indica a figura. Verifica-se que ao se colocar no ponto P uma carga Q positiva, ela fica em equilíbrio. Qual seria a força resultante sobre uma carga $-5Q$ colocada no ponto P?

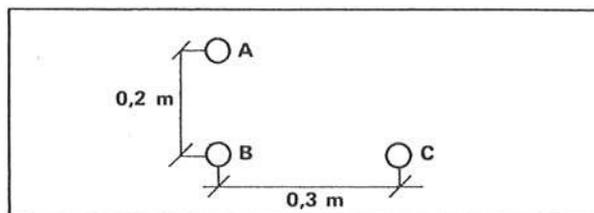


- 14 ■ Quantos coulombs existem em 10^{12} elétrons?
- 15 ■ Quantos elétrons devem ser retirados de um corpo para deixá-lo com uma carga elétrica de 10^{-8} C?
- 16 ■ Duas cargas, $Q_1 = -8,0 \times 10^{-7}$ C e $Q_2 = +5,0 \times 10^{-7}$ C, estão separadas pela distância de 2,0 m. Determine o valor da força de interação entre elas.
- 17 ■ Duas cargas elétricas iguais em módulo se atraem com uma força cujo valor é 90 N. Considerando que a distância entre elas é 20 cm, determine o valor dessas cargas.
- 18 ■ Duas cargas elétricas positivas com valores respectivamente iguais a $3,0 \times 10^{-6}$ C e $4,0 \times 10^{-6}$ C se repelem com uma força de intensidade igual a 30 N. Qual a distância entre elas?
- 19 ■ Duas esferas A e B, carregadas com cargas Q e $10Q$ respectivamente, estão separadas uma da outra por uma distância de 2,0 m. Qual deve ser a razão entre as intensidades das forças que A exerce em B e B exerce em A?
- 20 ■ As cargas elétricas $Q_1 = 2,0 \times 10^{-7}$ C, $Q_2 = -1,0 \times 10^{-7}$ C e $Q_3 = 3,0 \times 10^{-7}$ C estão alinhadas de modo que a carga negativa fica no centro do sistema à distância $d = 1,0 \times 10^{-1}$ m das cargas positivas. Calcule o valor da força resultante sobre cada carga.



- 21 ■ Uma esfera de peso $4,0 \times 10^{-2}$ N presa a um fio isolante está suspensa entre duas placas metálicas carregadas com cargas iguais em módulo mas de sinais contrários. Sabendo-se que o pêndulo está em equilíbrio quando o fio forma um ângulo de 45° com a vertical, determine:
- a intensidade da força elétrica sobre a esfera.
 - a intensidade da força que traciona o fio.

- 22 ■ Considere três cargas elétricas A, B e C iguais a $2,0 \times 10^{-6}$ C, dispostas conforme a figura ao lado. Admita que A e C sejam fixas e B apresente possibilidade de movimento. Calcule a intensidade da força resultante sobre B.



- 23 ■ Duas esferas condutoras de raios iguais estão carregadas com $16,0 \times 10^{-14}$ C e $-6,4 \times 10^{-14}$ C respectivamente. Inicialmente a separação entre seus centros é 20 cm, e posteriormente 50 cm.
- Compare as intensidades das forças entre elas nas duas posições mencionadas.
 - Na segunda posição as esferas são ligadas por intermédio de um fio metálico fino. Qual a intensidade da força de interação entre as esferas?
- 24 ■ Em dois vértices de um triângulo equilátero têm-se cargas elétricas iguais a $20,0 \times 10^{-6}$ C. Determine a carga que se deve colocar no centro desse triângulo para que qualquer carga colocada no terceiro vértice fique em equilíbrio.

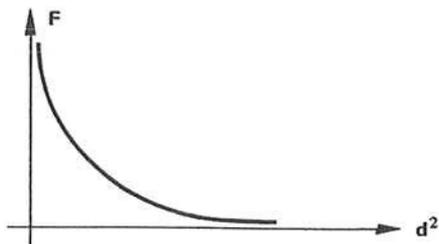
RESPOSTAS

- Forças elétricas de atração; as forças gravitacionais são desprezíveis em relação às elétricas.
 - Possui.
 - Corpos eletrizados são os que possuem excesso de cargas elétricas (positivas ou negativas).
- Inicialmente, as cargas positivas de um dos corpos são neutralizadas pelas cargas negativas do outro. Depois de um certo tempo, os dois corpos estarão carregados negativamente, uma vez que ainda há excesso de cargas negativas.
- Em virtude do atrito houve transferência de elétrons da pele de gato para o bastão de plástico.
 - A bolinha de sabugueiro eletrizou-se, inicialmente, por indução.
 - Porque a bolinha recebe cargas de mesmo sinal do bastão, ao tocá-lo.
- A distância entre as lâminas diminuirá.
- O eletroscópio se descarrega porque haverá transferência de elétrons do corpo humano para as lâminas, ocasionando uma neutralização de sua carga positiva inicial. As lâminas aproximar-se-ão.
- c. as lâminas se afastem mais e o bastão de vidro pode ficar neutralizado.
- b. uma aproximação das lâminas.
- Sim, pois antes da interação o berílio e a partícula α possuem um total de seis prótons (6 c.el.). Após a interação, obtém-se o elemento carbono com seis prótons (6 c.el.) e um nêutron.
- A força elétrica entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa.

Matematicamente,
$$F = k \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

onde k é a constante de proporcionalidade que depende das unidades usadas e do meio onde se encontram as cargas.

10 ■



11 ■ No ponto médio do segmento que une as cargas positivas.

12 ■ As cargas de mesmo sinal devem ficar em vértices opostos.

13 ■ Nula.

$$14 \quad \frac{10^{12}}{6,25 \times 10^{18}} = 1,6 \times 10^{-7} \text{ C}$$

15 ■ $6,25 \times 10^{10}$ elétrons

16 ■ $-9,0 \times 10^{-4} \text{ N}$

17 ■ $\pm 2,0 \times 10^{-5} \text{ C}$

18 ■ $6,0 \times 10^{-2} \text{ m}$

19 ■ 1 (um)

20 ■ $F_1 = -0,9 \times 10^{-2} \text{ N}$

$F_2 = +0,9 \times 10^{-2} \text{ N}$

$F_3 = 0$ (equilíbrio)

21 ■ a) $4,0 \times 10^{-2} \text{ N}$ b) $5,6 \times 10^{-1} \text{ N}$

22 ■ $9,8 \times 10^{-1} \text{ N}$

23 ■ a) $\frac{25}{4}$ b) $8,3 \times 10^{-17} \text{ N}$

24 ■ $\cong -11,3 \times 10^{-6} \text{ C}$

SEÇÃO 8 – CAMPO ELÉTRICO

Nas seções anteriores você estudou a ação de uma carga elétrica sobre outra. A lei que governa esta interação é a Lei de Coulomb. Esta lei descreve a força entre dois objetos eletrizados separados de uma certa distância. É a ação de uma carga sobre a outra.

Nesta seção analisaremos a interação elétrica em termos de campo elétrico da mesma forma pela qual a interação gravitacional foi analisada em termos de campo gravitacional. A maçã cai na direção da linha que a une ao centro da Terra porque ela se encontra no campo de influência da força gravitacional terrestre. Analogamente, diremos que uma carga elétrica no espaço próximo a outra carga sofre a ação da força elétrica desta.

A – CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO

LINHAS DE FORÇA DO CAMPO ELÉTRICO

1 ■ No estudo da gravitação, vimos que um corpo sofre a ação da força do campo gravitacional da Terra, mesmo que entre o corpo e a Terra (exista; não exista) contato material.

A força gravitacional é mais intensa na superfície terrestre e (aumenta; diminui) à medida que o corpo se afasta da Terra. O corpo sofre a ação da força gravitacional porque ele se encontra no campo de influência da força gravitacional, isto é, porque ele se encontra no campo gravitacional da Terra.

não exista; diminui

2 ■ O campo gravitacional que existe ao redor da Terra é devido à massa da Terra. Qualquer objeto nesse campo sofrerá a ação de uma força que é de natureza (atrativa; repulsiva), cuja orientação é no sentido de (buscar o centro; fugir do centro) da Terra.

atrativa; buscar o centro

3 ■ Analogamente ao campo gravitacional da Terra, podemos conceituar o campo de influência de uma carga elétrica. Uma carga elétrica cria, no espaço que a circunda, um campo de influência, isto é, um campo (elétrico; gravitacional), pois qualquer outra carga colocada em um ponto desse campo (sofrerá; não sofrerá) a ação de uma força elétrica.

elétrico; sofrerá

- 4 ■ Um campo gravitacional é criado no espaço que circunda uma (massa; carga elétrica), e um campo elétrico nas vizinhanças de uma _____.

massa; carga elétrica

- 5 ■ Analogamente à gravitação, o valor da força no campo elétrico é (maior; menor) nas proximidades da carga criadora desse campo e diminui à medida que se afasta da carga.

Em pontos infinitamente distantes de uma carga elétrica (existe; não existe) campo elétrico.

maior; não existe

- 6 ■ Devemos fazer uma distinção fundamental entre o campo gravitacional e o elétrico. A força do campo gravitacional é somente de (atração; repulsão). No campo elétrico, a força pode ser de _____ ou de _____, dependendo dos sinais das cargas.

atração; atração; repulsão

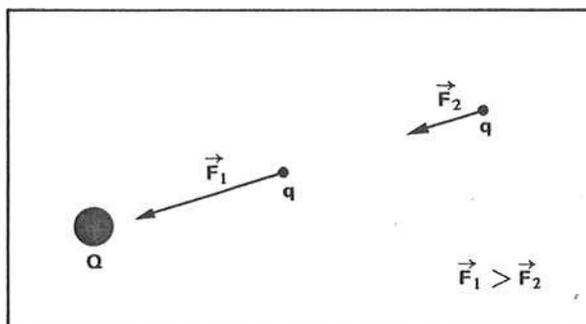
- 7 ■ Durante o estudo da gravitação, investigamos o campo gravitacional utilizando a massa padrão de 1 kg. Agora, para investigar o campo elétrico, vamos utilizar uma carga elétrica padrão, denominada carga de prova. Como existem cargas com sinais positivo e negativo, a carga de prova foi escolhida com sinal positivo.

A carga de prova é (positiva; negativa) e é usada para _____ o campo elétrico criado por uma ou mais cargas elétricas em um ponto do espaço circundante.

É ainda importante assinalar que a carga de prova tem valor pequeno em comparação com o valor da carga criadora do campo.

positiva; investigar

- 8 ■ Numa região onde existe campo elétrico criado por uma carga Q , ele será tanto mais intenso quanto (maior; menor) for o valor da força elétrica que age sobre uma carga elétrica colocada no seu campo de influência. Portanto, em um ponto próximo a uma carga Q , o campo é (mais intenso; menos intenso) porque uma carga q colocada neste ponto sofre a ação de uma força de valor maior do que quando colocada num ponto mais distante da carga Q .



maior; mais intenso

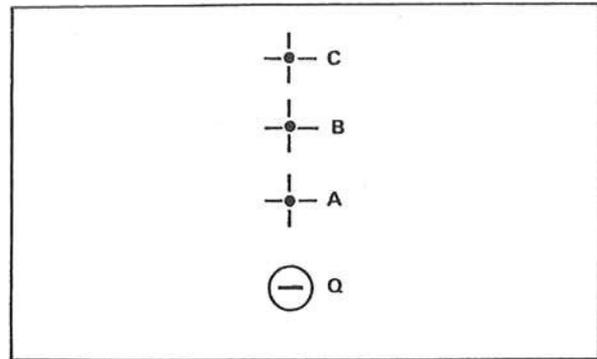
- 9 ■ Do item anterior, conclui-se que existe uma relação direta entre a força elétrica sobre uma carga q situada num ponto de um campo elétrico e o campo elétrico neste ponto. Logo, se quisermos saber onde o campo elétrico é menos intenso, basta investigarmos com a carga de prova o local onde ela fica sujeita a uma força elétrica de (maior; menor) intensidade.

menor

- 10 ■ Vamos investigar agora o campo elétrico ao redor de uma carga negativa. Veja a figura ao lado. Se colocarmos a carga de prova, que é (positiva; negativa), no ponto A, ela fica sujeita a uma força de (atração; repulsão).

No ponto A a força é mais intensa do que no ponto B ou C. Portanto, o campo elétrico em A é (mais; menos) intenso do que em B.

A ação do campo em B é (maior; menor) do que em C.

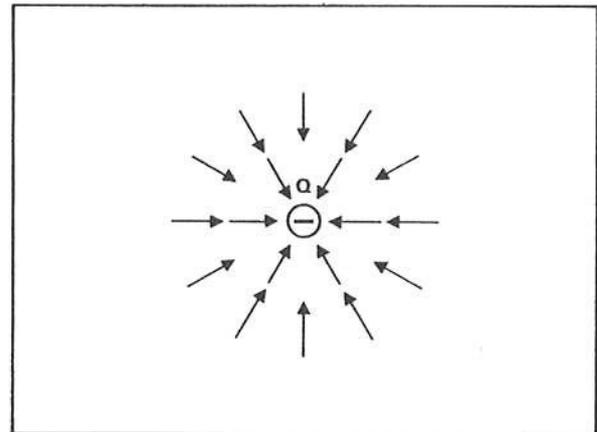


positiva; atração; mais; maior

- 11 ■ A carga de prova, que é _____, ao ser colocada nos pontos que circundam uma carga Q negativa, fica sob a ação de forças de (atração; repulsão).
O campo é mais intenso quanto mais próximo da carga Q e diminui de intensidade à medida que _____.

positiva; atração; se afasta da mesma

- 12 ■ Podemos fazer desenhos que mostrem a configuração do campo elétrico ao redor de uma carga negativa Q. Na figura ao lado, o módulo dos vetores são proporcionais às intensidades dos campos elétricos. Analisando a figura, podemos constatar que em pontos equidistantes da carga Q os vetores (são; não são) de mesmo módulo. Portanto, em pontos equidistantes da carga Q, o campo elétrico (tem; não tem) a mesma intensidade. Todos os vetores (convergem para a; divergem da) carga negativa Q.



Dizemos que o campo ao redor de uma carga negativa é (convergente; divergente).

são; tem; convergem para a; convergente

- 13 ■ A representação do campo ao redor de uma carga negativa Q dada na figura do item 12 é plana. Na realidade, o campo ao redor de uma carga (é; não é) tridimensional, ou seja, o campo (existe; não existe) em todos os pontos nas vizinhanças da carga.

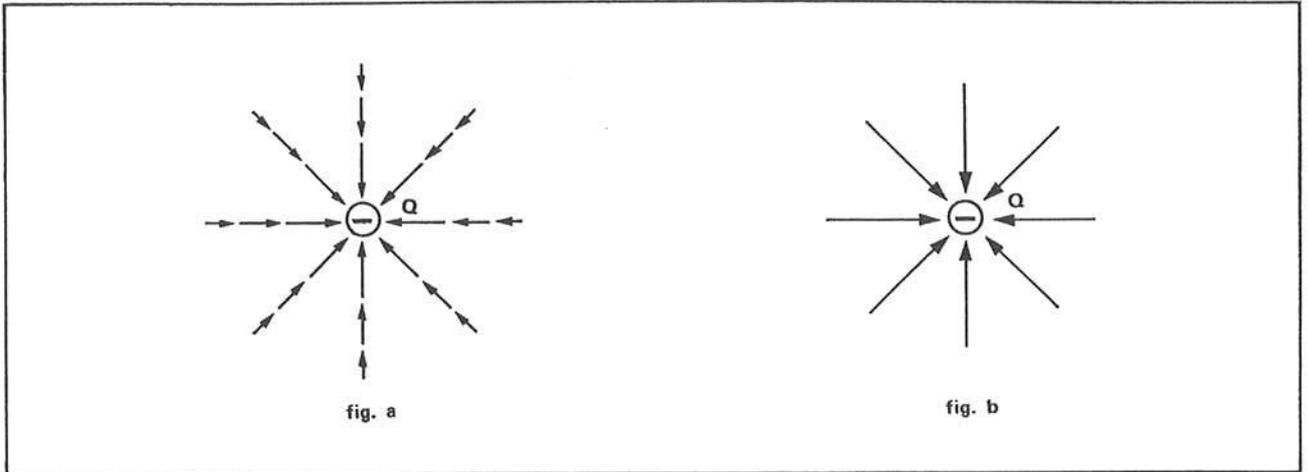
é; existe

- 14 ■ A direção e o sentido, isto é, a orientação do vetor que configura o campo elétrico em cada ponto (é; não é) a orientação do campo elétrico em cada ponto.

Uma carga de prova em um desses pontos é atraída segundo a orientação do campo neste ponto. A orientação da força sobre uma carga (positiva; negativa) é a mesma que a do campo elétrico existente no ponto onde se situa a carga.

é; positiva

15 ■ Podemos representar o campo elétrico mais convenientemente através de linhas imaginárias. Veja as figuras abaixo.



Na fig. b, o campo ao redor da carga negativa é representado por linhas. As linhas (são; não são) orientadas. Cada linha é desenhada seguindo os vetores ponto por ponto numa determinada direção. As linhas de força do campo ao redor de uma carga negativa são (convergentes; divergentes), pois em cada ponto ao redor da carga negativa, o campo é orientado para a carga.

são; convergentes

16 ■ Já vimos que o campo é mais intenso nas _____ da carga que origina o campo. A representação do campo em termos de linhas de força também nos fornece esta informação. Observe a fig. b do item 15. Próximo da carga Q, as linhas de força estão mais próximas umas das outras; portanto, o campo é (mais, menos) intenso. À medida que consideramos pontos afastados da carga, as linhas de força se distanciam umas das outras. Onde as linhas de força são mais afastadas entre si o campo é _____

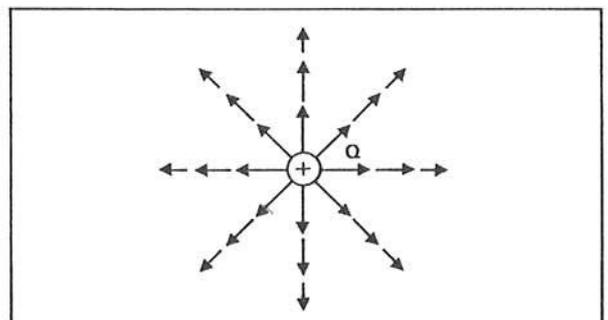
proximidades; mais; menos intenso

17 ■ Até agora, vimos que existe ao redor de cargas elétricas um campo elétrico que pode ser representado por linhas de força e descrevemos também o campo ao redor de uma carga negativa.

Vamos agora descrever o campo elétrico ao redor de uma carga positiva. Se colocarmos uma carga de prova nas proximidades de uma carga positiva Q, haverá (atração; repulsão), pois a carga de prova é sempre (negativa; positiva).

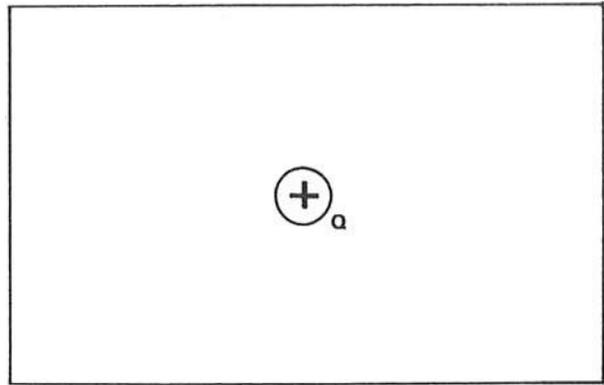
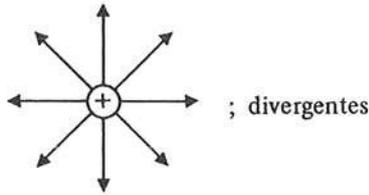
repulsão; positiva

18 ■ Os vetores que circundam a carga positiva Q na figura ao lado representam o _____ ao seu redor. O campo (converge para a; diverge da) carga positiva Q porque a carga de prova em qualquer ponto é (repelida; atraída).

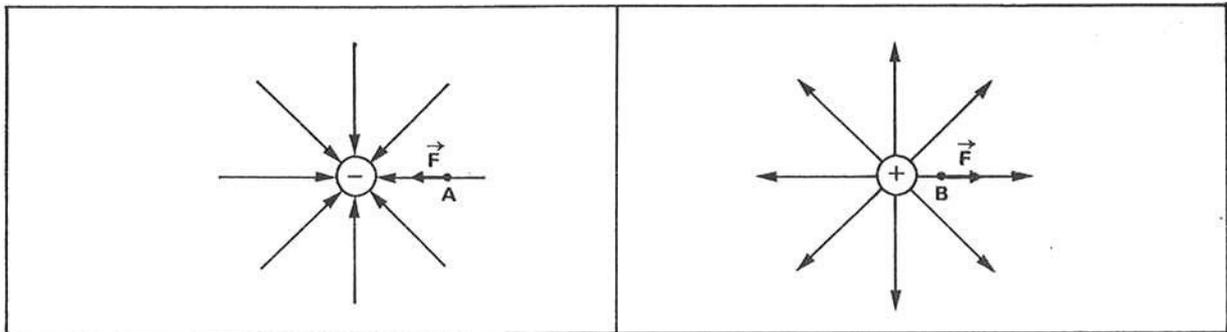


campo elétrico; diverge da; repelida

19 ■ Na figura ao lado tem-se uma carga positiva Q . Trace algumas linhas de força do campo elétrico que se origina ao seu redor. As linhas de força de uma carga positiva são (convergentes; divergentes).



20 ■ Observe as figuras abaixo:



Pode-se verificar que uma carga positiva colocada no ponto A sofre a ação de uma força no mesmo sentido da _____ ou do campo elétrico que passa pelo ponto; no caso, ela é atraída pela carga negativa. A carga positiva colocada no ponto B sofre a ação de uma força elétrica no _____

As linhas de força de um campo elétrico (saem de; chegam a) uma carga negativa e _____ uma carga positiva.

linha de força; mesmo sentido da linha de força ou do campo elétrico no ponto B; chegam a; saem de

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Descreva com suas próprias palavras o que é campo elétrico.
- 2 ■ O que é carga de prova?
- 3 ■ Como varia a intensidade do campo elétrico em função da distância à carga produtora do campo?
- 4 ■ Desenhe as linhas de força de um campo elétrico criado por uma carga negativa e de outro criado por uma carga positiva.
- 5 ■ Com relação às linhas de força do campo elétrico, que tipo de informação elas nos fornecem quanto à intensidade do campo?

- 6 ■ Que significa campo convergente e campo divergente?
- 7 ■ Qual é a direção e o sentido da força elétrica sobre uma carga positiva quando colocada num campo elétrico? Responda em termos da orientação das linhas de força.
- 8 ■ Qual é a direção e o sentido da força elétrica sobre uma carga negativa quando colocada num campo elétrico? Responda em termos da orientação das linhas de força.

Após isso, você deve estar apto para:

- conceituar campo elétrico.
- distinguir campo elétrico de campo gravitacional.
- definir carga de prova.
- caracterizar linhas de força de campo elétrico.

B – DEFINIÇÃO QUANTITATIVA DE CAMPO ELÉTRICO: $|\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{q}$

ORIENTAÇÃO DO CAMPO ELÉTRICO

UNIDADE DE MEDIDA DO CAMPO ELÉTRICO NO SI

- 1 ■ Nesta parte o campo elétrico será definido de maneira quantitativa. Já sabemos que a orientação do campo elétrico em um determinado ponto do espaço é a mesma da força elétrica sobre uma carga de prova colocada neste ponto. A carga de prova é sempre _____.

positiva

- 2 ■ Considere a situação de uma carga de prova colocada num ponto P do espaço que fica sujeita a uma força elétrica \vec{F} , vertical e orientada para cima. O campo elétrico no ponto P é (horizontal; vertical; inclinado) e dirige-se para (baixo; cima; o lado).

vertical; cima

- 3 ■ A orientação, isto é, a direção e o sentido do campo elétrico em determinado ponto é dada pela _____.

orientação da força elétrica sobre a carga de prova no ponto

- 4 ■ A carga de prova, que é utilizada para investigar o campo elétrico, não deve provocar distúrbios no campo já existente. Portanto, a carga de prova deve ser suficientemente (pequena; grande) em comparação à carga responsável pela existência do campo.

pequena

- 5 ■ Uma carga de prova q colocada num determinado ponto de um campo elétrico fica sujeita a uma força elétrica \vec{F} . A orientação do campo elétrico neste ponto é dada pela _____ da força \vec{F} . A intensidade ou o módulo ou ainda o valor do campo elétrico neste ponto é dado pela razão entre o módulo da força \vec{F} e a carga de prova q. Portanto, se chamarmos o campo elétrico de \vec{E} , $|\vec{E}| =$ _____.

orientação; $\frac{|\vec{F}|}{q}$

6 ■ $|\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{q}$: Esta equação define o _____ do campo elétrico \vec{E} . Nesta equação, \vec{F} representa a força que atua sobre a carga de prova _____.

módulo ou intensidade; q

7 ■ $|\vec{E}|$ representa o módulo do campo elétrico. O símbolo E, sem as barras e sem a "seta" que indica a natureza vetorial, também indica o módulo do campo elétrico. A equação que define o valor do campo elétrico, então, também pode ser escrita: $E = \frac{F}{q}$.

$$\frac{F}{q}$$

8 ■ Pelo que estudou até agora, você deve ter concluído que o campo elétrico (é; não é) uma grandeza vetorial, pois ele possui orientação. A direção e o sentido do campo são os mesmos da _____ sobre a carga de prova q; seu módulo é dado pela expressão: _____.

é; força elétrica \vec{F} ; $E = \frac{F}{q}$

9 ■ $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$. No SI de unidades, o valor de \vec{F} é dado em _____ e a carga q é dada em _____. Portanto, no SI de unidades, o campo elétrico é dado em _____.

newtons; coulombs; newtons/coulombs ou N/C

10 ■ A unidade de campo elétrico, no SI, é portanto $\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ C}}$. Se num dado ponto o campo elétrico tiver intensidade igual a 20 N/C, isto significa que, se uma carga de 1 C for colocada neste ponto, a força será de _____.

20 N

11 ■ $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$. Você poderá tirar desta equação a expressão para a força \vec{F} . Portanto, dado um campo elétrico \vec{E} , uma carga q, a força \vec{F} sobre a carga q terá valor dado pela expressão: $\vec{F} = \frac{F}{q}$.

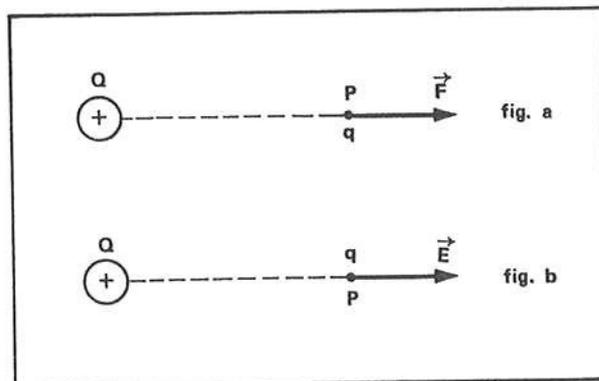
$q \cdot \vec{E}$

12 ■ A fig. a ao lado mostra uma carga de prova $q = 1,0 \times 10^{-6} \text{ C}$ colocada no ponto P e que fica sob ação de força elétrica $F = 2,0 \text{ N}$. O campo elétrico no ponto P terá intensidade:

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

No ponto P da fig. b, está desenhado o vetor \vec{E} que representa o campo elétrico neste ponto. A orientação de \vec{E} é a mesma que a de _____.

$$\frac{2,0 \text{ N}}{1,0 \times 10^{-6} \text{ C}} = 2,0 \times 10^6 \text{ N/C}; \vec{F}$$



- 13 ■ Considere o mesmo ponto P da figura do item 12. Se colocarmos nesse ponto uma carga q de valor $5,0 \times 10^{-6}$ C, a força elétrica sobre a carga terá intensidade $F =$ _____ e sua orientação _____.

O campo elétrico no ponto P do item 12 depende apenas da carga (q ; Q) e (depende; não depende) da carga q colocada no ponto P.

$q \cdot E = 10,0$ N; será a mesma que a de \vec{E} ; Q ; não depende

- 14 ■ Uma carga $q = 2,0 \times 10^{-6}$ C é colocada num ponto M do espaço e fica sujeita a uma força elétrica $F = 10$ N, para o norte. O campo elétrico neste ponto tem intensidade $E =$ _____ e dirige-se para o _____.

5×10^6 N/C; norte

- 15 ■ Se no ponto M, referido no item 14, colocarmos agora uma outra carga $q = 3,0 \times 10^{-7}$ C no lugar da primeira, a força elétrica sobre a nova carga terá intensidade $F =$ _____, direção _____ e sentido para o _____.

1,5 N; norte-sul ou sul-norte; norte

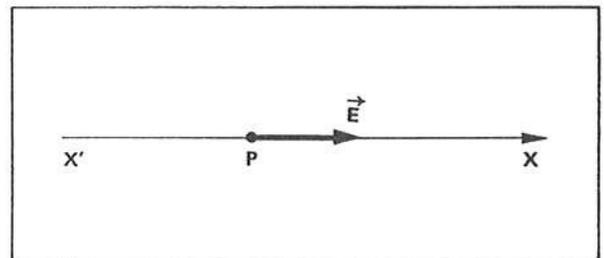
- 16 ■ O campo elétrico, num dado ponto G do espaço, tem módulo $E = 10$ N/C e é orientado para o sul. Uma carga $q = 2,0 \times 10^{-3}$ C colocada nesse ponto sofrerá a ação de uma força $F =$ _____, orientada para o (sul; norte). Se colocarmos uma carga $q = -2,0 \times 10^{-3}$ C no ponto G, ela sofrerá a ação de uma força $F =$ _____ orientada para o _____.

$2,0 \times 10^{-2}$ N; sul; $-2,0 \times 10^{-2}$ N; norte

- 17 ■ No item 16 você verificou que o valor algébrico da força sobre a carga negativa apresenta sinal negativo. Isto significa que o sentido da força é oposto ao sentido do campo elétrico. Em outras palavras, uma carga positiva sofre a ação de uma força com o _____ sentido do campo, enquanto que uma carga negativa sofre a ação de uma força com o _____; é por isso que no item 16 a carga negativa sofre a ação de uma força para o norte enquanto que a positiva para o _____.

mesmo; sentido oposto ao do campo; sul

- 18 ■ A figura ao lado esquematiza o campo elétrico \vec{E} num dado ponto P do espaço. O seu módulo é $E = 12$ N/C. Uma carga $q = 5,0 \times 10^{-3}$ C colocada neste ponto sofre a ação de uma força de módulo $F =$ _____ na direção $X'X$, cujo sentido é da _____ para a _____, isto é, no mesmo sentido de \vec{E} .



$6,0 \times 10^{-2}$ N; esquerda; direita

- 19 ■ Se no ponto P do item 18 colocássemos a carga $q = -2,0 \times 10^{-3}$ C, qual seria a orientação e o valor da força \vec{F} sobre a carga?

$F = -2,4 \times 10^{-2}$ N, na direção X'X e orientada para a esquerda. O sinal negativo indica que a força é oposta ao campo \vec{E} .

- 20 ■ Vamos fazer agora uma analogia com o campo gravitacional. Você já sabe que o peso de um corpo, isto é, a força gravitacional sobre um corpo, é dado pela expressão $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$, onde m é a massa do corpo e \vec{g} é o _____ . Na eletrostática, a força elétrica sobre uma carga é dada pela expressão $\vec{F} = q \vec{E}$, onde q é a carga e \vec{E} é o _____ . As duas expressões (são, não são) analiticamente semelhantes. Na gravitação, o peso tem sempre a direção e o sentido do campo gravitacional. Na eletrostática, a força sobre a carga elétrica tem sempre a direção do campo, porém seu sentido depende do _____ da carga. Se a carga for negativa, o sentido da força elétrica é _____ ao do campo elétrico.

campo gravitacional; campo elétrico; são; sinal; oposto

Após isso, você deve estar apto para:

- definir quantitativamente campo elétrico.
- caracterizar orientação do campo elétrico.
- definir unidade de medida do campo elétrico no SI de unidades (N/C).
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

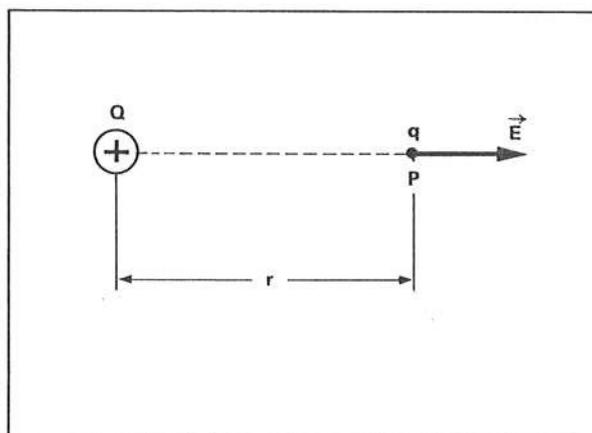
- Escreva a definição da intensidade do campo elétrico em um ponto P e dê sua formulação matemática.
- Qual é a unidade de campo elétrico no SI de unidades?
- Sobre uma carga $q = 4,0 \times 10^{-7}$ C age uma força elétrica, horizontal e para a direita, de módulo igual a 20×10^{-3} N. Determine o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico no ponto onde se encontra a carga.
- Num dado ponto do espaço, o campo elétrico tem intensidade 40 N/C, é vertical e orientado para cima. Qual é o módulo, a direção e o sentido da força que age sobre uma partícula carregada com $+2,0 \times 10^{-3}$ C?
- Uma bolinha de isopor grafitada está carregada com $0,5 \times 10^{-6}$ C. Num certo ponto do espaço ela fica sob a ação de uma força elétrica de $1,0 \times 10^{-4}$ N, orientada para o sul.
 - Qual é a intensidade e a orientação do campo elétrico no ponto?
 - O que acontece com o campo elétrico se a bolinha for descarregada?
- Uma partícula com carga de $-0,5 \times 10^{-6}$ C sofre a ação de uma força de módulo $2,0 \times 10^{-3}$ N, para o sul, quando colocada numa certa região do espaço.
 - Qual é a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico nessa região?
 - Qual seria a intensidade e a orientação da força elétrica sobre uma partícula com $2,0 \times 10^{-3}$ C, colocada nessa região?
- O campo elétrico num ponto P do espaço vale $E = 5,0 \times 10^6$ N/C, e é orientado para o norte. Qual é o valor da força elétrica sobre uma carga $q = -2,0 \times 10^{-3}$ C no ponto P? (Discuta a respeito do sinal.)
- Uma carga $Q = 2,0 \times 10^{-3}$ C está localizada no vácuo.
 - Qual é a força elétrica sobre uma outra carga $q = 2,0 \times 10^{-6}$ C a 10 cm de Q?
 - Qual é a intensidade e a orientação do campo elétrico neste ponto?
- No problema 8, se a carga q valesse $1,0 \times 10^{-4}$ C, qual seria a força elétrica sobre ela?
- No problema 8, se a carga q valesse $-2,0 \times 10^{-6}$ C, qual seria a força elétrica sobre ela?

RESPOSTAS

- 1 ■ Campo elétrico é a força que age sobre uma carga unitária; $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$
- 2 ■ newtons/coulomb (N/C)
- 3 ■ módulo: $E = 5 \times 10^4$ N/C; direção: horizontal; sentido: para a direita
- 4 ■ módulo: $F = 8 \times 10^{-2}$ N; orientação: vertical e para cima
- 5 ■ a) $E = 2 \times 10^2$ N/C; orientação: para o sul
b) o campo elétrico permanece o mesmo, isto porque o campo elétrico não depende da carga colocada num ponto do espaço.
- 6 ■ a) $E = 4 \times 10^3$ N/C; orientação: para o norte
b) 8 N; orientação: para o norte
- 7 ■ $F = -1,0 \times 10^4$ N; o sentido da força é contrário ao do campo elétrico (sinal negativo)
- 8 ■ a) $F = 3,6 \times 10^3$ N b) $E = 1,8 \times 10^9$ N/C; o campo é divergente
- 9 ■ $F = 1,8 \times 10^5$ N
- 10 ■ $F = -3,6 \times 10^3$ N

C — INTENSIDADE DO CAMPO ELÉTRICO A UMA DISTÂNCIA r DE UMA CARGA q : $E = k \frac{Q}{r^2}$

- 1 ■ Investigaremos nesta parte, sob o ponto de vista quantitativo, o campo elétrico ao redor de uma carga Q . Qual é a intensidade do campo elétrico no ponto P a uma distância r de uma carga positiva Q ? Veja a figura ao lado. Já sabemos que o vetor campo elétrico neste ponto é radial e diverge da carga, conforme está desenhado na figura. Nós investigamos o campo elétrico com uma carga de _____, que é sempre (negativa; positiva). Vamos colocar mentalmente a carga de prova q no ponto P . Sobre a carga de prova atuará uma força elétrica que é calculada pela Lei de _____.



prova; positiva; Coulomb

- 2 ■ A força sobre a carga de prova no ponto P possui orientação (igual à; diferente da) de \vec{E} . A força \vec{F} possui módulo $F =$ _____ (Lei de Coulomb).

igual à; $k \frac{Q \cdot q}{r^2}$

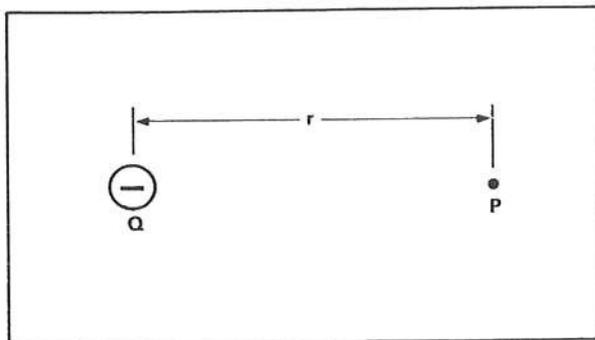
- 3 ■ A intensidade do campo elétrico, como você já sabe, é obtida pela razão entre a _____ que age sobre a carga de prova e a _____. Portanto, no ponto P , situado à distância r da carga positiva Q , o campo terá intensidade $E =$ _____.

força elétrica; carga de prova q ; $\frac{k \cdot Q}{r^2}$

4 ■ $E = \frac{k \cdot Q}{r^2}$. Esta equação permite calcular a intensidade do _____ a uma distância _____ de uma carga _____. Analisando a expressão podemos dizer que o valor do campo varia com o inverso do _____, da mesma forma que a força calculada pela Lei de Coulomb.

campo elétrico; r ; Q ; quadrado da distância

5 ■ Na figura ao lado, temos uma carga negativa Q . Desejamos determinar a direção, o sentido e o módulo do campo elétrico \vec{E} criado pela carga no ponto P a uma distância r . Devemos colocar mentalmente uma carga de _____ no ponto P , determinar a força pela Lei de _____ e aplicar a definição do _____. Portanto, no ponto P , a uma distância r da carga negativa Q , a força elétrica é de (atração; repulsão).



prova; Coulomb; campo elétrico; atração

6 ■ A força elétrica sobre a carga de prova no ponto P a uma distância r da carga Q está dirigida (para a; no sentido de afastar-se da) carga. O campo elétrico \vec{E} está dirigido _____. Faça um desenho que mostre o vetor campo elétrico no ponto P .

para a; para a carga;



7 ■ $E = \frac{k \cdot Q}{r^2}$. Esta expressão nos permite calcular o módulo do campo elétrico a uma distância r da carga positiva Q . A mesma expressão define também o valor do campo criado por uma carga negativa Q . Se Q for positiva, o valor algébrico de E será (positivo; negativo). Se Q for negativa o valor algébrico de E será (positivo; negativo).

positivo; negativo

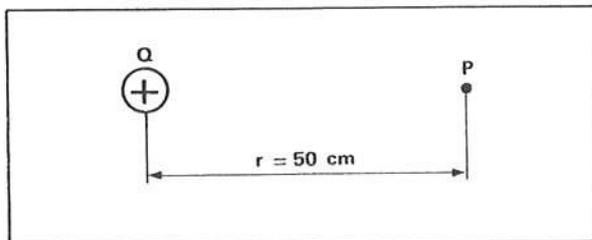
8 ■ $E = \frac{k \cdot Q}{r^2}$. Esta expressão nos permite calcular o módulo do campo a uma distância r de uma carga (positiva; negativa; tanto negativa como positiva). O sinal, negativo ou positivo, será dado pelo _____. Se a carga Q for negativa, o resultado final será (negativo; positivo).

tanto negativa como positiva; sinal da carga Q ; negativo

9 ■ Aplicação: Determine a intensidade do campo elétrico, bem como sua direção e sentido, num ponto situado a 50 cm de uma carga positiva de $1,0 \times 10^{-4}$ C.

Em primeiro lugar, devemos colocar mentalmente, no ponto, uma carga de prova q e calcular pela Lei de Coulomb a força elétrica. Logo,

$F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$, onde $k = 9 \times 10^9$ N·m²/C²; Q e q devem ser dadas em _____ e r em (m; cm).



coulombs; m (SI)

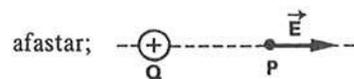
10 ■ Portanto, $F =$ _____.

$3,6 \times 10^6 \cdot q$ N

11 ■ Logo, $E = \frac{F}{q} =$ _____.

$3,6 \times 10^6$ N/C

12 ■ $E = 3,6 \times 10^6$ N/C. Sua orientação é no sentido de se (aproximar; afastar) da carga positiva. Desenhe o vetor \vec{E} .



13 ■ Resolva o mesmo problema do item 9 usando a expressão $E = \frac{k \cdot Q}{r^2}$. $E =$ _____.

$3,6 \times 10^6$ N/C

14 ■ Determine o valor do campo elétrico a 30 cm de uma carga $-1,0 \times 10^{-3}$ C. Como a carga produtora do campo é negativa, as linhas de força são (divergentes; convergentes).

$E = -1,0 \times 10^8$ N/C; convergentes

15 ■ O campo elétrico a uma distância de 10 cm de uma carga Q vale $E = 4,5 \times 10^7$ N/C. A carga que cria o campo vale _____.

$Q = 5,0 \times 10^{-5}$ C

16 ■ O valor do campo elétrico a uma distância r de uma carga elétrica Q é $E = 8 \times 10^3$ N/C. O campo ao redor de uma carga varia de acordo com o inverso do _____. Se a distância r for duplicada, o campo fica (dividido; multiplicado) por 4. Logo, a uma distância 2·r da carga, o valor do campo será $E' =$ _____.

quadrado da distância; dividido; 2×10^3 N/C

17 ■ Considere a mesma proposição do item 16. Determine a intensidade do campo a uma distância duas vezes menor, isto é, a r/2 da carga produtora do campo. Como o campo elétrico obedece à lei do inverso do quadrado da distância, quando a distância é reduzida à metade, o campo elétrico ficará (multiplicado; dividido) por 4. Portanto, $E'' =$ _____.

multiplicado; $3,2 \times 10^4$ N/C

18 ■ Vamos resolver algebricamente o item 16: $8 \times 10^3 = \frac{k \cdot Q}{r^2}$.

A uma distância $r' = 2 \cdot r$, o campo será: $E' = \frac{k \cdot Q}{r'^2}$.

Substituindo r' por $2 \cdot r$, teremos, $E' = \frac{k \cdot Q}{(2 \cdot r)^2}$

Mas $\frac{k \cdot Q}{r^2} = 8 \times 10^3$; portanto, $E' = \frac{k \cdot Q}{4 \cdot r^2} = \frac{8 \times 10^3}{4} = 2 \times 10^3$ N/C.

Agora, resolva algebricamente o item 17.

$$E'' = \frac{k \cdot Q}{\left(\frac{r}{2}\right)^2} = \frac{k \cdot Q}{\frac{r^2}{4}} = 4 \cdot \frac{k \cdot Q}{r^2} = 4 \times (8 \times 10^3) = 3,2 \times 10^4 \text{ N/C}$$

Após isso, você deve estar apto para:

- conceituar campo elétrico a uma distância finita de uma carga elétrica puntiforme.
- definir quantitativamente esse campo elétrico.
- caracterizar orientação desse campo.
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- Qual é a intensidade do campo elétrico a uma distância de 5 cm de uma carga $Q = 4,0 \times 10^{-2}$ C?
- Calcule a intensidade do campo elétrico criado por uma carga $Q = -2,0 \times 10^{-2}$ C, a uma distância de 2 cm, 4 cm, e 6 cm.
- O campo elétrico a uma distância de 2 cm de uma carga Q é de -1800 N/C. Determine a intensidade da carga Q .
- O campo elétrico a uma distância de 6 cm de uma carga Q é de 2×10^3 N/C. Qual será a intensidade do campo elétrico a uma distância de 2 cm da carga? e a 15 cm? E a 50 cm?

RESPOSTAS

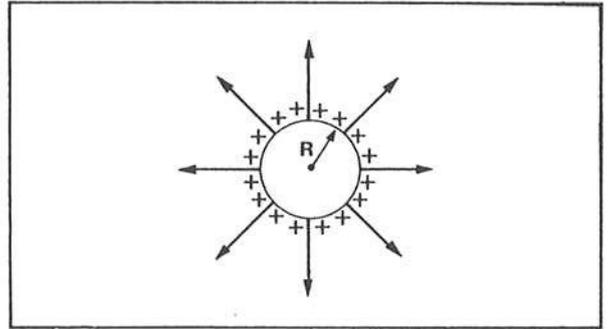
- $1,4 \times 10^{11}$ N/C
- $-4,5 \times 10^{11}$ N/C; $-1,1 \times 10^{11}$ N/C; -5×10^{10} N/C
- -8×10^{-11} C
- $1,8 \times 10^4$ N/C; $3,2 \times 10^2$ N/C; $2,9 \times 10$ N/C

D – CAMPO ELÉTRICO AO REDOR DE UMA ESFERA CONDUTORA ELETRIZADA DE RAIOS R:

$$E = k \cdot \frac{Q}{r^2}, \quad r > R$$

- 1 ■ A figura ao lado representa uma esfera condutora eletrizada positivamente. As linhas desenhadas são as

_____.

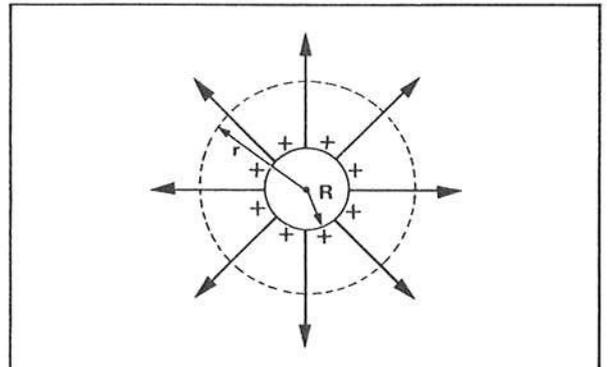


linhas de força do campo elétrico

- 2 ■ No interior da esfera condutora eletrizada da figura acima (existem; não existem) linhas do campo elétrico. Portanto, no interior da esfera eletrizada, (existem; não existem) cargas positivas em excesso. No interior da esfera eletrizada, o campo elétrico resultante (é; não é) nulo.

não existem; não existem; é

- 3 ■ Vamos calcular a intensidade do campo elétrico a uma distância r do centro da esfera com raio R , sendo $r > R$. A circunferência pontilhada representa pontos distantes r do centro da esfera. Vamos supor uma carga de prova a uma distância r do centro da esfera. Já vimos que a força elétrica sobre a carga de prova q é dada pela Lei de Coulomb supondo que toda a carga Q da esfera esteja concentrada no _____ da esfera. Logo, $F =$ _____.

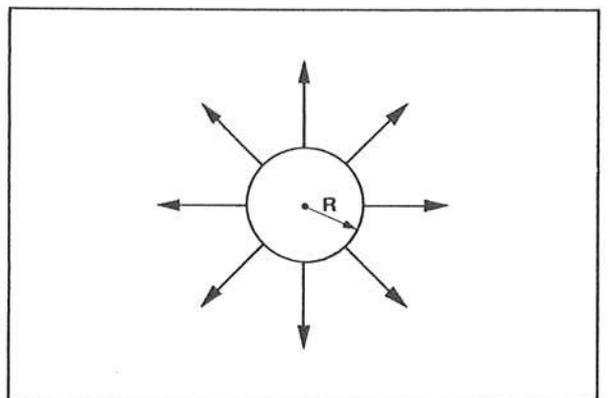


centro; $k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$

- 4 ■ Portanto, o campo elétrico a uma distância $r > R$ do centro da esfera eletrizada com carga Q terá intensidade $E =$ _____.

$k \cdot \frac{Q}{r^2}$

- 5 ■ A figura ao lado representa uma esfera eletrizada e algumas linhas de força. No interior da esfera, o campo elétrico é _____. Para pontos situados a uma distância r do centro da esfera e com r (maior; menor) que R , o campo elétrico possui intensidade dada pela expressão $E =$ _____, onde Q é a _____ . Na figura ao lado, analisando as linhas de força, podemos afirmar que a esfera está eletrizada (positivamente; negativamente). Podemos notar ainda que as linhas de forças (são; não são) perpendiculares à superfície da esfera condutora.



nulo; maior; $k \cdot \frac{Q}{r^2}$; carga da esfera; positivamente; são

- 6 ■ Observe que, tanto para uma carga Q como para uma esfera eletrizada e com carga Q , a expressão que permite calcular a intensidade do campo elétrico a uma distância r é a mesma e vale $E = \underline{\hspace{2cm}}$. Devemos ressaltar entretanto que para a esfera de raio R a distância r deve ser $\underline{\hspace{2cm}}$, pois no interior da esfera o campo é $\underline{\hspace{2cm}}$.

$k \cdot \frac{Q}{r^2}$; maior que o raio R ; nulo

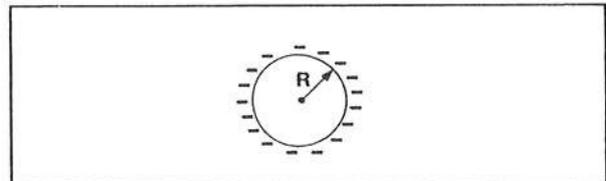
- 7 ■ Uma esfera de raio R está eletrizada com carga Q . Qual é a expressão para a intensidade do campo elétrico num ponto bem próximo da superfície? No interior da esfera, o campo elétrico é $\underline{\hspace{2cm}}$. Num ponto bem próximo da superfície, de modo que $r \cong R$, o campo elétrico terá intensidade próxima de $E = \underline{\hspace{2cm}}$.

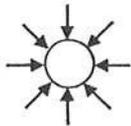
nulo; $k \cdot \frac{Q}{R^2}$

- 8 ■ Assim como para as cargas elétricas, o campo ao redor de uma esfera poderá ser convergente ou divergente dependendo do sinal das cargas em excesso na esfera. Se as cargas forem negativas, o campo elétrico \vec{E} será (negativo; positivo) e as linhas de força do campo serão (convergentes; divergentes).

negativo; convergentes

- 9 ■ Na figura ao lado está representada uma esfera condutora de raio $R = 10$ cm, eletrizada com $Q = -2 \times 10^{-6}$ C. Desenhe algumas linhas de força do campo elétrico ao redor da esfera.





- 10 ■ Considere a mesma esfera do item 9. Calcule o campo elétrico em um ponto P no interior da esfera. $E = \underline{\hspace{2cm}}$. Justifique a sua resposta.

0; pois no interior da esfera o campo é nulo.

- 11 ■ Considere a mesma esfera. Calcule o campo elétrico a uma distância de 10 cm de sua superfície. Observe que a distância r a ser considerada é $r = \underline{\hspace{2cm}}$ m, pois na expressão do campo elétrico a distância é medida a partir do $\underline{\hspace{2cm}}$ da esfera. Logo, $E = \underline{\hspace{2cm}}$.

0,20; centro; $-4,5 \times 10^5$ N/C

- 12 ■ O campo elétrico num ponto extremamente próximo da superfície da esfera do item 9 vale praticamente: $E = \underline{\hspace{2cm}}$

$-1,8 \times 10^6$ N/C (r pode ser considerado igual a R)

Após isso, você deve estar apto para:

- conceituar campo elétrico em torno de uma esfera condutora eletrizada.
- caracterizar condições de validade da Lei de Coulomb para esse caso.
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

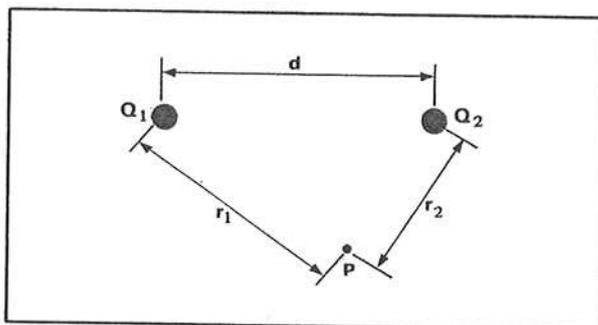
- Calcule o campo elétrico a uma distância de 20 cm do centro de uma esfera de raio 15 cm com $Q = 4,0 \times 10^{-6}$ C.
- Calcule o campo criado pela esfera descrita no problema 1 a uma distância de 10 cm do centro da esfera. Justifique.
- Calcule o campo criado pela esfera descrita no problema 1 a 15 cm da superfície da esfera.
- Qual é o campo criado por uma esfera neutra de raio 5 cm em um ponto bem próximo da superfície da esfera? Justifique.
- O campo elétrico a 10 cm do centro de uma esfera de 5 cm de raio vale $1,8 \times 10^6$ N/C. Qual é a carga da esfera?
- A carga contida numa esfera de raio 10 cm é $Q = 2,0 \times 10^{-6}$ C. Qual é a intensidade do campo elétrico a 8 cm do centro da esfera? E nos pontos bem próximos à sua superfície?

RESPOSTAS

- 9×10^5 N/C
- Nulo, pois o ponto considerado é interno à esfera.
- 4×10^5 N/C [obs.: $r = (15 + 15)$ cm]
- Nulo; pois um corpo neutro não cria campo elétrico ao seu redor (desde que não existam cargas nas proximidades).
- 2×10^{-6} C
- Nulo; $1,8 \times 10^6$ N/C ($r \cong R$).

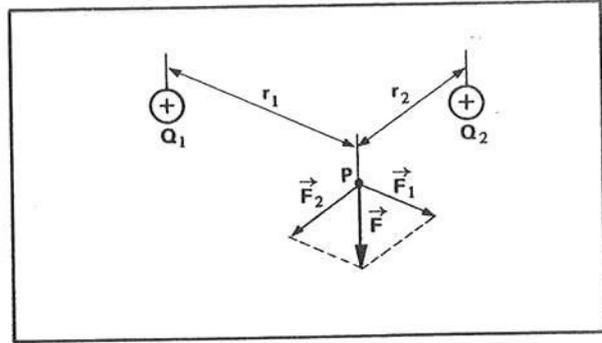
E — CAMPO ELÉTRICO AO REDOR DE DUAS CARGAS SEPARADAS ENTRE SI DE UMA DISTÂNCIA d

- Vamos examinar o campo criado por duas cargas Q_1 e Q_2 em um ponto P. Vamos supor a situação mostrada na figura ao lado. Devemos mentalmente colocar uma carga de prova no ponto P e determinar (a força resultante; somente a força entre Q_1 e q; somente a força entre Q_2 e q). A intensidade do campo elétrico resultante em P é determinada dividindo-se a _____ sobre q pela carga de prova q.



a força resultante; força resultante

2 ■ Na figura ao lado, tanto Q_1 como Q_2 são (negativas; positivas). A força \vec{F}_1 é a força entre a carga de prova q e a carga _____. \vec{F}_2 representa a força entre _____ e q . A força \vec{F} é a força _____ entre \vec{F}_1 e \vec{F}_2 . O campo elétrico resultante em P tem a orientação de $(\vec{F}_1; \vec{F}_2; \vec{F})$ e sua intensidade é dada por $E =$ _____.

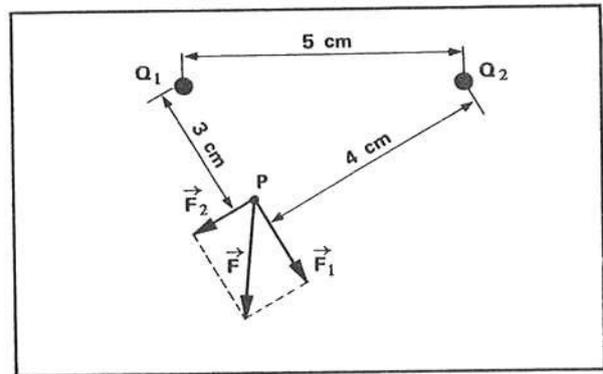


positivas; Q_1 ; Q_2 ; resultante; \vec{F} ; F/q

3 ■ Podemos determinar então o campo elétrico resultante em qualquer ponto, determinando-se a _____ sobre a carga de prova e dividindo esta força resultante pela carga de prova q .

força resultante

4 ■ Na figura ao lado,
 $Q_1 = 3,6 \times 10^{-5} \text{ C}$ e $Q_2 = 4,8 \times 10^{-5} \text{ C}$.
 Queremos determinar o campo elétrico resultante em P. Uma carga de prova q é colocada mentalmente no ponto P a fim de se determinar a _____ sobre ela. Na figura, \vec{F}_1 é a força elétrica entre _____ e q e \vec{F}_2 é a força elétrica entre _____ e _____.



força resultante; Q_1 ; Q_2 ; q

5 ■ O módulo de F_1 é dado pela expressão:

$F_1 =$ _____ (Lei de Coulomb) e vale $F_1 =$ _____.

$k \cdot \frac{Q_1 q}{r^2}$; $3,6 \times 10^8 \cdot q \text{ N}$

6 ■ Da mesma forma, $F_2 =$ _____.

$2,7 \times 10^8 \cdot q \text{ N}$

7 ■ Pela geometria, verificamos que \vec{F}_1 e \vec{F}_2 (são; não são) perpendiculares entre si. Portanto, a força resultante sobre a carga de prova q no ponto P é calculada aplicando o teorema de _____.

Logo, $F^2 =$ _____ + _____ e então $F =$ _____.

são; Pitágoras; F_1^2 ; F_2^2 ; $4,5 \times 10^8 \cdot q \text{ N}$



8 ■ Aplicando a definição de campo elétrico, concluímos que: $E = \frac{F}{q} =$ _____ (numericamente).

$4,5 \times 10^8$ N/C

9 ■ Portanto, uma carga $q = 2 \times 10^{-7}$ C colocada no ponto P da figura do item 4 ficaria sujeita a uma força resultante $F = q \cdot E$ e vale $F =$ _____ N. A orientação de \vec{F} (é a mesma que a; é diferente da) do campo \vec{E} .

90; é a mesma que a

10 ■ Uma carga $q = -2 \times 10^{-7}$ C colocada no ponto P (item 4) ficaria sob a ação de uma força resultante $F =$ _____ N. O sinal negativo significa que a força resultante é (de sentido oposto ao; de mesmo sentido que o) campo no ponto P.

-90; de sentido oposto ao

11 ■ No ponto P o campo elétrico é $E = 4,5 \times 10^8$ N/C. Existem outros pontos em que o campo tem o mesmo módulo, por exemplo o simétrico no plano em relação à reta que passa por Q_1 e Q_2 . O campo ao redor das cargas Q_1 e Q_2 do item 4 vale $E = 4,5 \times 10^8$ N/C (em todos os pontos do espaço; no ponto P; só no ponto P).

no ponto P

12 ■ Se quisermos determinar o campo em outro ponto qualquer, devemos colocar, neste ponto, a _____ de _____, determinar a força resultante sobre ela e aplicar a definição do campo elétrico, isto é, $E =$ _____.

carga; prova; F/q

13 ■ Vamos calcular então o campo em um outro ponto N do espaço que circunda as cargas Q_1 e Q_2 do item 4.

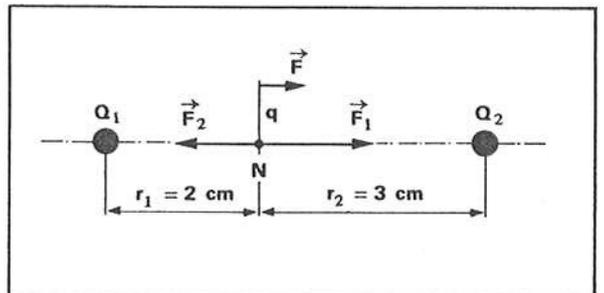
Veja a figura ao lado:

$Q_1 = 3,6 \times 10^{-5}$ C

$Q_2 = 4,8 \times 10^{-5}$ C

$F_1 =$ _____

$F_2 =$ _____



$8,1 \times 10^8 \cdot q$; $4,8 \times 10^8 \cdot q$

14 ■ As forças F_1 e F_2 sobre a carga de prova possuem mesma _____ porém sentidos _____. A força resultante sobre a carga q será dada por $F =$ _____ e portanto no ponto N o campo terá módulo $E =$ _____.

direção; opostos; $3,3 \times 10^8 \cdot q$; $3,3 \times 10^8$ N/C

15 ■ No ponto N o campo elétrico tem intensidade $E =$ _____, sua direção é a da linha reta que une as cargas Q_1 e Q_2 e seu sentido é (para Q_1 ; para Q_2).

$3,3 \times 10^8$ N/C; para Q_2

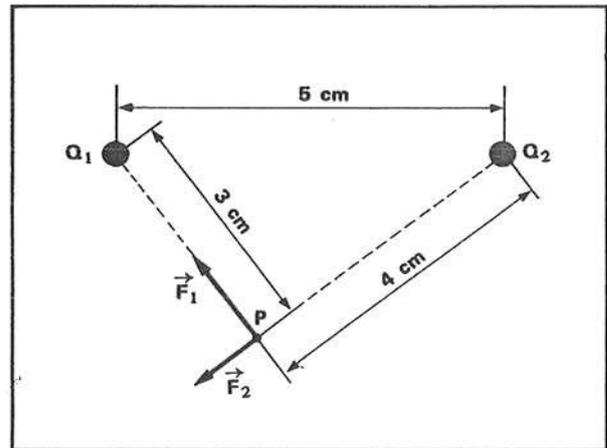
- 16 ■ Uma carga elétrica $q = 1,0 \times 10^{-6}$ C colocada no ponto N do item 13 será acionada por uma força elétrica de módulo $F =$ _____ N no sentido da carga _____. Uma carga elétrica $q = -2 \times 10^{-6}$ C ficará sujeita no ponto N a uma força $F =$ _____ N dirigida para a carga _____. A força que age sobre uma carga elétrica negativa tem sentido (oposto ao; igual ao) do campo elétrico.

$3,3 \times 10^2$; Q_2 ; $-6,6 \times 10^2$; Q_1 ; oposto ao

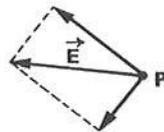
- 17 ■ Veja a figura do item 13. Tanto Q_1 como Q_2 são positivas. A força \vec{F}_1 é (mais; menos) intensa que \vec{F}_2 . Se o ponto N for deslocado no sentido de se aproximar de Q_2 , a força \vec{F}_1 (diminuirá; aumentará; não sofrerá alteração) em intensidade e a força \vec{F}_2 , _____. Existe um ponto, na linha que une as duas cargas positivas no qual \vec{F}_1 e \vec{F}_2 serão iguais em módulo e opostos em sentido. Em tal ponto o campo será (nulo; não-nulo) pois a força resultante sobre a carga de prova será _____.

mais; diminuirá; aumentará; nulo; nula

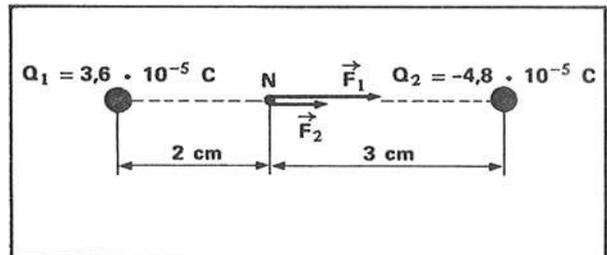
- 18 ■ Veja a figura ao lado. A única diferença em relação ao problema do item 4, é que a carga Q_1 é negativa. No ponto P a força \vec{F}_1 terá o sentido de se (aproximar; afastar) da carga Q_1 . Determine o campo elétrico resultante no ponto P, dando o seu módulo e desenhando no espaço ao lado o vetor campo elétrico \vec{E} .



aproximar; $E = 4,5 \times 10^8$ N/C;



- 19 ■ Veja a figura ao lado. Ela é semelhante à do item 13. A única diferença é que agora Q_2 é _____. Tanto \vec{F}_1 como \vec{F}_2 agem sobre a carga de prova no sentido de aproximá-la de _____. O campo elétrico resultante em N terá módulo



$E =$ _____

e está dirigido para (Q_1 ; Q_2).

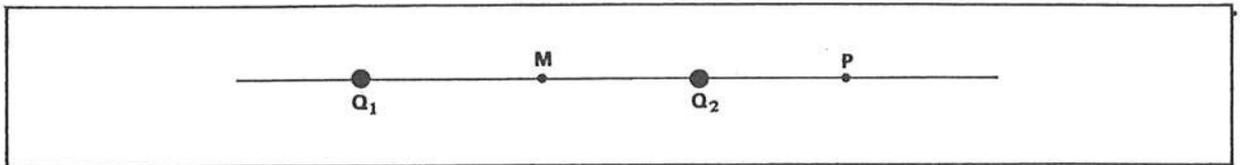
negativa; Q_2 ; $1,3 \times 10^9$ N/C; Q_2

Após isso, você deve estar apto para:

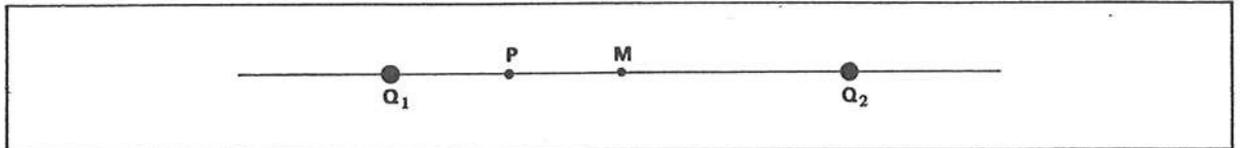
- conceituar campo elétrico em uma região onde existem duas cargas elétricas puntiformes.
- definir quantitativamente esse campo.
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

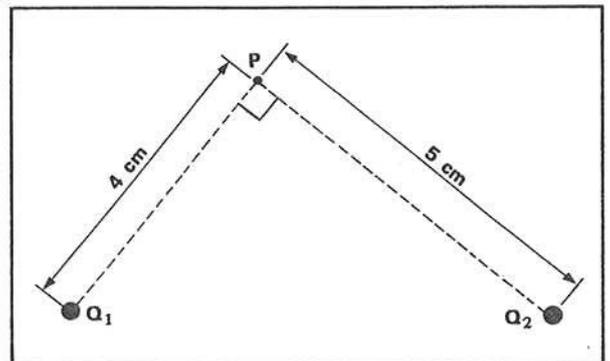
- 1 ■ Duas cargas, $Q_1 = 6,0 \times 10^{-6} \text{ C}$ e $Q_2 = -3,0 \times 10^{-6} \text{ C}$, estão separadas de 60 cm. Determine o campo elétrico no ponto médio M.



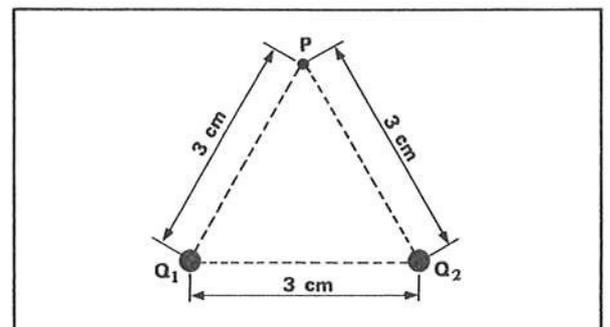
- 2 ■ Considere o enunciado do problema anterior no ponto P a 30 cm da carga Q_2 , conforme ilustra a figura.
- 3 ■ Duas cargas, $Q_1 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ e $Q_2 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ C}$, estão separadas de 20 cm. Determine o campo elétrico no ponto médio M, conforme mostra a figura.



- 4 ■ No problema 3, determine o campo elétrico no ponto P a 5,0 cm de Q_1 .
- 5 ■ Qual é a força elétrica resultante sobre uma partícula com carga $q = 5,0 \times 10^{-6} \text{ C}$ colocada no ponto M do problema 1?
- 6 ■ Qual é a força elétrica resultante sobre uma carga $q = -2,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ quando colocada no ponto M do problema 3?
- 7 ■ Calcule o campo elétrico resultante no ponto P da figura ao lado e construa o vetor que o representa. $Q_1 = Q_2 = 2,0 \times 10^{-6} \text{ C}$.



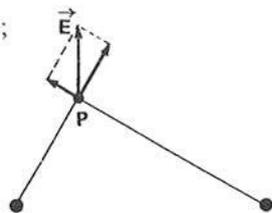
- 8 ■ Calcule o campo elétrico resultante no ponto P da figura ao lado e construa o vetor que o representa. $Q_1 = Q_2 = 5,0 \times 10^{-8} \text{ C}$.



RESPOSTAS

- | | | |
|--|--|-----------|
| 1 ■ $9 \times 10^5 \text{ N/C}$ (dirigido para Q_2) | 3 ■ Zero | 5 ■ 4,5 N |
| 2 ■ $2,3 \times 10^5$ (dirigido para Q_2) | 4 ■ $6,4 \times 10^9 \text{ N/C}$ (dirigido para Q_2) | 6 ■ Zero |

7 ■ $E = 1,3 \times 10^7 \text{ N/C}$;



8 ■ $E = 5,0 \sqrt{3} \times 10^5 \text{ N/C}$;



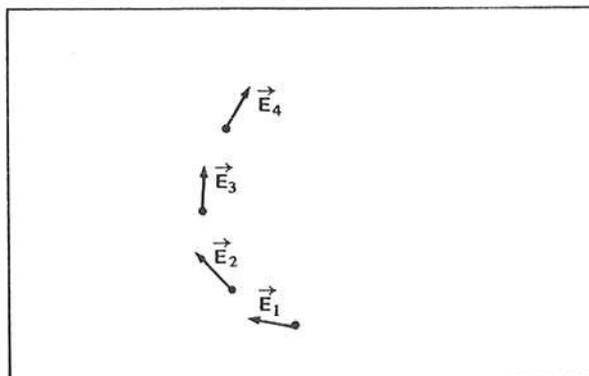
F – LINHAS DE FORÇA DO CAMPO ELÉTRICO AO REDOR DE CORPOS ELETRIZADOS

1 ■ Na parte anterior estudamos como é possível determinar o campo elétrico formado por um sistema de duas cargas. Nesta parte veremos o mesmo campo elétrico em termos de linhas de força.

Já sabemos que, em relação às cargas elétricas, as linhas de força são divergentes quando a carga é _____ e convergentes quando a carga é _____.

positiva; negativa

2 ■ Vamos aprofundar um pouco mais o conceito de linhas de força. Considere os campos elétricos da figura ao lado. Podemos observar que em cada ponto o campo elétrico apresenta (mesmas direções; direções diferentes).

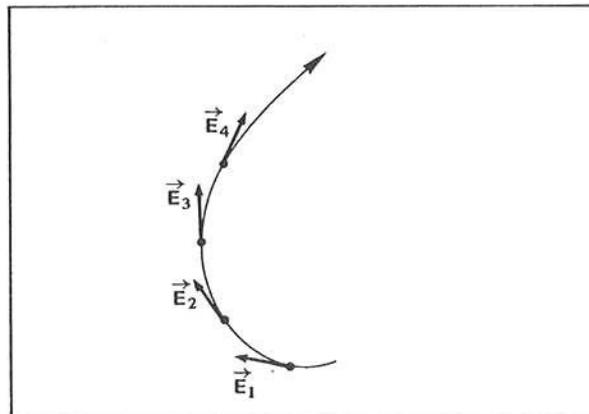


direções diferentes

3 ■ Uma linha de força de um campo elétrico é traçada de forma que em cada ponto da linha o campo elétrico lhe é (tangente; perpendicular; paralelo).

tangente

4 ■ Ao lado temos os mesmos pontos do item 2, com os respectivos campos elétricos. Uma linha de força que passa por estes pontos (tangencia; não tangencia) os vetores campos elétricos. A linha de força traçada ao lado possui sentido que (concorda; não concorda) com os sentidos dos campos elétricos.

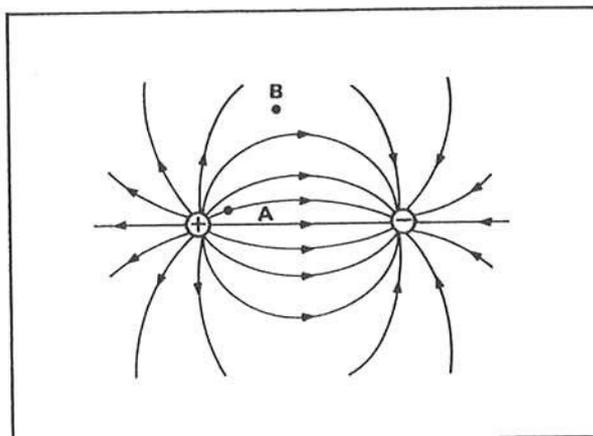


tangencia; concorda

5 ■ Em cada ponto de uma linha de força, o campo elétrico tem direção da _____ à linha.

tangente

6 ■ Considere o campo ao redor de duas cargas iguais em módulo mas de sinais contrários. Este sistema é denominado **dipolo elétrico**. As linhas traçadas são as _____ do campo elétrico. As linhas de força saem da carga positiva e terminam na carga _____. O campo elétrico no ponto A é (tangente; perpendicular) à linha de força que passa por esse ponto. O campo elétrico no ponto B é (mais intenso; menos intenso) que no ponto A porque no ponto B as linhas de força são mais (distantes; próximas) umas das outras.

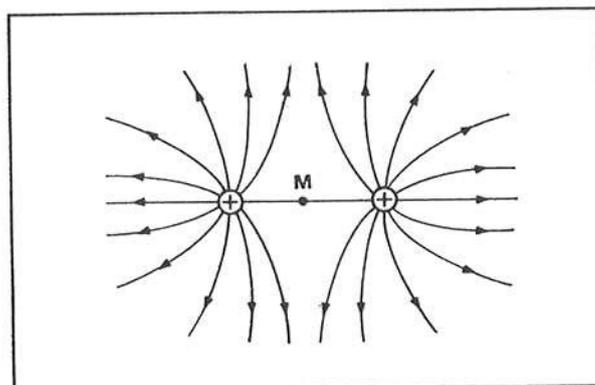


linhas de força; negativa; tangente; menos intenso; distantes

7 ■ Um dipolo elétrico é um sistema constituído por duas cargas (de sinais contrários; de mesmo sinal) separadas entre si por uma distância d. No dipolo elétrico, as cargas têm módulos (iguais; diferentes).

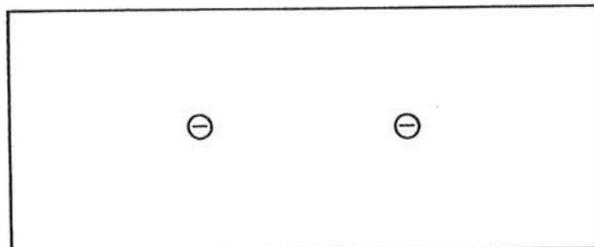
de sinais contrários; iguais

8 ■ Na figura ao lado temos uma situação semelhante. As cargas agora são ambas positivas e iguais em valor. Observamos que as linhas de força (saem da; chegam à) carga positiva. No ponto M equidistante das cargas, e situado na mesma linha que liga as cargas, (passam; não passam) linhas de força. No ponto M o campo elétrico resultante (é; não é) nulo. O sistema (é; não é) um dipolo elétrico.



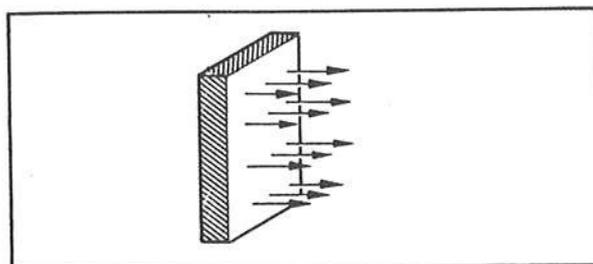
saem da; não passam; é; não é

9 ■ Na figura ao lado estão representadas duas cargas de igual valor, ambas negativas. Pelos exemplos anteriores, já vimos que as linhas de força de um campo elétrico (saem da; chegam à) carga negativa e as linhas de força (nunca se cruzam; podem se cruzar). Desenhe na figura ao lado algumas linhas de força do campo elétrico do sistema.



chegam à; nunca se cruzam

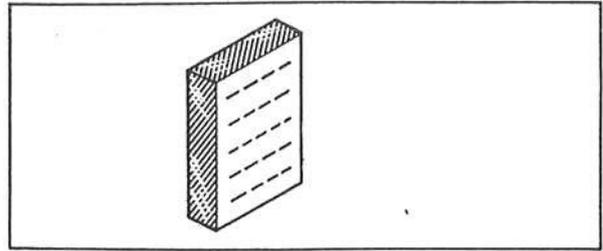
10 ■ Considere agora uma distribuição superficial de cargas numa placa metálica. Na figura ao lado considera-se somente as cargas de um lado da placa. As linhas de força do campo elétrico próximo à placa são perpendiculares à placa e (são; não são) paralelas entre si.



Observando o sentido das linhas de força, podemos constatar que as cargas deste lado da placa são (negativas; positivas) e o campo elétrico é (perpendicular; tangencial) à placa e orientado no mesmo sentido das linhas de força.

são; positivas; perpendicular

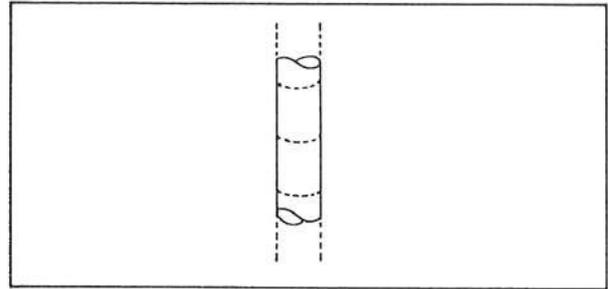
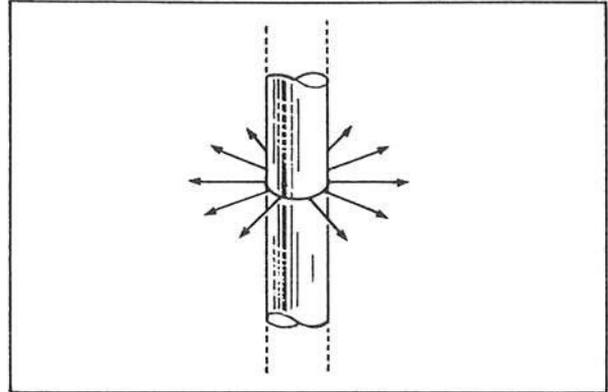
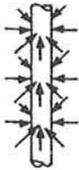
- 11 ■ Trace agora na figura ao lado as linhas de força nas proximidades de uma face de uma placa metálica dotada de uma distribuição uniforme de cargas elétricas negativas.



- 12 ■ Na figura ao lado está representado um condutor cilíndrico retilíneo e bem comprido eletrizado eletrostaticamente com cargas positivas. No desenho está esquematizado somente o campo elétrico numa certa posição do condutor. Podemos observar que as linhas de força do campo elétrico são perpendiculares ao condutor e (penetram; não penetram) no condutor. À medida que nos distanciamos do condutor, o campo elétrico torna-se (mais; menos) intenso pois as linhas de força (se distanciam; se aproximam) umas das outras.

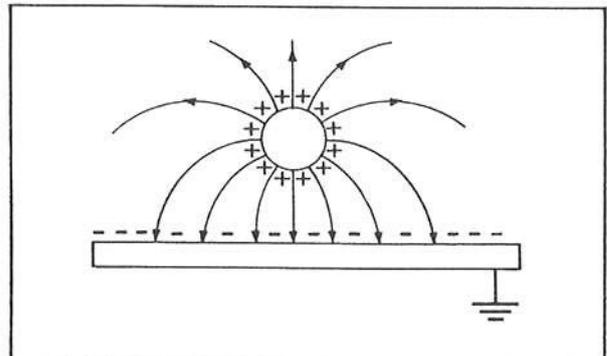
não penetram; menos; se distanciam

- 13 ■ Para as posições indicadas, esquematize as linhas de força no condutor cilíndrico retilíneo e bem comprido eletrizado negativamente. (figura ao lado)



- 14 ■ Na figura ao lado, representa-se um condutor esférico eletrizado positivamente e suspenso sobre uma placa metálica. As cargas positivas da esfera (induzem; não induzem) cargas negativas na superfície de placa próxima da esfera. Observamos que as linhas de força próximas à placa (são; não são) perpendiculares à superfície da placa. As linhas de força começam na superfície da esfera e terminam na _____.

induzem; são; superfície da placa



15 ■ Em todos os exemplos de campo elétrico vistos anteriormente, observamos que as linhas de força começam em cargas _____ e terminam em cargas _____. Constatamos ainda que estas linhas nunca penetram no interior dos condutores eletrizados eletrostaticamente. Em outras palavras, no interior de tais condutores (existe; não existe) campo elétrico resultante.

positivas; negativas; não existe

16 ■ Não existe campo elétrico no interior de condutores eletrizados eletrostaticamente. Vejamos como podemos explicar este fato. Se existisse campo elétrico no interior de condutores carregados eletrostaticamente, o campo elétrico (provocaria; não provocaria) o movimento do excesso de cargas de seu interior.

provocaria

17 ■ O termo “carregado eletrostaticamente” ou simplesmente “carregado” ou “eletrizado” quer dizer que (existe; não existe) cargas elétricas positivas ou negativas em excesso e que estas cargas em excesso (estão; não estão) em repouso.

existe; estão

18 ■ Muito bem. Se existisse então campo elétrico resultante no interior de condutores eletrizados, os elétrons livres dentro desses condutores se movimentariam até que no interior o campo elétrico se anulasse. Em outras palavras, se colocássemos cargas elétricas, por exemplo, positivas no interior de um condutor inicialmente neutro. estas cargas se repeliriam para mais (longe; perto) possível uma da outra. O movimento cessaria quando tais cargas atingissem a superfície do condutor. Nesta situação (não existe; existe) campo elétrico e nem cargas elétricas em excesso no interior do condutor.

longe; não existe

19 ■ Isto significa então que se transferirmos excesso de cargas num condutor estas se espalham pela superfície até atingirem uma distribuição de equilíbrio eletrostático. Para o interior do condutor (fluiriam; não fluiriam) cargas elétricas.

não fluiriam

20 ■ O fato de as cargas elétricas se distribuírem pela superfície e conseqüentemente o campo elétrico resultante no interior de condutores eletrizados ser (zero; diferente de zero) nos protege, por exemplo, de uma descarga elétrica quando estivermos dentro de um carro. Este fenômeno constitui o que denominamos blindagem elétrica. Se quisermos que certa região do espaço tenha constantemente campo elétrico resultante nulo basta envolvermos esta região com uma capa metálica ou uma rede metálica.

zero

21 ■ Sintetizando, podemos afirmar que:

a) as cargas em excesso em condutores se distribuem pela _____.

b) o campo elétrico resultante no interior de condutores eletrizados é _____, razão pela qual (traçamos; não traçamos) linhas de força no interior dos mesmos.

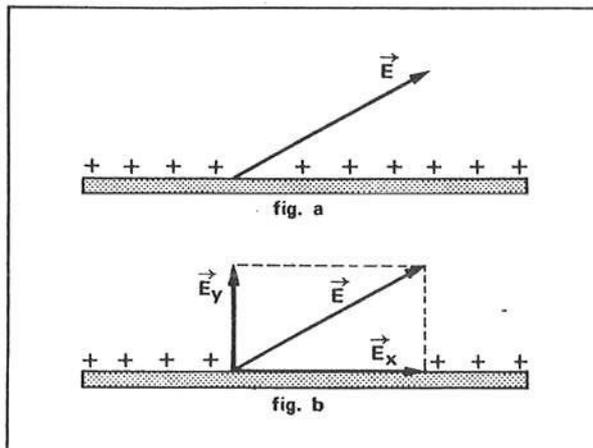
c) os fatos descritos em (a) e (b) acima explicam o fenômeno da blindagem _____.

superfície dos mesmos; nulo; não traçamos; elétrica

- 22 ■ Vimos também que as linhas de força próximas de condutores eletrizados sempre são perpendiculares às superfícies dos condutores. Isto equivale a dizer que o campo elétrico nas proximidades de um condutor eletrizado (é; não é) perpendicular à superfície do mesmo.

é

- 23 ■ Vejamos então a razão deste comportamento. Na fig. a ao lado temos a superfície de um condutor com excesso de cargas positivas e nela está representado o campo elétrico (não-perpendicular; perpendicular). Se o campo não fosse perpendicular existiria uma componente do campo elétrico E_x paralela à superfície. Veja a fig. b. Esta componente do campo, paralela à superfície, (exerceria; não exerceria) força elétrica sobre cargas na superfície.



não-perpendicular; exerceria

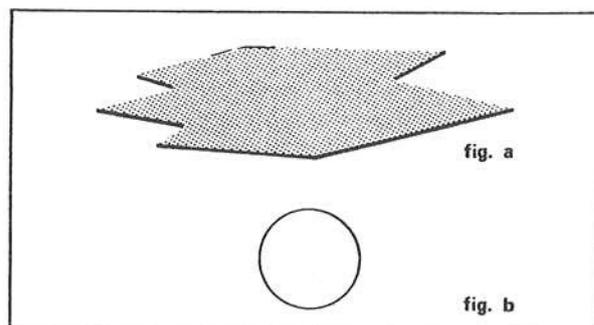
- 24 ■ Portanto, a componente do campo elétrico paralela à superfície provocaria o movimento de cargas elétricas ao longo da superfície. Mas, como em condutores eletrizados em equilíbrio as cargas (estão; não estão) em repouso, tal componente deve ser nula. Portanto, $E_x =$ _____. Sendo a componente segundo a superfície igual a zero, necessariamente o campo elétrico \vec{E} na superfície de condutores eletrizados (é; não é) perpendicular a essa superfície. Logo, ao traçarmos as linhas de força, devemos ter o cuidado de observar a perpendicularidade com a _____ do condutor.

estão; zero; é; superfície

- 25 ■ Ampliando mais um pouco o nosso conceito com relação ao campo ao redor de condutores, podemos dizer que:
- o campo no interior de condutores eletrizados é _____.
 - as cargas em excesso se localizam _____.
 - a direção do campo elétrico em relação à superfície do condutor é _____ à mesma. Portanto, ao traçarmos as linhas de forças, elas devem ser _____ à superfície e não devem penetrar no interior dos condutores eletrizados; elas chegam em cargas _____ e saem de _____.

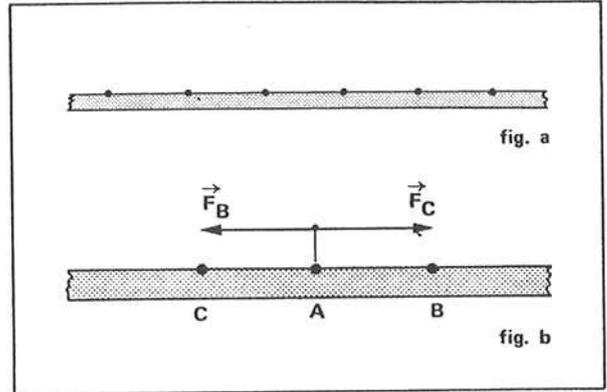
nulo; na superfície; perpendicular; perpendiculares; negativas; cargas positivas

- 26 ■ Para concluirmos nossas noções, devemos analisar agora a distribuição e a intensidade do campo ao redor de condutores eletrizados. As figs. a e b representam uma placa de dimensões infinitas e uma esfera. Dizemos que a placa e a esfera possuem curvatura constante ou curvatura uniforme. Em tais condutores as cargas se distribuem de maneira (uniforme; não-uniforme). Em outras palavras, a distância entre uma carga e outra (é; não é) constante.



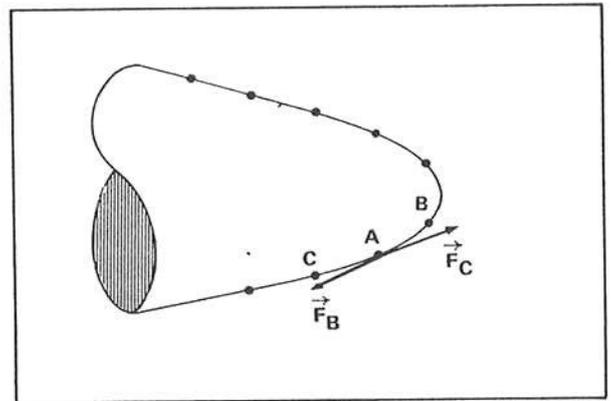
uniforme; é

- 27 ■ Considere a placa eletrizada esquematizada na fig. a. Nela, as cargas estão espaçadas _____, isto é, é constante a distância entre as cargas. Vejamos porque esta é uma situação de equilíbrio. Considere a carga assinalada com a letra A, na fig. b. As cargas B e C estão à mesma distância, uma de cada lado. Elas exercerão forças sobre A de mesma intensidade porém de sentidos _____; portanto, A (permanecerá; não permanecerá) em equilíbrio. O mesmo tipo de raciocínio pode ser desenvolvido com relação à esfera.



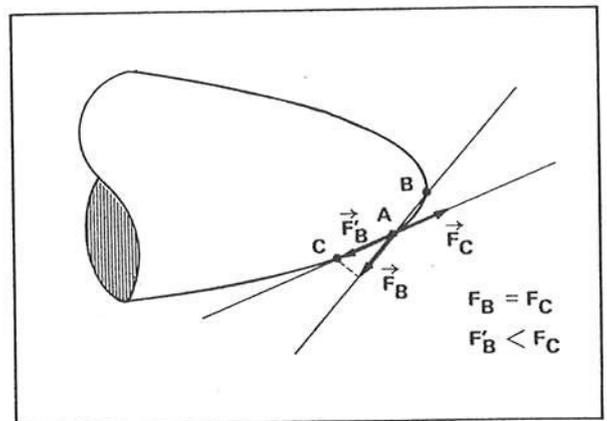
uniformemente; contrários; permanecerá

- 28 ■ Considere agora um condutor que não possua curvatura uniforme, mas que apresente uma “ponta” convexa (figura ao lado). Vamos supor que o excesso de cargas esteja distribuído uniformemente como mostra a figura. Como estamos considerando o espaçamento uniforme, as forças \vec{F}_B e \vec{F}_C que B e C exercem sobre a carga simbolizada com a letra _____ (possuem; não possuem) intensidades iguais. Apesar das intensidades serem iguais, pois admitimos por hipótese que o espaçamento é uniforme, devido a curvatura elas (são; não são) diretamente opostas.



A; possuem; não são

- 29 ■ A força \vec{F}_C atua sobre A praticamente na direção da superfície, o que não acontece com \vec{F}_B . Na figura ao lado, \vec{F}'_B é a componente de \vec{F}_B na direção de \vec{F}_C . \vec{F}'_B (é; não é) oposta a \vec{F}_C . Mas, como \vec{F}_B é (mais intensa; menos intensa) do que \vec{F}_C , a carga A será puxada para próximo da “ponta” até que exista uma situação de equilíbrio. Esta análise mostra que, numa ponta, (existe; não existe) maior acúmulo de carga.

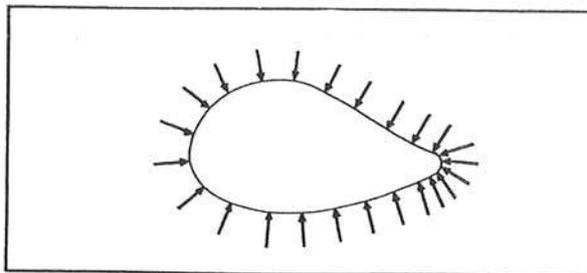


é; menos intensa; existe

- 30 ■ A análise do item 29 mostra que num condutor cuja curvatura não seja uniforme, mas que apresente, por exemplo, uma ponta, o espaçamento entre as cargas (não é; é) a mesma ao longo de toda a superfície. O espaçamento diminui na região que apresenta uma ponta, onde se acumulam (mais; menos) cargas.

não é; mais

- 31 ■ O fato de acumular mais cargas em regiões pontiagudas implica que o campo elétrico nesta região é (mais; menos) intenso. Se o campo é mais intenso, nas regiões pontiagudas devemos traçar as linhas de força (mais próximas; mais distantes) umas das outras.



mais; mais próximas

- 32 ■ Portanto, o campo elétrico em regiões pontiagudas é mais intenso do que em outras regiões de um condutor. Isto implica também que as regiões pontiagudas favorecem a descarga elétrica bem como o processo de carga. Este fenômeno é denominado "poder das pontas". Um condutor eletrizado tem maior possibilidade de se descarregar através de regiões _____, pois _____.

pontiagudas; nas pontas há maior acúmulo de cargas elétricas

- 33 ■ Podemos finalmente fazer uma síntese geral:

Num condutor eletrizado:

- a) o campo no interior do condutor é _____ e as cargas se localizam _____.
- b) o campo elétrico é mais intenso em _____ e nestas regiões se acumulam _____ cargas elétricas.
- c) as linhas de força de um campo elétrico saem de cargas _____ e _____ a cargas negativas, e devem ser traçadas _____ às superfícies.
- d) onde o campo é mais intenso as linhas de força são _____.
- e) linhas de força (nunca; às vezes; sempre) podem se cruzar.

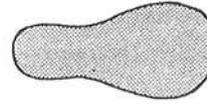
nulo; na superfície do condutor; regiões pontiagudas; mais; positivas; chegam; perpendicularmente; mais próximas umas das outras; nunca

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

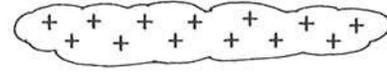
- 1 ■ Explique como se distribui a carga em excesso num condutor metálico.
- 2 ■ Quanto vale o campo no interior de um condutor metálico? Existe carga em excesso no seu interior?
- 3 ■ Por que o campo elétrico é perpendicular à superfície dos condutores eletrizados e por que não são desenhadas linhas de força no seu interior?
- 4 ■ Explique a blindagem elétrica.
- 5 ■ Por que a distribuição de cargas num condutor de curvatura uniforme é constante?

- 6 ■ Quando um condutor com a forma de uma pera (fig. ao lado) é eletrizado, as cargas em excesso se distribuem uniformemente? Explique.

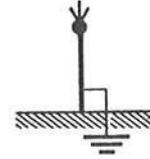


- 7 ■ Em um alfinete eletrizado qual das extremidades apresenta maior concentração de cargas elétricas?

- 8 ■ A figura ao lado esquematiza uma nuvem carregada positivamente e um pára-raios no alto de um edifício.



- Desenhe algumas linhas de força entre a nuvem e o pára-raios.
- Por que o pára-raios é pontiagudo?
- O que acontece com as cargas quando há a descarga elétrica?



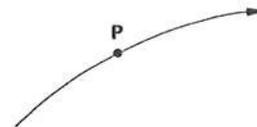
- 9 ■ Um cubo de metal pende através de um isolante. Ele é carregado positivamente. Descreva sobre a distribuição da carga no cubo.

Após isso, você deve estar apto para:

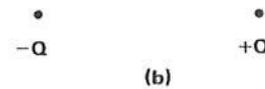
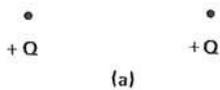
- definir linhas de força ao redor de:
 - dipolo elétrico.
 - sistema de duas cargas elétricas.
 - placa metálica com distribuição superficial e uniforme de cargas.
 - condutor cilíndrico e retilíneo uniformemente carregado.
 - sistema constituído por uma esfera e uma placa eletrizadas com sinais opostos.
- caracterizar distribuição de cargas num condutor eletrizado.
- definir critérios para desenhar as linhas de força.
- resolver questões propostas.

QUESTÕES A RESOLVER

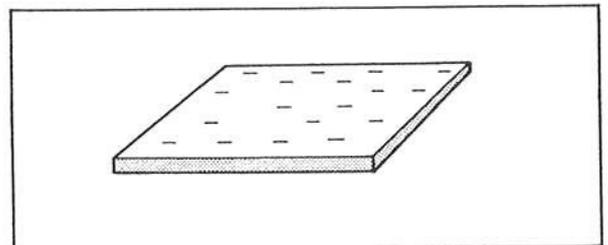
- 1 ■ Qual é a direção do campo elétrico no ponto P da linha de força representada ao lado? Represente-o vetorialmente.



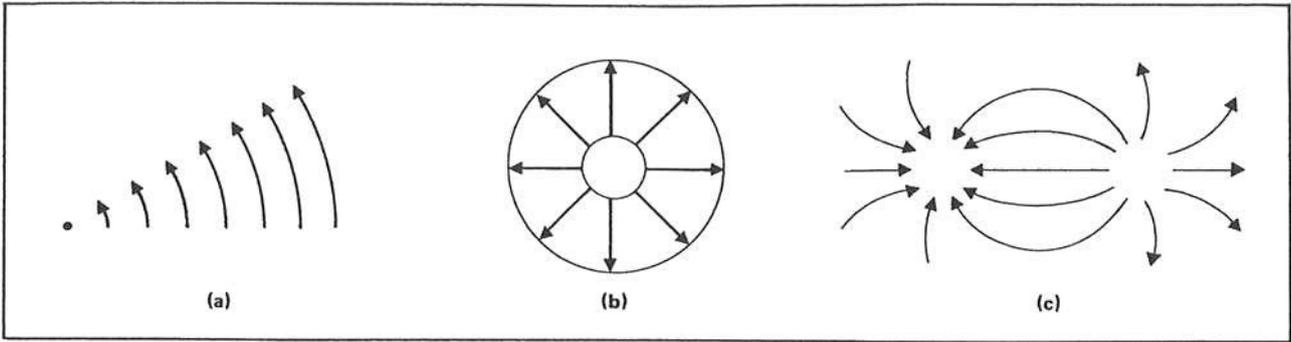
- 2 ■ Desenhe algumas linhas de força do campo elétrico criado ao redor das cargas abaixo. Qual dos dois correspondem ao dipolo elétrico?



- 3 ■ Desenhe algumas linhas de força do campo criado pela placa eletrizada negativamente. Considere somente a superfície de cima.



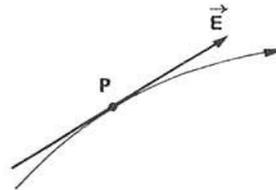
4 ■ Dados os campos elétricos abaixo:



- Qual das configurações correspondem:
 (I) a duas esferas condutoras concêntricas?
 (II) a duas placas?
 (III) a duas esferas a certa distância entre si?

RESPOSTAS

1 ■ Tangente à linha de força no ponto P.

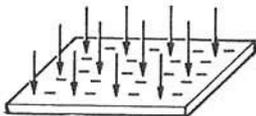


2 ■



A configuração (b) corresponde a um dipolo elétrico.

3 ■



- 4 ■ (I) – (b)
 (II) – (a)
 (III) – (c)

**G – CAMPO ELÉTRICO UNIFORME E NÃO-UNIFORME
 CAMPO ELÉTRICO ENTRE DUAS PLACAS METÁLICAS PARALELAS**

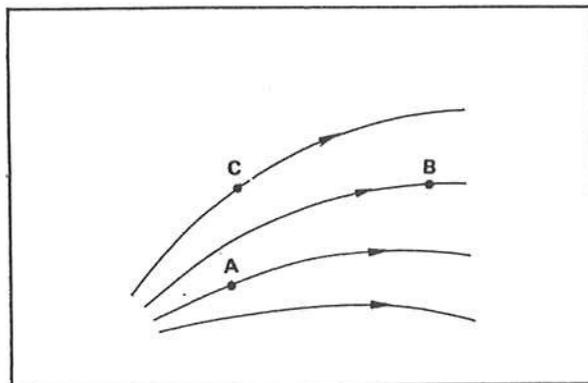
1 ■ Na parte anterior, já analisamos a possibilidade de, a partir das linhas de força de um campo elétrico, conhecer onde o campo elétrico é mais intenso e, da mesma forma, onde ele é menos intenso. O campo elétrico é mais intenso onde as _____ forem _____ umas das outras. Na região onde as linhas de força estão mais distantes umas das outras o campo é _____

linhas de força; mais próximas; menos intenso

- 2 ■ A direção e o sentido, isto é, a orientação do campo elétrico em um determinado ponto também pode ser determinada a partir das linhas de força. Em cada ponto de uma linha de força o campo elétrico é (tangente; perpendicular) à linha e seu sentido (acompanha; não acompanha) o sentido dado a esta linha de força.

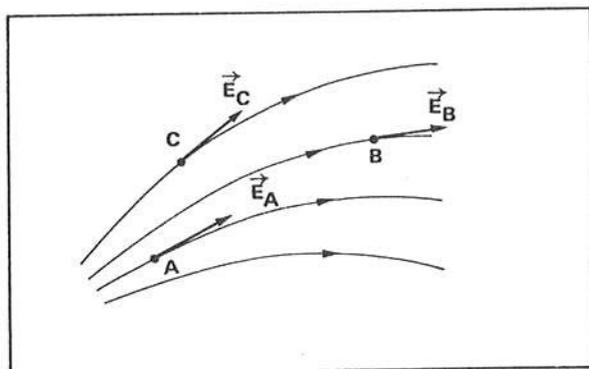
tangente; acompanha

- 3 ■ Considere o campo descrito pelas linhas de força desenhadas ao lado. O campo elétrico no ponto A é (mais; menos) intenso que no ponto B. O campo elétrico no ponto C é _____ que no ponto B. Podemos dizer que o campo elétrico representado ao lado (é; não é) uniforme.

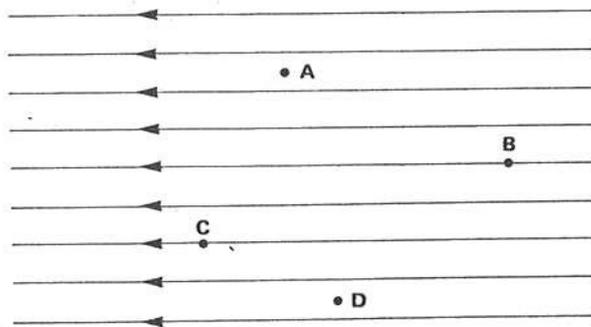


mais; mais intenso; não é

- 4 ■ Desenhe o vetor campo elétrico nos pontos A, B e C do campo ilustrado no item 3 acima.



- 5 ■ Considere agora o campo elétrico representado na figura ao lado. As linhas de força são paralelas e igualmente espaçadas. Pelo fato de as linhas estarem igualmente espaçadas, a intensidade do campo (permanece; não permanece) constante. Como as linhas são paralelas, também a direção e o sentido do campo (se mantêm; não se mantêm) constantes. No campo acima, a direção é (horizontal; vertical) e o sentido é (para a esquerda; para a direita).



permanece; se mantêm; horizontal; para a esquerda

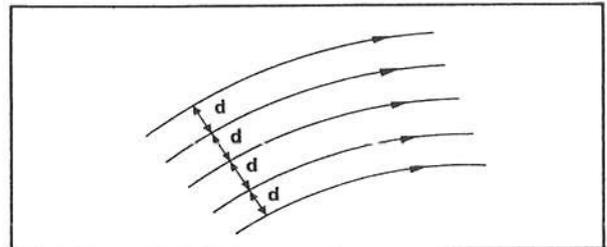
- 6 ■ Admita que o campo elétrico no ponto B seja $E_B = 50 \text{ N/C}$. O campo no ponto A será $E_A =$ _____ e no ponto D, $E_D =$ _____.

50 N/C; 50 N/C

7 ■ Um campo elétrico como o representado no item 5 é dito ser **uniforme**. Um campo elétrico é uniforme quando em qualquer ponto a _____, o _____ e a intensidade _____ . As linhas de força que representam tal campo são _____ e _____ espaçadas.

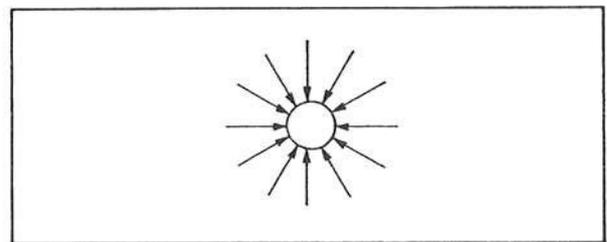
direção; sentido; se mantêm constantes; paralelas; igualmente

8 ■ O campo elétrico representado ao lado (é; não é) uniforme, pois apesar do espaçamento ser igual a orientação do campo em cada ponto (varia; não varia).



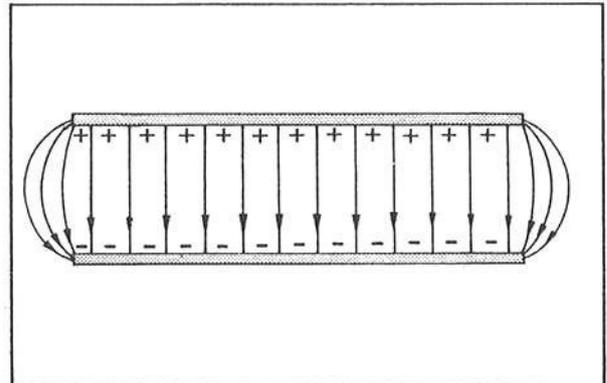
não é; varia

9 ■ O campo elétrico ao redor de uma esfera eletrizada (é; não é) uniforme. Explique: _____



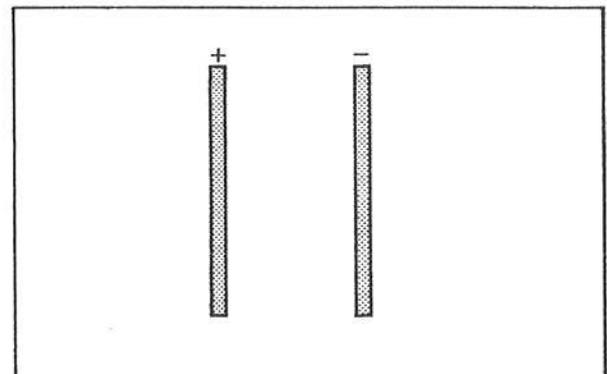
não é; porque, em cada ponto, a direção, o sentido e o valor do campo variam

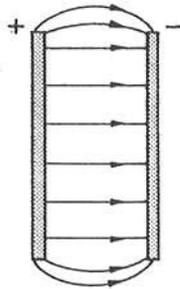
10 ■ A produção de um campo elétrico uniforme é de grande importância prática tanto na Física como na Eletrônica. Podemos obter um campo elétrico uniforme entre duas placas metálicas igualmente eletrizadas, porém com cargas de sinais opostos, e separadas entre si de uma certa distância. Veja a figura ao lado. Podemos observar que o campo elétrico entre as placas é uniforme com exceção da região próxima às bordas. Nesta região, as linhas do campo (são; não são) retilíneas e, portanto, o campo (é; não é) uniforme.



não são; não é

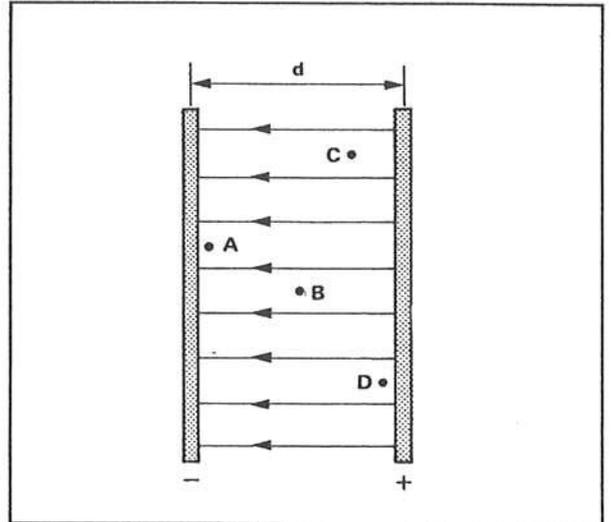
11 ■ Desenhe as linhas de força do campo elétrico entre as placas da figura ao lado. Explique por que nas proximidades das bordas o campo não é uniforme.





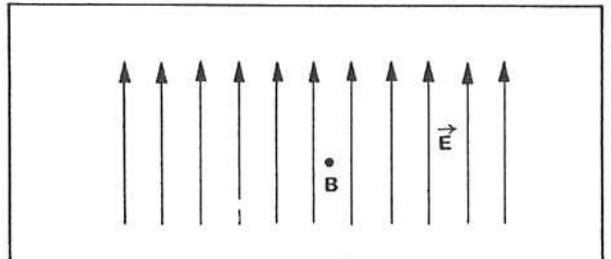
Nas proximidades das bordas o campo não é uniforme em virtude das pontas (mudança de curvatura).

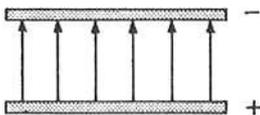
- 12 ■ Você verá mais adiante que um campo deste tipo pode facilmente ser obtido ligando suas placas metálicas aos pólos de uma bateria conveniente. Vamos supor que o campo elétrico entre as placas desenhadas na figura ao lado seja $E = 2,0 \times 10^3 \text{ N/C}$. Já sabemos que o campo elétrico é _____ e portanto (em qualquer ponto; somente próximo à placa negativa; somente próximo à placa positiva) o campo vale $E = 2,0 \times 10^3 \text{ N/C}$. Qual é a força sobre uma partícula com carga $q = 5,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ colocada nos pontos A; B; C e D?



uniforme; em qualquer ponto; em qualquer dos pontos, a força elétrica sobre a carga q vale $F = q \cdot E = 10 \text{ N}$ e está dirigida para a placa negativa.

- 13 ■ O campo elétrico \vec{E} ao lado foi produzido entre duas placas. Desenhe as placas indicando o sinal de suas cargas.





- 14 ■ Se colocarmos no ponto B uma carga positiva q ; ela ficará sob a ação de uma força dada por $F = ____ \cdot ____$ (em termos de q e E) na direção das _____ de _____ do campo elétrico e cujo sentido é (igual ao; oposto ao) das linhas de força. Uma carga negativa no ponto B será acelerada (a favor das; contra as) linhas de força.

q ; E ; linhas; força; igual ao; contra as

- 15 ■ Num campo elétrico uniforme, uma carga positiva é acelerada (no mesmo sentido; no sentido oposto ao) das linhas de força por uma força (variável; constante) dada (pelo produto; pela divisão) da carga pela intensidade do campo elétrico.

no mesmo sentido; constante; pelo produto

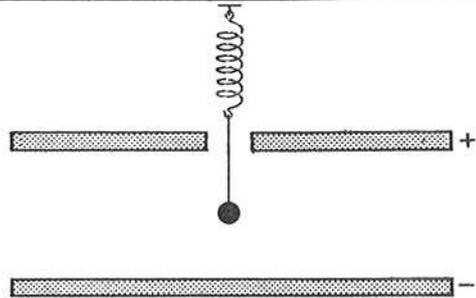
- 16 ■ Num campo uniforme, uma carga $q = 1,0 \times 10^{-6}$ C sofre a ação de uma força elétrica $F = 4,0 \times 10^{-3}$ N, horizontal e para a direita. O campo elétrico valerá $E =$ _____ e é _____ e para a _____. Uma carga negativa $q = -5,0 \times 10^{-3}$ C colocada em qualquer ponto deste campo sofrerá a ação de uma força cujo módulo é $F =$ _____ e é _____ e dirigida para a _____.

$4,0 \times 10^3$ N/C; horizontal; direita; 20 N; horizontal; esquerda

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Uma bolinha de isopor é recoberta por uma substância condutora (grafita, por exemplo) e é ligada a um dinamômetro que registra um peso de 1,0 N. Quando colocada num campo elétrico uniforme de valor $E = 2,0 \times 10^4$ N/C, o dinamômetro passa a acusar 2,0 N. Determine a carga elétrica existente na bolinha.



- 1 ■ Quando a bolinha eletrizada é posta entre as placas, a mola do dinamômetro exerce sobre ela uma força de 2,0 N para cima. Sobre a bolinha, para baixo, atuam o seu peso que é de 1,0 N e a força do campo elétrico. Como o sistema está em equilíbrio, podemos deduzir que a força do campo elétrico vale $F =$ _____ e está dirigida para _____.

1,0 N; baixo

- 2 ■ A força do campo elétrico está dirigida para a placa (negativa; positiva). Portanto, a carga em excesso na bolinha deve ser (negativa; positiva).

negativa; positiva

- 3 ■ A força do campo elétrico é dada pela expressão: $F =$ _____. Logo, como $E =$ _____ N/C e $F =$ _____ N, a carga $q =$ _____.

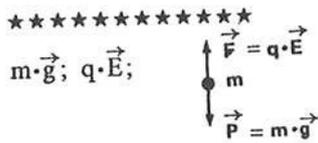
$q \cdot E$; $2,0 \times 10^4$; 1,0; $5,0 \times 10^{-5}$ C

PROBLEMA 2

Na figura ao lado, $m = 1,0 \times 10^{-8}$ kg representa uma gotinha de óleo. O campo elétrico entre as placas vale $E = 2,0 \times 10^4$ N/C. Considere $g = 10$ N/kg. Qual deve ser a carga na gotinha para que ela fique em equilíbrio?



- 1 ■ Duas forças atuam sobre a gotinha: o peso $\vec{P} =$ _____ (em termos de m e \vec{g}) e a força do campo elétrico, $\vec{F} =$ _____ (em termos de q e \vec{E}).
Esquematize ao lado a gotinha e as forças sobre ela.



- 2 ■ A força do campo elétrico está dirigida para a placa (positiva; negativa), pois a carga na gotinha é _____.

negativa; positiva

- 3 ■ Como a gotinha está em equilíbrio, temos a igualdade entre a força do campo elétrico e a força do campo gravitacional ou o peso da gotinha. Portanto, $F_e = F_g$ ou _____ = _____ (em termos de q , E , m e g).

$q \cdot E$; $m \cdot g$

- 4 ■ Portanto, a carga $q =$ _____ (em termos de $m \cdot g$ e E).

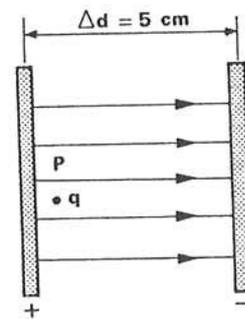
$\frac{m \cdot g}{E}$

- 5 ■ Substituindo-se os valores, tem-se: $q =$ _____ C; mas como o sinal deve ser positivo a resposta final para a carga é $q =$ _____.

$5,0 \times 10^{-12}$; $+5,0 \times 10^{-12}$ C

PROBLEMA 3

Uma partícula de massa $m = 1,0 \times 10^{-6}$ kg e carga $q = 1,0 \times 10^{-4}$ C é abandonada do ponto P próximo à placa positiva de um campo elétrico $E = 1,0 \times 10^3$ N/C (veja a figura ao lado). Com que velocidade a partícula atinge a placa negativa? Desprezar a gravidade e a resistência do ar.



- 1 ■ A carga q é positiva; logo, o campo elétrico a acelerará para a placa negativa. Vamos pensar em termos de energia. A força do campo é a única que atua sobre a partícula, uma vez que estamos desprezando o seu peso e a resistência do ar. A força do campo elétrico atuará sobre a partícula provocando um deslocamento Δd ; portanto, o campo elétrico (realiza; não realiza) trabalho sobre a carga. Este trabalho corresponderá à variação de energia (cinética; potencial gravitacional) da partícula, uma vez que a gravidade foi desprezada. Como a energia cinética inicial é _____, todo o trabalho deve ser igual à energia _____ da partícula ao atingir a placa negativa.

realiza; cinética; nula; cinética

2 ■ Todo o raciocínio desenvolvido no item 1 pode ser expresso pela expressão: $W = \Delta E_c$. Como $E_{c_0} = 0$, $W = E_c$. Mas $W =$ _____ e $E_c =$ _____; logo, _____ = _____.

$$F \cdot \Delta d; \frac{m \cdot v^2}{2}; F \cdot \Delta d; \frac{m \cdot v^2}{2}$$

3 ■ $F \cdot \Delta d = \frac{m \cdot v^2}{2}$. Nesta expressão F é a _____ sobre a carga q ; Δd é a _____ entre as placas; m é a _____ da partícula e v é a _____ com que a partícula _____.

força do campo elétrico; distância; massa; velocidade; atinge a placa negativa

4 ■ Lembrando que a força do campo elétrico é dada por $F =$ _____ (em termos de q e E), a expressão pode ser finalmente escrita como $\frac{m \cdot v^2}{2} =$ _____ (em termos de q , E e Δd).

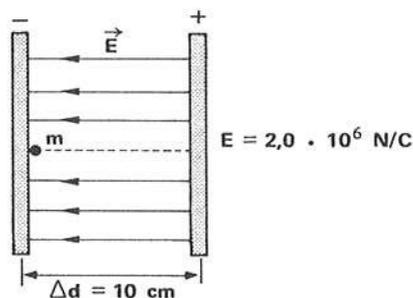
$$q \cdot E; q \cdot E \cdot \Delta d$$

5 ■ Substituindo-se os valores conhecidos na expressão $\frac{m \cdot v^2}{2} = q \cdot E \cdot \Delta d$, teremos $v =$ _____.

$$1,0 \times 10^2 \text{ m/s}$$

PROBLEMA 4

Uma partícula de massa $m = 1,0 \times 10^{-6} \text{ kg}$ e carga $q = -5,0 \times 10^{-6} \text{ C}$ é abandonada da placa negativa do campo ao lado. Qual é a aceleração da partícula e com que velocidade atinge a outra placa? Desprezar a gravidade e a resistência do ar.



1 ■ A força no campo elétrico vale $F =$ _____ N. O sinal negativo significa que o seu sentido é oposto ao da _____.

$$q \cdot E = -10; \text{ linha de força}$$

2 ■ Pela 2ª Lei de Newton a força resultante é $F =$ _____.

$$m \cdot a \text{ (onde } a = \text{ aceleração linear da carga)}$$

3 ■ No caso, a força resultante sobre a partícula é a própria força do campo elétrico, uma vez que a gravidade e a resistência do ar foram desprezados. Portanto, $-10 \text{ N} = m \cdot a$. Substituindo-se o valor de m , teremos:

$$a =$$

$$-10 \times 10^6 \text{ m/s}^2 = -1,0 \times 10^7 \text{ m/s}^2$$

- 4 ■ Vamos interpretar o sinal negativo na aceleração. Adotaremos a seguinte convenção: chamaremos de deslocamento positivo àquele que é realizado a favor das linhas do campo elétrico. Portanto, o eixo dos deslocamentos deve ser orientado da placa _____ para a _____. Como o sinal da aceleração é negativo, isto implica que a força resultante sobre a partícula é orientado (no mesmo sentido da; em sentido oposto à) linha de força.

positiva; negativa; em sentido oposto à

- 5 ■ A partícula em questão, desde a placa negativa até a positiva, realiza um deslocamento de $10 \text{ cm} = 10 \times 10^{-2} \text{ m}$ no sentido (negativo; positivo) do deslocamento. Portanto, $\Delta d =$ _____.

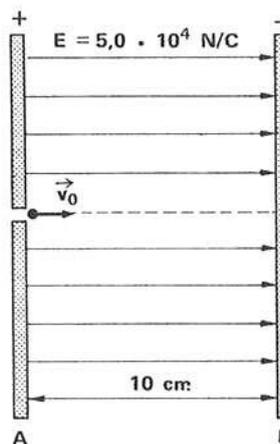
negativo; $-10 \times 10^{-2} \text{ m} = -1,0 \times 10^{-1} \text{ m}$

- 6 ■ Para calcularmos a velocidade vamos utilizar a equação de Torricelli: $v^2 - v_0^2 = 2 \cdot a \cdot \Delta d$. Uma vez que $v_0 =$ _____, substituindo-se os valores conhecidos, $v =$ _____. Interprete o sinal.

0; $-\sqrt{2} \times 10^3 \text{ m/s} \cong -1,4 \times 10^3 \text{ m/s}$. Segundo a convenção, o sinal negativo significa que o movimento se processa no sentido contrário ao das linhas de força.

PROBLEMA 5

Com que energia cinética deveremos lançar, pelo orifício existente na placa A, uma partícula de carga $q = -2,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ para que quando ela atingir a placa B sua velocidade seja zero? Desprezar a força do campo gravitacional e a resistência do ar.



- 1 ■ Vamos raciocinar em termos de energia. A partícula é lançada com energia cinética E_{cA} que desconhecemos; atinge a placa B com energia cinética _____. Portanto, durante o deslocamento Δd que é (positivo; negativo) ela sofre uma variação de energia cinética $\Delta E_c =$ _____ - _____ = _____.

0; positivo; E_{cB} ; E_{cA} ; $-E_{cA}$, pois $E_{cB} = 0$

- 2 ■ Como a carga é negativa a força elétrica sobre a carga atua no (sentido da linha de força; sentido oposto ao da linha de força). Portanto, a força do campo elétrico e o deslocamento possuem sentidos (iguais; opostos); logo, o trabalho da força elétrica será (positivo; negativo).

sentido oposto ao da linha de força; opostos; negativo

- 3 ■ Já sabemos que $W = \Delta E_c$. Vamos calcular o trabalho. A força elétrica é $F =$ _____.
Como o deslocamento é $\Delta d =$ _____ m, $W =$ _____ joules.

$q \cdot E = -1,0 \times 10^2 \text{ N}; 10 \times 10^{-2}; -10$

- 4 ■ Portanto, como $W = \Delta E_c$ e no caso $\Delta E_c = -E_{cA}$ (veja item 1 acima), tem-se: $E_{cA} =$ _____. Logo, para a partícula atingir a placa B com velocidade nula, ela deve ser lançada com energia cinética igual a _____.

10 J; 10 J

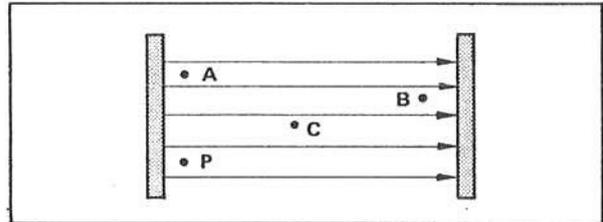
Após isso, você deve estar apto para:

- caracterizar orientação de campo elétrico a partir das linhas de força.
- definir campo elétrico uniforme.
- diferenciar campo elétrico uniforme de não-uniforme.
- caracterizar campo elétrico entre duas placas condutoras paralelas eletrizadas.
- resolver problemas propostos.

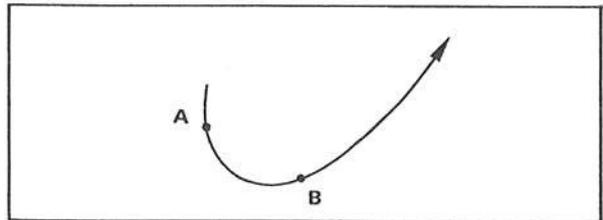
PROBLEMAS A RESOLVER

- Descreva sobre a diferença entre um campo uniforme e um não-uniforme.
- Uma partícula com carga $q = 3 \times 10^{-9} \text{ C}$ é abandonada num campo elétrico uniforme $E = 5,0 \times 10^5 \text{ N/C}$ horizontal e para a direita. Determine o módulo, a direção e o sentido da força elétrica sobre a carga.
- Considere uma bola de pingue-pongue metalizada de massa 10 g e com carga $q = 10^{-9} \text{ C}$. Qual deve ser a intensidade do campo elétrico uniforme entre duas placas, para que a bola fique em equilíbrio neste campo? Considere $g = 10 \text{ N/kg}$ e o sistema num recinto evacuado.

- 4 ■ Considere o campo elétrico entre as duas placas ao lado. Elas se encontram num recinto sem ar. Uma carga $q = 10^{-8} \text{ C}$ no ponto P sofre a ação de uma força $F = 8 \times 10^{-1} \text{ N}$. Determine a direção, o sentido e o valor da força sobre uma carga $q = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$ nos pontos A, B e C. Despreze a gravidade.



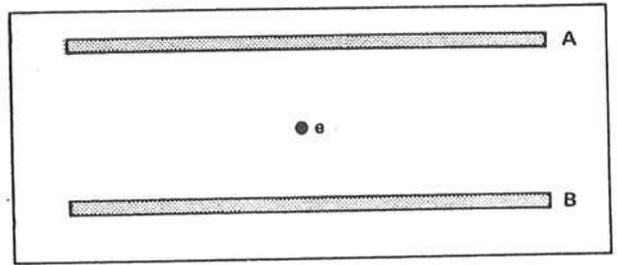
- 5 ■ A linha ao lado representa uma linha de força de um campo elétrico. No ponto A uma carga $q = 10^{-9} \text{ C}$ recebe uma força do campo elétrico de 2,0 N. Com os dados acima você seria capaz de determinar a força sobre a mesma carga colocada agora no ponto B? Justifique.



- 6 ■ Um elétron possui carga $q = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ e massa $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.
- Qual é a força sobre o elétron quando estiver num campo uniforme $E = 5 \times 10^5 \text{ N/C}$, horizontal para a esquerda?
 - Qual é sua aceleração? (Explique o sinal.)

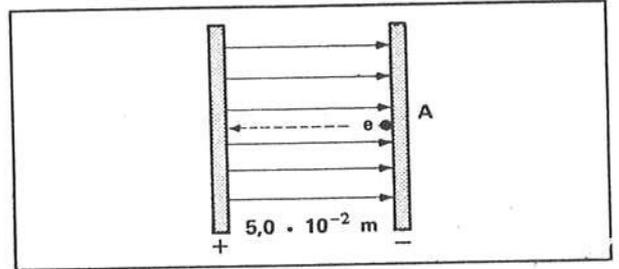
7 ■ A figura ao lado esquematiza duas placas A e B, metálicas e paralelas. Considere o campo gravitacional $g = 10 \text{ N/kg}$ e o sistema no vácuo.

- Qual deve ser a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico entre as placas para que um elétron em seu interior permaneça em equilíbrio?
- Qual é o sinal das cargas em cada placa?

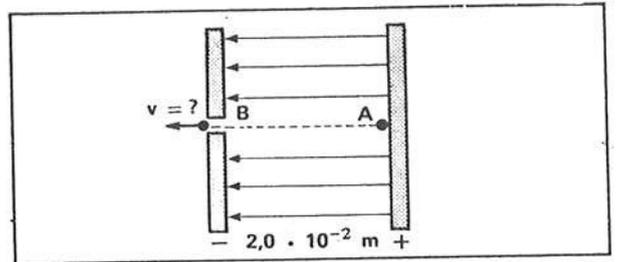


8 ■ Um elétron parte do repouso de um ponto A bem próximo da placa negativa no campo elétrico da figura ao lado. $E = 5,0 \times 10^6 \text{ N/C}$.

- Qual é a força sobre o elétron?
- Qual é o trabalho da força elétrica desde a placa negativa até a positiva?
- Com que energia o elétron atinge a placa positiva?

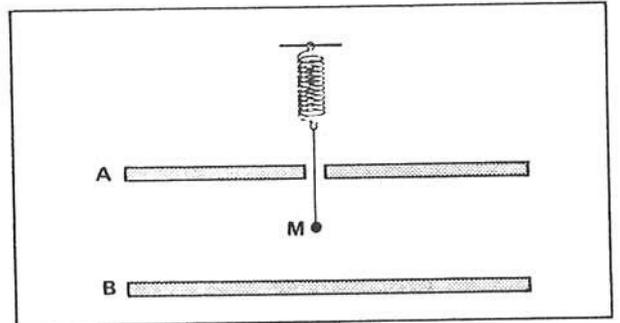


9 ■ Uma partícula de massa $m = 2,0 \times 10^{-5} \text{ kg}$ e com carga $q = 5,0 \times 10^{-6} \text{ C}$ parte do repouso de um ponto A próximo da placa negativa. Se o campo elétrico entre as placas for uniforme e igual a $E = 4,0 \times 10^8 \text{ N/C}$, com que velocidade a partícula passa pelo orifício B conforme mostra a figura? Considere desprezíveis os efeitos do ar e da gravidade.



10 ■ Uma bolinha condutora M tem peso de 1,5 N. Quando eletrizada e colocada no mesmo campo uniforme existente entre as duas placas (figura ao lado), o dinamômetro acusa 1,0 N. O campo elétrico entre as placas vale $E = 5,0 \times 10^6 \text{ N/C}$.

- Qual é a intensidade da força elétrica sobre a bolinha M?
- Qual é a carga da bolinha M?
- Qual é o sinal das cargas nas placas A e B?



RESPOSTAS

- No campo uniforme o vetor campo elétrico é constante em todos os pontos. No campo não-uniforme podem mudar o sentido e a intensidade.
- $1,5 \times 10^{-3} \text{ N}$; horizontal para a direita.
- $1,0 \times 10^8 \text{ N/C}$
- Para todos os pontos: $1,6 \times 10^2 \text{ N}$, horizontal para a direita.
- Só podemos afirmar que no ponto A o campo vale $2,0 \times 10^9 \text{ N/C}$.
- a) $-8,0 \times 10^{-14} \text{ N}$, horizontal para a direita;
b) $-8,8 \times 10^{16} \text{ m/s}^2$, sentido oposto ao do campo.

- a) $5,7 \times 10^{-11} \text{ N/C}$, vertical para baixo;
b) placa A positiva e B negativa.
- a) $8,0 \times 10^{-13} \text{ N}$, horizontal para a esquerda;
b) $4,0 \times 10^{-14} \text{ J}$;
c) energia cinética igual a $4,0 \times 10^{-14} \text{ J}$.
- $2,0 \times 10^3 \text{ m/s}$
- a) $5,0 \times 10^{-1} \text{ N}$;
b) $1,0 \times 10^{-7} \text{ C}$;
c) A negativa, B positiva, se considerarmos a carga da bolinha positiva.

Após ter estudado atentamente esta seção, você deve estar apto para:

- conceituar campo elétrico.
- distinguir campo uniforme de não-uniforme.
- descrever campo elétrico em termos de linhas de força.
- calcular o campo elétrico ao redor de uma carga e de um condutor elétrico de forma esférica.
- descrever o movimento de partículas carregadas em campos elétricos relacionando-o com as linhas de força.
- resolver corretamente os problemas propostos.

SEÇÃO 9 – ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA – POTENCIAL ELÉTRICO

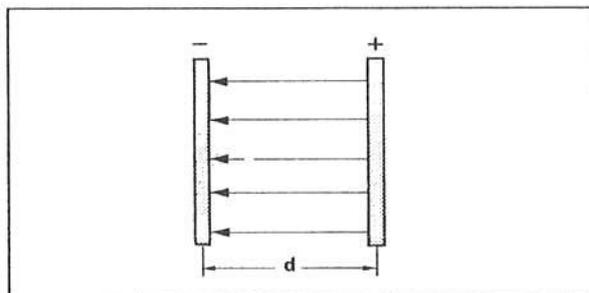
Quando você estudou energia no Capítulo VII – FAI 3 – foi discutida a energia potencial gravitacional de um objeto próximo à superfície da Terra, onde o campo gravitacional podia ser considerado constante. Vimos que quando uma pedra era erguida contra o campo gravitacional a sua energia potencial aumentava.

A energia potencial gravitacional de uma massa m , a uma altura h , relativamente à superfície da Terra, era medida como sendo igual ao trabalho realizado, contra o campo gravitacional, para erguer a massa até aquela altura. Vimos também que esse trabalho realizado não dependia da trajetória; dependia apenas da diferença de nível entre as posições final e inicial, isto é, da altura entre essas posições. Desta forma, o campo gravitacional foi dito ser conservativo.

No estudo das cargas elétricas em repouso, isto é, eletrostática, temos uma situação análoga. Começaremos analisando a energia potencial elétrica no campo uniforme e posteriormente iremos analisá-la no campo ao redor de uma carga e também de uma esfera condutora eletrizada.

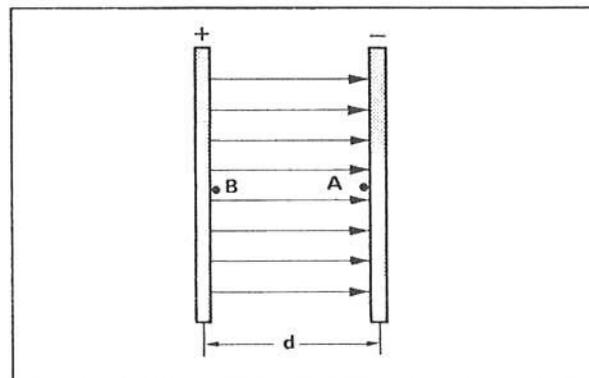
A – ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA EM UM CAMPO UNIFORME

- 1 ■ Considere o campo elétrico uniforme entre duas placas metálicas separadas por uma distância d . Uma carga positiva colocada num ponto entre as placas ficará sujeita a uma força elétrica no sentido de acelerá-la (a favor das; contra as) linhas de forças. Uma carga negativa será acelerada _____ as linhas de força.



a favor das; contra

- 2 ■ Seja o campo elétrico ao lado. Se quisermos mover uma carga positiva q do ponto A até o ponto B, em movimento uniforme, (devemos; não devemos) exercer uma força contra a força do campo elétrico. Esta força deve contrabalançar a força do campo elétrico sobre a carga. Uma situação semelhante seria quando erguemos uma massa m no campo gravitacional.



devemos

- 3 ■ Considere o campo do item 2. Quando a carga positiva é levada de A para B, a força externa aplicada à carga (realiza; não realiza) trabalho. Este trabalho realizado (aumenta; diminui; não altera) a energia potencial (elétrica; gravitacional) da carga.

realiza; aumenta; elétrica

- 4 ■ Uma carga positiva move-se de B para A sob a ação da força do _____ elétrico. Analogamente, uma pedra que cai mover-se-ia sob a ação da força do campo gravitacional. Quando a carga positiva se movimenta de B para A no campo elétrico descrito no item 2, sua energia potencial elétrica (aumenta; diminui).

campo; diminui

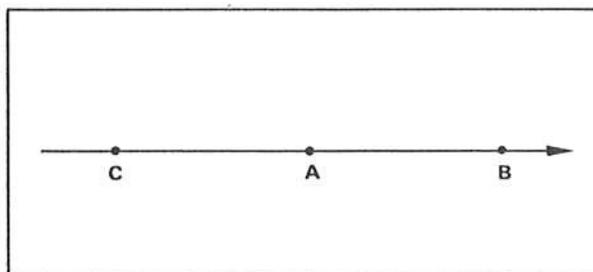
- 5 ■ Quando uma carga q positiva é levada contra as linhas de força do campo elétrico, sua energia potencial elétrica (aumenta; diminui). Se o movimento for favorável ao sentido do campo, sua energia _____ (aumenta; diminui).

aumenta; potencial elétrica; diminui

- 6 ■ Uma carga negativa q comporta-se de maneira oposta a uma carga positiva. Para que a energia potencial elétrica de uma carga negativa q aumente, é necessário que ela seja levada (a favor das; contra as) linhas de força do campo elétrico.

a favor das

- 7 ■ Na figura ao lado está representada uma linha de força de um campo elétrico uniforme. Uma carga elétrica positiva abandonada em A movimenta-se para (C; B), sob a ação da força do campo elétrico. (É; Não é) necessário um trabalho externo para que a carga mova-se de A para B. Uma carga elétrica negativa abandonada em A deslocar-se-á para (B; C), sob a ação da força do campo elétrico.



B; Não é; C

- 8 ■ Considere o campo do item 7. Para levar uma carga elétrica positiva de A para C, (é; não é) necessário trabalho externo sobre a carga. Para que uma carga elétrica negativa seja levada de A para B, (é; não é) necessário um trabalho externo sobre ela.

é; é

- 9 ■ Uma carga positiva no ponto C do campo elétrico do item 7 possuirá energia potencial elétrica maior que no ponto A ou B. Uma carga elétrica negativa no ponto C terá energia potencial elétrica (maior; menor) que no ponto A ou B.

menor

- 10 ■ Se uma carga positiva se desloca no sentido do campo elétrico, sua energia potencial elétrica (diminui; aumenta); uma carga negativa apresentará um comportamento diferente: sua energia potencial diminuirá se for levada (a favor das; contra as) linhas de força.

diminui; contra as

- 11 ■ Podemos, portanto, analogamente ao que foi feito com relação à massa no campo gravitacional, atribuir uma certa energia potencial elétrica a uma carga em qualquer ponto de um campo elétrico. Vamos simbolizar a energia potencial elétrica com E_p . Logo, no ponto A do campo elétrico descrito no item 7, uma carga positiva terá $E_{p(A)}$ (maior; menor) que $E_{p(B)}$.

maior

- 12 ■ Faremos agora a relação entre o trabalho externo e a variação de energia potencial elétrica de uma carga q . Em nosso estudo de energia (Cap. VII – FAI 3), o trabalho foi definido como sendo a medida da variação de energia mecânica (cinética + potencial): $W = \Delta E_c + \Delta E_p$. A mesma definição será aplicada na eletrostática. Portanto, se uma carga positiva for deslocada contra a orientação do campo elétrico e com velocidade constante, sua energia potencial elétrica aumenta enquanto a energia cinética permanece constante; logo, $\Delta E_c = 0$. Este aumento de E_p será (igual ao; diferente do) trabalho mínimo necessário.

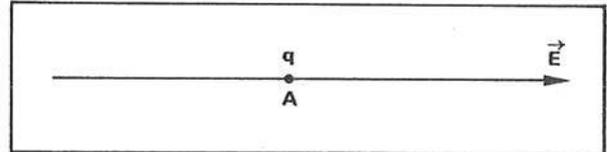
igual ao

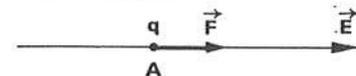
- 13 ■ Portanto, se chamarmos o trabalho externo de W e a variação de energia potencial elétrica de ΔE_p , podemos escrever que $W = \underline{\hspace{2cm}}$, pois $\Delta E_c = 0$.

ΔE_p

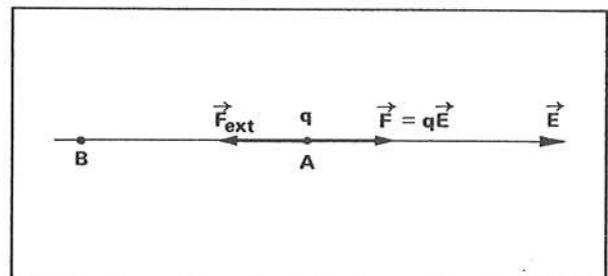
- 14 ■ Nos itens que se seguem, iremos então relacionar a variação de energia potencial elétrica de uma carga q com o deslocamento Δd , com o campo elétrico \vec{E} e com a carga q .

A figura ao lado representa uma das linhas de força de um campo elétrico uniforme de valor \vec{E} . Uma carga positiva q no ponto A ficará sujeita a uma força \vec{F} , cujo módulo é dado por $F = \underline{\hspace{2cm}}$. Desenhe o vetor que representa esta força.



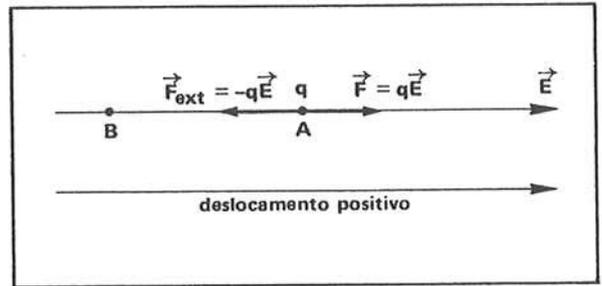
$q \cdot E$; 

- 15 ■ Para deslocar a carga positiva do ponto A para o ponto B, com velocidade constante, devemos aplicar uma força externa \vec{F}_{ext} , cujo módulo tem que ser (igual ao; menor que o; maior que o) módulo da força \vec{F} do campo elétrico. Porém, o sentido da força externa deve ser (oposto; igual) ao da força do campo. Portanto, a força externa $F_{ext} = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de q e E).



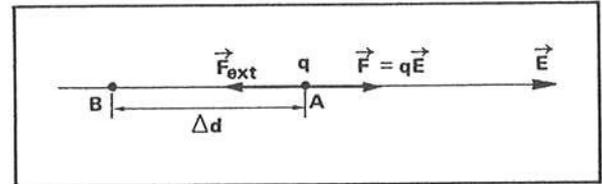
igual ao; oposto; $-q \cdot E$

- 16 ■ $F_{\text{ext}} = -q \cdot E$. O sinal é negativo pelo fato desta força ter (sentido oposto ao; o mesmo sentido) da força do campo elétrico $F = q \cdot E$. A força externa será responsável pelo deslocamento da carga positiva q de A até B. Devemos orientar o eixo dos deslocamentos (no mesmo sentido das; no sentido oposto ao das) linhas de força.



sentido oposto ao; no mesmo sentido das

- 17 ■ Vamos chamar o deslocamento desde A até B de Δd . Veja a figura anexa. O trabalho externo será dado por $W = F_{\text{ext}} \cdot \Delta d$; mas, como $F_{\text{ext}} = -q \cdot E$, $W =$ _____



$-q \cdot E \cdot \Delta d$

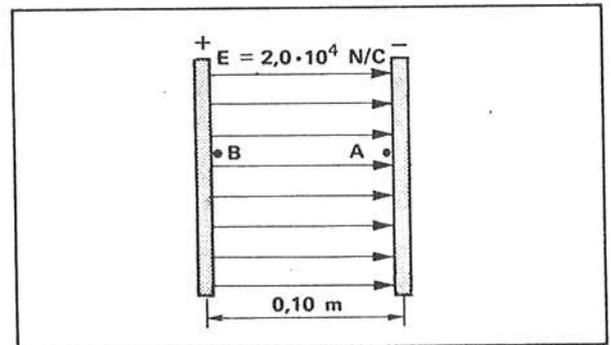
- 18 ■ $W = -q \cdot E \cdot \Delta d$. Já vimos que $W = \Delta E_p$ quando o trabalho é mínimo, isto é, (com; sem) variação de energia cinética. Logo, $\Delta E_p =$ _____ (em função de carga, campo e deslocamento).

sem ($\Delta E_c = 0$); $-q \cdot E \cdot \Delta d$

- 19 ■ Portanto, a variação de energia potencial elétrica de uma carga q positiva é dada pela expressão $\Delta E_p =$ _____ . Tal expressão foi deduzida para uma carga positiva. Porém, ela é válida também para uma carga negativa.

$-q \cdot E \cdot \Delta d$

- 20 ■ Seja o campo elétrico esquematizado na figura ao lado. Uma carga $q = 2,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ é deslocada do ponto A até o ponto B. No caso, o deslocamento da carga q será $(-0,10; +0,10) \text{ m}$, pois o eixo dos deslocamentos é orientado no _____ das linhas de força e o deslocamento é no sentido contrário.



$-0,10$; mesmo sentido

- 21 ■ A variação de energia potencial elétrica da carga q quando movida de A para B vale então: $\Delta E_p =$ _____

$$\Delta E_p = -q \cdot E \cdot \Delta d = -(2,0 \times 10^{-3} \text{ C}) \cdot (2,0 \times 10^4 \text{ N/C}) \cdot (-0,10 \text{ m}) = 4,0 \text{ J}$$

- 22 ■ Podemos verificar que o resultado está coerente com as nossas interpretações iniciais. A carga q foi levada contra o campo elétrico e portanto a sua energia potencial elétrica aumentou. Quando a variação de E_p é positiva significa que a energia potencial elétrica (aumenta; diminui).

aumenta

- 23 ■ Vejamos agora se a expressão também é válida para uma carga negativa. Retome o campo do item 20. Qual é o trabalho e a variação de energia potencial elétrica de uma carga $q = -2,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ quando levada de B para A? O deslocamento é (positivo; negativo), pois é feito no _____ das linhas de força. Logo, $\Delta d =$ _____ m.
- *****
- positivo; sentido; 0,10
- 24 ■ Portanto, aplicando a expressão, $\Delta E_p =$ _____.
- *****
- 4,0 J
- 25 ■ Como $W = \Delta E_p$, o trabalho realizado sobre a carga é no mínimo $W =$ _____.
- *****
- 4,0 J
- 26 ■ Novamente o resultado está coerente com nossas interpretações prévias. Ou seja, uma carga negativa (aumenta; diminui) sua energia potencial elétrica quando levada a favor do campo elétrico. $\Delta E_p = 4,0 \text{ J}$ (confirma; não confirma) a previsão.
- *****
- aumenta; confirma
- 27 ■ Podemos afirmar então que (só para cargas negativas; só para cargas positivas; tanto para cargas negativas como positivas) o trabalho ou a variação de energia potencial elétrica é dada pela expressão: _____.
- *****
- tanto para cargas negativas como positivas; $-q \cdot E \cdot \Delta d$
- 28 ■ Na expressão $-q \cdot E \cdot \Delta d$, o deslocamento Δd será positivo se for (contra as; a favor das) linhas de força do campo elétrico e será negativo se for _____.
- *****
- a favor das; contra o campo elétrico

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

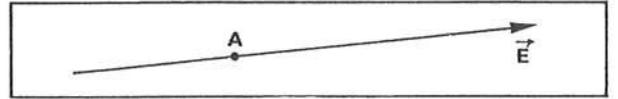
- 1 ■ Num campo elétrico uniforme, qual é a expressão que define a variação de energia potencial elétrica de uma carga q ?
- 2 ■ Discuta o sinal do deslocamento.
- 3 ■ Por que o trabalho mínimo é igual a ΔE_p e não a $\Delta E_p + \Delta E_c$?
- 4 ■ Quando uma carga positiva é deslocada contra o sentido do campo elétrico, o que acontece com sua E_p ?
- 5 ■ Quando um elétron se movimenta a favor das linhas de força, o que acontece com sua E_p ?

Após isso, você deve estar apto para:

- conceituar variação de energia potencial elétrica.
- definir trabalho para deslocar uma carga num campo uniforme: $W = -q \cdot E \cdot \Delta d$.
- definir variação de energia potencial: $\Delta E_p = -q \cdot E \cdot \Delta d$.
- resolver problemas propostos.

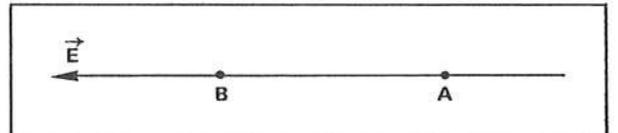
PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Uma carga positiva q é abandonada em A no campo elétrico uniforme representado ao lado por uma de suas linhas de força.



- Que força atua sobre a carga?
 - A força é do campo elétrico ou é externa ao campo?
 - Em que sentido ela atua?
 - Durante o movimento, a carga positiva q se movimenta, sob a ação do campo elétrico, para pontos onde sua energia potencial elétrica é cada vez maior ou menor? Explique.
- 2 ■ Num campo elétrico uniforme $E = 3,0 \times 10^5$ N/C, uma carga $q = 2,0 \times 10^{-3}$ C é deslocada, com velocidade constante, por uma distância $\Delta d = 10$ cm. O deslocamento se dá ao longo de uma linha de força e é contrário à sua orientação.
- A força necessária para o deslocamento é a do campo ou externa?
 - Qual é o trabalho realizado?
 - Qual é a variação da energia cinética ΔE_c da carga?
 - Qual é a variação da energia potencial elétrica ΔE_p da carga?

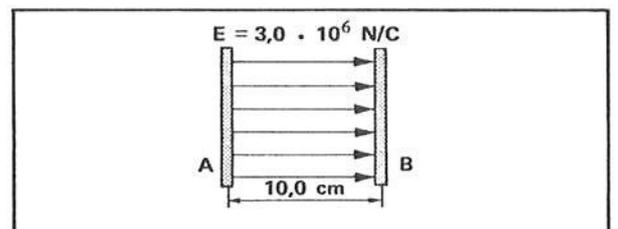
- 3 ■ Uma carga $q = 4,0 \times 10^{-6}$ C é abandonada no ponto A do campo esquematizado ao lado. O campo elétrico é uniforme e vale $E = 4,0 \times 10^5$ N/C. O ponto B dista 10 cm do ponto A.



- A força que desloca a carga é externa ou é a do campo elétrico?
 - Qual é a variação de E_p da carga q quando se move de A para B?
 - Com que energia cinética a carga q passa por B?
- 4 ■ Uma partícula com carga de $3,0 \times 10^{-9}$ C é atraída para a esquerda por um campo elétrico. Uma força mecânica a conduz para a direita, de um ponto A até um ponto B, realizando um trabalho de $6,0 \times 10^{-5}$ J e aumentando ao mesmo tempo a energia cinética da partícula de $4,5 \times 10^{-5}$ J. Lembre-se: $W = \Delta E_p + \Delta E_c$
- A partícula foi deslocada com velocidade constante? Por quê?
 - Qual foi a variação da energia cinética ΔE_c ?
 - Qual foi o trabalho total?
 - Qual foi a variação da energia potencial elétrica ΔE_p ?
 - Qual foi o trabalho realizado contra o campo elétrico?

- 5 ■ Quais seriam suas respostas às questões do problema 4 se $\Delta E_c = 0$?

- 6 ■ a) No campo elétrico ao lado, qual é o trabalho mínimo necessário para deslocar um próton ($q = 1,6 \times 10^{-19}$ C) da placa B para a placa A?
- b) Qual é o trabalho mínimo necessário para deslocar um elétron da placa A para a B?



7 ■ Retome o campo descrito no problema 6.

- a) Qual é a força para manter em repouso uma carga $q = 2,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ no campo elétrico? Dê a direção, o sentido e o módulo.
- b) E para conservar em equilíbrio uma carga $q = -2,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ no mesmo campo?
- c) Qual é o trabalho externo necessário para deslocar a carga do item (a) de 2,0 cm contra a orientação do campo elétrico?

8 ■ Uma carga $q = 2,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ é abandonada a 5,0 cm da placa negativa do campo elétrico descrito no problema 6.

- a) Em que sentido ela irá se movimentar?
- b) Qual é a variação ΔE_p ? Interprete o sinal.
- c) A energia cinética aumenta ou diminui? De quanto?
- d) Com que energia cinética a carga atinge a placa negativa?

9 ■ Para deslocar uma carga $q = +5,0 \times 10^{-6} \text{ C}$ do ponto A para o ponto B de um campo elétrico uniforme \vec{E} , é necessário um trabalho de força externa de $4,0 \times 10^{-5} \text{ J}$. A distância entre os pontos é de 4,0 cm.

- a) A carga foi movida contra ou a favor do campo elétrico? Explique.
- b) Qual é o valor do campo \vec{E} ?

RESPOSTAS

- 1 ■ a) $q \cdot E$; b) do campo; c) do campo;
 d) menor; pois a carga é positiva e move-se no sentido do campo.
- 2 ■ a) externa; b) $6,0 \times 10 \text{ J}$; c) nula; d) $6,0 \times 10 \text{ J}$.
- 3 ■ a) do campo; b) $-1,6 \times 10^{-1} \text{ J}$; c) $1,6 \times 10^{-1} \text{ J}$.
- 4 ■ a) não; porque houve variação da E_c ; b) $4,5 \times 10^{-5} \text{ J}$; c) $6,0 \times 10^{-5} \text{ J}$.
 d) $1,5 \times 10^{-5} \text{ J}$; e) $1,5 \times 10^{-5} \text{ J}$.
- 5 ■ a) sim; porque não houve variação da E_c ; b) zero; c) $6,0 \times 10^{-5} \text{ J}$;
 d) $6,0 \times 10^{-5} \text{ J}$; e) $6,0 \times 10^{-5} \text{ J}$.
- 6 ■ a) $4,8 \times 10^{-14} \text{ J}$; b) $4,8 \times 10^{-14} \text{ J}$.
- 7 ■ a) $6,0 \times 10^3 \text{ N}$; horizontal para esquerda;
 b) $6,0 \times 10^3 \text{ N}$; horizontal para direita;
 c) $1,2 \times 10^2 \text{ J}$.
- 8 ■ a) para a direita;
 b) $-3,0 \times 10^2 \text{ J}$; trabalho do campo: negativo;
 c) aumenta; $3,0 \times 10^2 \text{ J}$;
 d) $3,0 \times 10^2 \text{ J}$.
- 9 ■ a) contra; trabalho do operador: positivo
 b) $2,0 \times 10^2 \text{ N/C}$.

B – POTENCIAL ELÉTRICO EM UM CAMPO UNIFORME

1 ■ Já vimos na parte anterior que o trabalho mínimo necessário para mover uma carga q num campo elétrico uniforme \vec{E} é dado pela expressão $W =$ _____.

$-q \cdot E \cdot \Delta d$

2 ■ O trabalho W pode ser positivo ou negativo. Quando positivo, a energia potencial elétrica da carga (aumenta; diminui) e quando negativo a energia potencial elétrica da carga _____.

aumenta; diminui

3 ■ Quando o trabalho for positivo, ele é realizado (por uma força externa; pela força do campo elétrico). Quando o trabalho é realizado pela força do campo elétrico, ele é sempre _____, o que implica que a energia potencial diminui, com o conseqüente aumento da energia cinética.

por uma força externa; negativo

4 ■ O campo elétrico \vec{E} é uma grandeza vetorial. O trabalho é uma grandeza _____, pois não possui orientação. Associada a um campo elétrico, podemos definir uma outra grandeza escalar, diferente de trabalho ou de energia potencial elétrica, porém intimamente relacionada com tais grandezas: diferença de potencial elétrico. A diferença de potencial elétrico entre dois pontos A e B de um campo elétrico é definida como a razão entre o trabalho mínimo realizado e a carga que recebe este trabalho, ou seja, trabalho por unidade de carga. Se W_{AB} for o trabalho mínimo recebido por uma carga q ao se deslocar de A para B, a diferença de potencial elétrico entre A e B é _____.

escalar; $\frac{W_{AB}}{q}$

5 ■ A razão $\frac{W_{AB}}{q}$ define o que denominamos diferença de _____ entre os pontos _____ e _____. No SI de unidades, W é dado em _____ e q em _____. Logo, a diferença de potencial elétrico é expressa em termos de _____.

potencial; A; B; joules; coulombs; $\frac{\text{joules}}{\text{coulombs}} = \text{J/C}$

6 ■ joule/coulomb é unidade de (energia; diferença de potencial elétrico). A diferença de potencial elétrico é uma grandeza amplamente utilizada em eletricidade. Em homenagem a Alexandro Volta, um italiano responsável pela invenção da pilha elétrica, a unidade joule/coulomb foi denominada volt (símbolo: V). Portanto, se dissermos que entre dois pontos de um campo elétrico existe uma diferença de potencial de 10 volts, isto significa que entre estes pontos a diferença de potencial é _____ (joules/coulomb).

diferença de potencial elétrico; 10 J/C

7 ■ Volt é então o nome que se dá à unidade de _____ no SI de unidades. 1,5 J/C é igual a _____ volts.

diferencial de potencial elétrico; 1,5

8 ■ Para deslocar uma carga $q = 4,0 \times 10^{-6}$ C do ponto A para o ponto B, o trabalho realizado contra o campo elétrico é $8,0 \times 10^{-4}$ J. Entre os pontos A e B existe uma diferença de potencial de _____.

$2,0 \times 10^2$ volts ou $2,0 \times 10^2$ J/C

9 ■ Já definimos a diferença de potencial entre dois pontos de um campo elétrico. Isto implica que em cada ponto de um campo elétrico existe um potencial elétrico. Admita dois pontos, A e B. Chamaremos de V_A e V_B o potencial em cada um dos pontos. Uma carga q deslocada de A para B recebe um trabalho W_{AB} . Portanto, a diferença de potencial entre A e B será $V_B - V_A =$ _____.

$$\frac{W_{AB}}{q}$$

10 ■ $V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q}$

Nesta expressão, W_{AB} é o trabalho mínimo que a carga q recebe ao ser deslocada do ponto (A; B) para o ponto (A; B). V_B representa o _____ no ponto B. No ponto A o potencial elétrico é simbolizado por _____. Como $W_{AB} = \Delta E_{p(AB)}$, podemos escrever que $V_B - V_A =$ _____.

A; B; potencial elétrico; V_A ; $\frac{\Delta E_{p(AB)}}{q}$

11 ■ Uma carga $q = 5,0 \times 10^{-3}$ C é deslocada do ponto C para o ponto H em um campo elétrico. Se o trabalho realizado for 10 J, a diferença de potencial entre os pontos é: _____ - _____ = _____ volts.

V_H ; V_C ; $2,0 \times 10^3$

12 ■ $V_H - V_C = 2,0 \times 10^3$ volts. Isto significa que o potencial elétrico no ponto H é (maior; menor) que o potencial no ponto C.

maior

13 ■ $V_2 - V_1 = 500$ volts. Então, $V_1 - V_2 =$ _____.

- 500 volts -

14 ■ $V_N - V_P = \frac{W_{PN}}{q}$. Esta expressão define a _____ de _____ entre os pontos N e P. Quando a carga q é deslocada do ponto _____ para o ponto _____, ela recebe um trabalho mínimo de _____.

diferença; potencial elétrico; P; N; W_{PN}

15 ■ O potencial num ponto A de um campo elétrico é V_A e num ponto B é V_B . O trabalho para deslocar uma carga q de B para A é dado pela expressão: $W_{BA} =$ _____ (em função de V_A , V_B e q).

$q(V_A - V_B)$

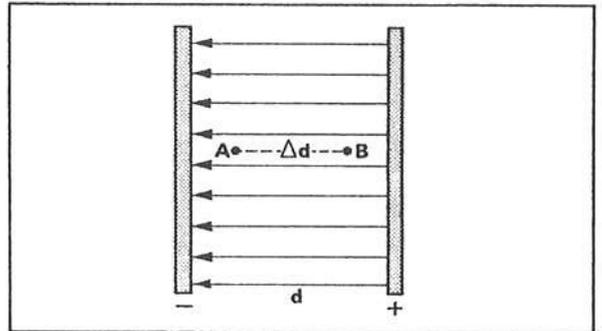
- 16 ■ A diferença de potencial elétrico entre dois pontos, A e B, é $5,0 \times 10^3$ volts. O potencial elétrico em A é maior que em B. O trabalho mínimo para deslocar uma carga $q = 2,0 \times 10^{-3}$ C de B para A vale $W_{BA} =$ _____ . No deslocamento de B para A, a variação na energia potencial elétrica da carga vale $\Delta E_{p(BA)} =$ _____ .

10 J ; 10 J

- 17 ■ Considere a situação descrita no item 16. E se a carga se deslocasse de A para B? Interprete o sinal.

$W_{AB} = q(V_B - V_A) = (-5,0 \times 10^3)(2,0 \times 10^{-3}) = -10$ J. O sinal negativo significa que a energia potencial diminui. O trabalho é feito pela força do campo elétrico.

- 18 ■ Vamos analisar agora a diferença de potencial entre dois pontos de um campo elétrico uniforme. Seja o campo uniforme ilustrado na figura ao lado. O trabalho realizado para deslocar a carga positiva q de A para B é expresso por $W_{AB} =$ _____ (em termos de Δd , q e E) e, portanto, $V_B - V_A =$ _____ .



$-q \cdot E \cdot \Delta d$; $-E \cdot \Delta d$

- 19 ■ $V_B - V_A = -E \cdot \Delta d$. Esta expressão define a diferença de potencial entre os pontos A e B de um campo elétrico (uniforme; não-uniforme), onde E é a intensidade do campo e Δd é o deslocamento entre o ponto inicial _____ e o final _____. Δd pode ser negativo ou positivo, dependendo de ele ser oposto ou favorável ao campo.

uniforme; A; B

- 20 ■ Suponha que a intensidade do campo elétrico no item 18 seja $E = 6,0 \times 10^3$ N/C e que a distância entre as placas seja $\Delta d = 0,10$ m. Qual é a diferença de potencial entre as placas?

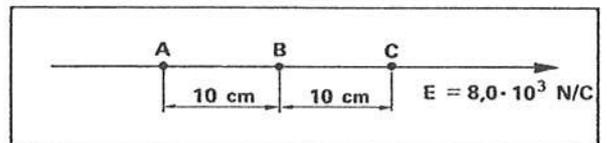
A diferença de potencial é $V_+ - V_-$. Logo, o deslocamento Δd é da placa negativa para a positiva. Portanto, $\Delta d =$ _____ m, pois tem sentido contrário ao do campo elétrico. Logo, $V_+ - V_- =$ _____ volts.

-0,10; $6,0 \times 10^2$

- 21 ■ Do resultado do item 20 podemos concluir que o potencial elétrico da placa positiva é (maior; menor) que o da placa negativa. A diferença de potencial entre a placa negativa e a positiva é, portanto, no caso acima, $V_- - V_+ =$ _____ volts.

maior; $-6,0 \times 10^2$

- 22 ■ Considere o campo uniforme representado ao lado por uma linha de força. Qual é a diferença de potencial entre A e B? $V_B - V_A =$ _____ .



$V_B - V_A = -E \cdot \Delta d = -(8,0 \times 10^3 \text{ N/C})(10 \times 10^{-2} \text{ m}) = -8,0 \times 10^2$ volts. (No caso, $\Delta d = +10 \times 10^{-2}$ m porque o deslocamento de A para B concorda com o sentido da linha de força ou do campo elétrico.)

- 23 ■ Considere o mesmo campo descrito no item 22. Qual é a diferença de potencial entre os pontos C e B?

$$V_B - V_C = \underline{\hspace{2cm}}$$

- $(8,0 \times 10^3 \text{ N/C})(-10 \times 10^{-2} \text{ m}) = + 8,0 \times 10^2 \text{ volts}$ (Agora o deslocamento Δd é negativo porque de C até B o movimento é contra a linha de força.)

- 24 ■ No mesmo campo do item 22, qual é a diferença de potencial entre os ponto A e C?

$$V_C - V_A = -1,6 \times 10^3 \text{ volts}$$

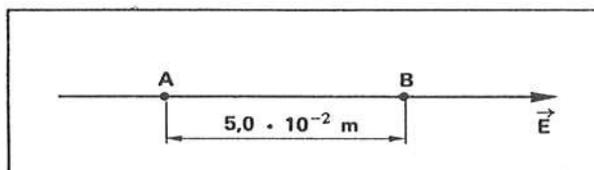
- 25 ■ A expressão $V_B - V_A = -E \cdot \Delta d$ relaciona a diferença de potencial entre os pontos A e B de um campo elétrico uniforme. O deslocamento Δd é medido de (A para B; B para A) e será positivo se (concordar; discordar) com a orientação do campo elétrico e negativo se _____.

A para B; concordar; for contrário ao campo elétrico

- 26 ■ Da expressão da diferença de potencial entre dois pontos A e B de um campo elétrico uniforme, podemos explicitar o valor do campo elétrico. $E = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de V_A , V_B e Δd).

$$E = \frac{V_B - V_A}{-\Delta d} = - \left(\frac{V_B - V_A}{\Delta d} \right)$$

- 27 ■ No campo elétrico uniforme representado ao lado, a diferença de potencial entre os pontos B e A é $V_A - V_B = 2,0 \times 10^3 \text{ volts}$. O valor do campo elétrico é $E = \underline{\hspace{2cm}}$.



$$E = - \frac{2,0 \times 10^3 \text{ volts}}{-5,0 \times 10^{-2} \text{ m}} = 4,0 \times 10^4 \frac{\text{volts}}{\text{m}}$$

- 28 ■ No item 27 o campo elétrico foi determinado como sendo $E = 4,0 \times 10^4 \text{ volts/m}$. Volt/m mede também a intensidade do campo elétrico. Vejamos: volt = J/C, mas $J = \text{N} \cdot \text{m}$; portanto, volt/m = _____.

$$\frac{\text{J}}{\text{m}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{C} \cdot \text{m}} = \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

- 29 ■ Portanto, $50 \text{ volt/m} = 50 \underline{\hspace{2cm}}$.

N/C

- 30 ■ A diferença de potencial entre duas placas condutoras eletrizadas com cargas de mesmo módulo mas de sinais opostos e separadas de 2,0 cm é 100 volts. Determine o campo elétrico entre as placas. Pelos dados do enunciado, $V_+ - V_- = 100 \text{ volts}$, pois a placa positiva está a um potencial (maior; menor) que a negativa. O deslocamento Δd é medido da placa _____ para a _____, contrário, pois, ao campo elétrico. Logo, $\Delta d = \underline{\hspace{2cm}}$. Portanto, $E = \underline{\hspace{2cm}}$.

maior; negativa; positiva; -2,0 cm ou $-2,0 \times 10^{-2} \text{ m}$; $5,0 \times 10^3 \text{ volts/m}$

31 ■ Em relação ao item 30, $V_- - V_+ =$ _____ volts. Neste caso, o deslocamento Δd deve ser medido da placa _____ para a _____, sendo pois concordante com o sentido do campo elétrico. Logo, $\Delta d =$ _____. Portanto, $E =$ _____.

-100; positiva; negativa; $2,0 \times 10^2$ m; $5,0 \times 10^3$ volts/m

32 ■ Para um campo uniforme, vale a expressão $V_2 - V_1 = -E \cdot \Delta d$. Nesta equação, V_2 é o _____ no ponto 2 e V_1 é o _____; E é a intensidade do _____ e Δd é o deslocamento desde o ponto inicial _____ até o ponto final (1; 2). O deslocamento Δd deve ser positivo se (concordar com o sentido; for oposto ao sentido) do campo elétrico e negativo se _____.

potencial elétrico; potencial elétrico no ponto 1; campo elétrico; 1; 2; concordar com o sentido; for oposto ao sentido do campo elétrico

33 ■ Sintetizando, podemos afirmar que, se a diferença de potencial entre dois pontos é $V_B - V_A$, o trabalho mínimo para deslocar uma carga de A para B, sem alterar sua energia cinética, é $W_{AB} =$ _____ e é dado em (J; C; volt/m; volt).

$q(V_B - V_A)$; J

34 ■ Se o trabalho mínimo é $q(V_B - V_A)$, então: $\Delta E_{p(AB)} =$ _____ e $\Delta E_c =$ _____.

$q(V_B - V_A)$; 0

35 ■ Conforme itens precedentes, podemos afirmar também que num campo uniforme \vec{E} a diferença de potencial entre dois pontos A e B, onde Δd é o deslocamento de _____ para _____, é $V_B - V_A =$ _____.

A; B; $-E \cdot \Delta d$

36 ■ Da mesma forma, se a diferença de potencial é $V_B - V_A$, e Δd é o deslocamento de A até B, o campo elétrico é $E =$ _____.

$-\left(\frac{V_B - V_A}{\Delta d}\right)$

37 ■ Se entre duas placas A e B existe uma diferença de potencial $V_B - V_A$ e Δd é a distância entre elas, o campo elétrico é dado por $E =$ _____, onde Δd é o deslocamento de A para B.

$-\left(\frac{V_B - V_A}{\Delta d}\right)$

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ O trabalho mínimo necessário para mover uma carga q num campo uniforme \vec{E} é dado, matematicamente, por _____.
- 2 ■ Diferença de potencial elétrico é definida como:
- o trabalho máximo necessário por unidade de carga.
 - o trabalho mínimo necessário por unidade de carga.
 - a razão entre o trabalho mínimo realizado sobre uma carga e esta carga.
 - as alternativas b e c estão corretas.
- 3 ■ A unidade de potencial elétrico, no SI, é _____.
- 4 ■ Explique o que significa 10 volts.
- 5 ■ Escreva a expressão que define o trabalho realizado sobre uma carga q conhecendo-se a diferença de potencial elétrico ΔV , entre 2 pontos.
- 6 ■ Defina a diferença de potencial elétrico num campo uniforme em função do campo elétrico \vec{E} e da distância Δd ($\Delta d = \overline{AB}$)
- 7 ■ A unidade $\frac{\text{volt}}{\text{m}}$ mede: a. energia potencial elétrica.
b. potencial elétrico.
c. campo elétrico.
d. força elétrica.
- 8 ■ O trabalho mínimo para deslocar uma carga de A para B é dado por: $W_{AB} = q(V_B - V_A)$. Esse trabalho altera a energia cinética da carga q (certo; errado). Justifique sua resposta.

Após isso, você deve estar apto para:

- definir diferença de potencial elétrico entre dois pontos: $V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q}$
- definir a unidade de medida de potencial elétrico no SI de unidades.
- caracterizar potencial elétrico num campo uniforme.
- relacionar campo elétrico uniforme e diferença de potencial nesse campo.
- enunciar as condições de validade da expressão $W = q \cdot \Delta V$
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ O trabalho mínimo para deslocar uma carga $q = 3,0 \times 10^{-6}$ C de um ponto A para um ponto B, num campo elétrico, é $W = 6,0 \times 10^{-5}$ J. Determine a diferença de potencial entre os dois pontos.
- 2 ■ Uma partícula com carga $q = 5,0 \times 10^{-3}$ C ao ser deslocada de um ponto A para um ponto B, em um campo elétrico, varia sua energia potencial elétrica de $\Delta E_{p(AB)} = -8,0$ J.
- Qual é o trabalho mínimo?
 - Qual é a diferença de potencial entre A e B?
- 3 ■ Uma partícula com carga de $3,0 \times 10^{-9}$ C é atraída para a esquerda por um campo elétrico. Uma força mecânica a conduz para a direita, desde um ponto B até um ponto A, realizando um trabalho de $6,0 \times 10^{-6}$ J e aumentando ao mesmo tempo a energia cinética da partícula de $4,5 \times 10^{-6}$ J. Qual é a diferença de potencial entre B e A?
- 4 ■ Numa região do espaço existe um campo uniforme $E = 4,0 \times 10^3$ N/C. Qual é a diferença de potencial entre dois pontos distantes entre si de 10,0 cm? Considere o deslocamento medido no sentido oposto ao campo elétrico.

- 5 ■ Duas placas paralelas separadas de 4,0 cm apresentam uma diferença de potencial de 1 600 volts.
 a) Qual é a intensidade do campo elétrico entre as placas?
 b) Qual é a intensidade da força elétrica sobre uma carga elementar positiva num ponto entre as placas?
- 6 ■ Duas placas metálicas paralelas apresentam uma diferença de potencial de 6,0 volts. Qual deve ser a distância entre elas para que o campo elétrico seja de 300 volts/m?
- 7 ■ A diferença de potencial entre o ponto A e ponto B de um campo elétrico é 12 volts. Qual é o trabalho para levar $5,0 \times 10^{-3}$ coulombs de carga de A para B?
- 8 ■ Dois pontos distantes de 8,0 cm possuem diferença de potencial de 16 volts.
 a) Qual é a intensidade do campo elétrico, suposto uniforme?
 b) Qual é o trabalho para deslocar $4,0 \times 10^{-2}$ coulombs de carga contra o campo elétrico?
- 9 ■ Para se deslocar uma carga $q = 2,0 \times 10^{-9}$ C de um ponto para outro realiza-se um trabalho $W = 2,0 \times 10^{-6}$ J, sem no entanto alterar a energia cinética da carga. Qual é a diferença de potencial entre estes dois pontos?
- 10 ■ Uma carga $q = 3,0 \times 10^{-5}$ C quando se move de um ponto M para um ponto N apresenta uma variação em sua energia cinética de $2,0 \times 10^{-4}$ J e em sua energia potencial elétrica de $3,0 \times 10^{-4}$ J.
 a) Qual foi o trabalho total realizado?
 b) Qual é a diferença de potencial entre M e N?

RESPOSTAS

- | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 ■ $2,0 \times 10$ volts | 4 ■ $4,0 \times 10^2$ volts | 7 ■ $6,0 \times 10^{-2}$ J | 10 ■ a) $5,0 \times 10^{-4}$ J |
| 2 ■ a) -8,0 J | 5 ■ a) $4,0 \times 10^4$ N/C | 8 ■ a) $2,0 \times 10^2$ N/C | b) $1,0 \times 10$ volts |
| b) $-1,6 \times 10^3$ volts | b) $6,4 \times 10^{-15}$ N | b) $6,4 \times 10^{-1}$ J | |
| 3 ■ $5,0 \times 10^2$ volts | 6 ■ 2,0 cm | 9 ■ $1,0 \times 10^3$ volts | |

C – SUPERFÍCIES EQÜIPOTENCIAIS

- 1 ■ Já vimos que para deslocarmos uma carga positiva q de um ponto A para um ponto B, em um campo elétrico, é necessário um trabalho mínimo dado por $W_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$q(V_B - V_A)$$

- 2 ■ Por outro lado, a diferença de potencial $V_B - V_A = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$\frac{W_{AB}}{q} \text{ ou } \frac{\Delta E_{p(AB)}}{q}$$

- 3 ■ $V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q}$. A diferença de potencial entre A e B será zero se o trabalho mínimo for $W_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

zero

- 4 ■ Num caso mais geral o trabalho é dado por $W = F \cdot \Delta d \cdot \cos \theta$ onde θ é o ângulo entre a força e o deslocamento. Se $\theta = 0$, $W = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$F \cdot \Delta d$$

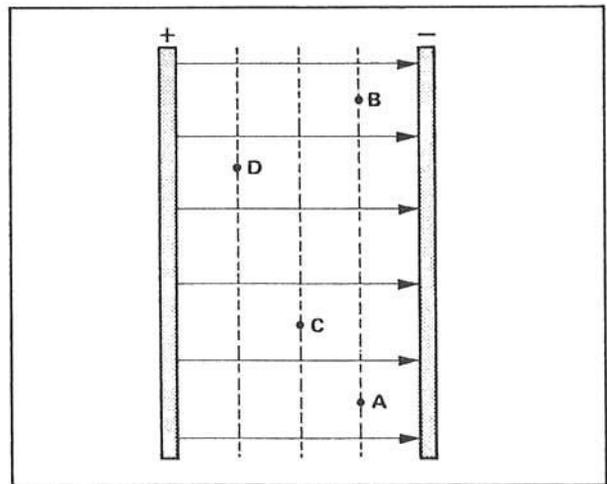
- 5 ■ Já vimos que o trabalho é nulo quando $F = 0$ ou $\Delta d = 0$ ou ainda $\cos \theta = 0$. Se $F \neq 0$ e $\Delta d \neq 0$, a única possibilidade para o trabalho ser nulo é que _____, isto é, o ângulo $\theta =$ _____.

$$\cos \theta = 0; 90^\circ$$

- 6 ■ Em outras palavras, quando uma carga é deslocada de modo que as direções do campo elétrico e do deslocamento são perpendiculares entre si, nenhum trabalho contra o campo elétrico é realizado. Portanto, num campo elétrico, quando uma carga q é deslocada numa direção que faz sempre um ângulo de 90° com as linhas de força, o trabalho $W =$ _____. Nestas condições, a energia potencial elétrica da carga (permanece; não permanece) constante, isto é, $\Delta E_p = 0$.

0; permanece

- 7 ■ Considere o campo elétrico entre as duas placas ao lado. Ele (é; não é) uniforme. Os pontos A e B situam-se numa mesma perpendicular às linhas de força. O trabalho para deslocar uma carga q de A para B é $W =$ _____ porque o deslocamento é perpendicular ao campo elétrico, e nestas condições nenhum trabalho é feito contra o campo elétrico. A analogia gravitacional seria o movimento de uma massa m ao longo de uma mesma horizontal: a energia potencial gravitacional (se altera; não se altera) e portanto nenhum trabalho é feito contra o campo gravitacional.



é; 0; não se altera

- 8 ■ Portanto, se o trabalho para deslocar a carga q entre A e B, com velocidade constante, é $W_{AB} = 0$, a diferença de potencial $V_B - V_A =$ _____.

0 (zero)

- 9 ■ Se $V_B - V_A = 0$, isto implica que $V_B =$ _____.

V_A

- 10 ■ Em outras palavras, o potencial elétrico do ponto A é (igual ao; diferente do) potencial elétrico do ponto B.

igual ao

- 11 ■ Fazendo a mesma análise, qualquer outro ponto pertencente à mesma perpendicular às linhas de força teria o mesmo _____ que os dos pontos A e B.

potencial elétrico

12 ■ Pelo fato de todos os pontos da perpendicular que passa por A e B possuírem o mesmo _____ ela é denominada superfície equipotencial.

potencial elétrico

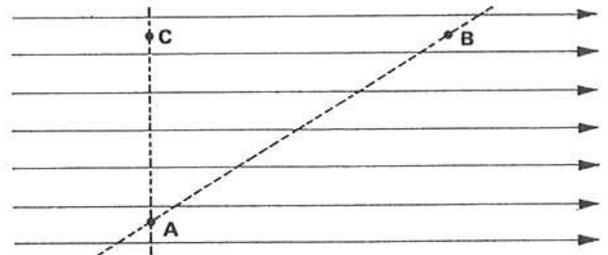
13 ■ Da mesma forma, se o potencial elétrico no ponto C _____ veja a figura do item 7 _____ for V_C (todos; nem todos) os pontos que pertencem à superfície que contém C e que cruza perpendicularmente às linhas de força possuem potencial elétrico igual a V_C . Esta superfície (é; não é) uma superfície equipotencial

todos; é

14 ■ A superfície que passa por D e que cruza perpendicularmente às linhas do campo elétrico ilustrado no item 7 (é; não é) uma outra superfície equipotencial. Nesta superfície, todos os pontos possuem potencial elétrico (igual ao; diferente do) do ponto D.

é; igual ao

15 ■ Na figura ao lado, a superfície que passa por A e B (é; não é) uma superfície equipotencial; pois ela (é; não é) perpendicular ao campo elétrico. A superfície que contém A e C é uma _____, pois ela é _____.



não é; não é; superfície equipotencial; perpendicular ao campo elétrico

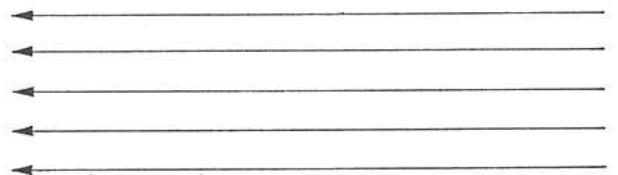
16 ■ Numa superfície equipotencial todos os pontos possuem o _____ e ela é _____ ao campo elétrico.

mesmo potencial elétrico; perpendicular

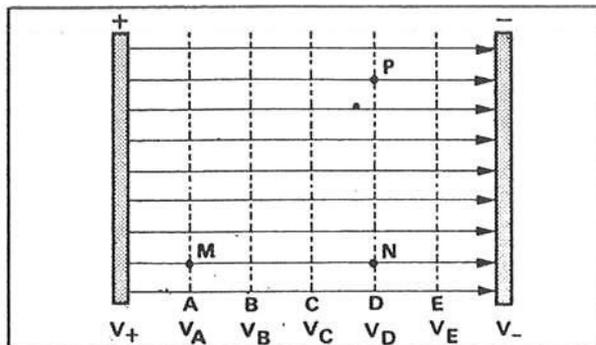
17 ■ Entre dois pontos de uma mesma superfície equipotencial, a diferença de potencial é _____ e o trabalho para deslocar uma carga nesta superfície é _____, não havendo portanto variação na energia potencial elétrica da carga.

zero; zero

18 ■ O conceito de superfície equipotencial nos permite ilustrar o campo elétrico em termos destas superfícies ao invés das linhas de força. Represente o campo ao lado com algumas superfícies equipotenciais com linhas pontilhadas.



- 19 ■ Na figura ao lado, as linhas pontilhadas no campo elétrico representam algumas _____
 _____. A superfície de cada placa (é; não é) uma superfície eqüipotencial, pois ela é perpendicular às linhas de força. Já vimos que a placa positiva possui potencial elétrico (maior; menor) que a negativa.



superfícies eqüipotenciais; é; maior

- 20 ■ Se a placa positiva possui potencial elétrico maior que a negativa, o potencial elétrico em um campo elétrico (diminui; aumenta) à medida que se afasta da placa positiva, isto é, à medida que se caminha (no mesmo sentido; em sentido oposto ao) das linhas de força.

diminui; no mesmo sentido

- 21 ■ Portanto, no campo descrito no item 19, o potencial elétrico na superfície eqüipotencial A é (maior; menor) que na superfície C.

maior

- 22 ■ Vamos analisar agora o trabalho mínimo necessário para deslocar uma carga q do ponto P até o ponto M, no campo do item 19. Primeiramente, analisaremos o trabalho ao longo do trajeto que vai de P até N e de N até M. O trabalho de P até N é $W_1 = 0$ porque o deslocamento se dá numa mesma _____
 _____. O trabalho de N até M (é; não é) nulo, pois o deslocamento ocorre de uma superfície eqüipotencial a outra. O ponto M pertence à superfície eqüipotencial A. Possui, portanto, potencial _____. Logo, o trabalho de N até M é dado pela expressão $W_2 =$ _____. Finalmente, por este primeiro trajeto o trabalho total será a soma dos trabalhos W_1 e W_2 . Logo, $W = W_1 + W_2 =$ _____.

superfície eqüipotencial; não é; V_A ; $q(V_A - V_D)$; $q(V_A - V_D)$

- 23 ■ Logo, pelo trajeto PNM o trabalho é dado por $W = q(V_A - V_D)$. Analisando a expressão verificamos que ele depende apenas da carga e dos potenciais dos pontos inicial e final. O trabalho ao longo do trajeto direto P a M seria $W =$ _____.

$q(V_A - V_D)$

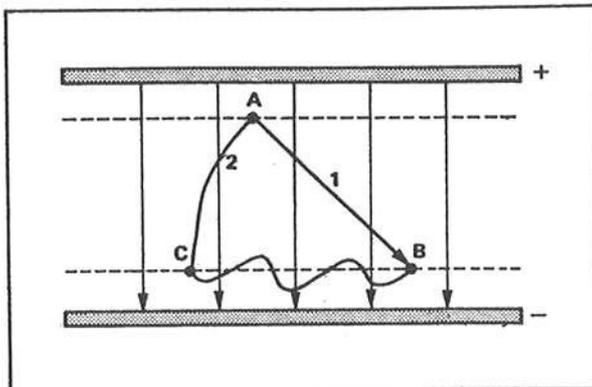
- 24 ■ Portanto, tanto pelo trajeto PNM como pelo PM o trabalho mínimo para deslocar a carga q depende da carga q e dos potenciais dos pontos M e P. O trabalho no campo elétrico (depende; não depende) da trajetória. Em vista disso, o campo elétrico é dito ser conservativo.

não depende

- 25 ■ O campo elétrico é um campo conservativo porque o trabalho para deslocar uma carga q de um ponto para outro _____ da trajetória.

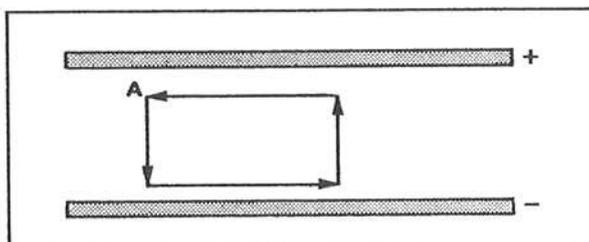
não depende

- 26 ■ No campo ao lado, o trabalho para deslocar uma carga q de A para B pelo trajeto 1 é $W_1 = 20 \text{ J}$. Qual é o trabalho para deslocar a mesma carga pelo trajeto 2? Justifique.



É também 20 J, pois o campo elétrico é conservativo: o trabalho não depende da trajetória.

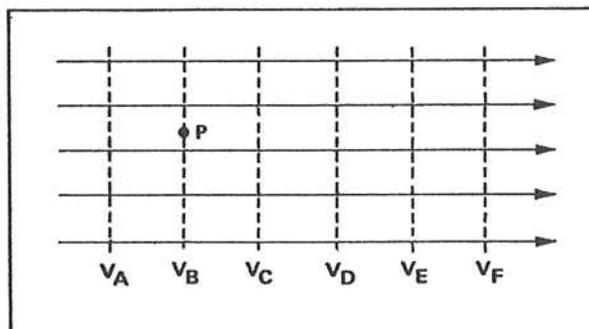
- 27 ■ Qual é o trabalho total para deslocar uma carga q seguindo o trajeto indicado na figura ao lado. Admita que não existe variação na energia cinética.



zero. A carga saiu de um ponto e chegou ao mesmo ponto. Se os pontos inicial e final coincidem, a diferença de potencial é nula e, portanto, o trabalho contra o campo é nulo.

- 28 ■ Nos itens que se seguem iremos discutir o movimento de cargas num campo elétrico.

Uma partícula com carga positiva abandonada no ponto P do campo elétrico ao lado, sob a ação da força do campo, irá se movimentar para ponto de (potencial maior; potencial menor), isto é, o movimento se dá no sentido das _____



potencial menor; linhas de força

- 29 ■ Uma carga positiva, sob a ação exclusiva do campo elétrico, tende sempre a atingir pontos de potencial elétrico (máximo; mínimo). A analogia gravitacional seria uma pedra que cai sob a ação da gravidade: ela tende sempre a atingir pontos de energia potencial menor.

mínimo

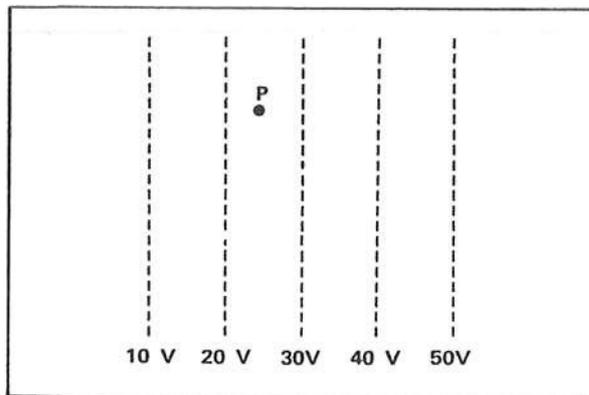
- 30 ■ Se colocarmos uma carga negativa no ponto P do campo esquematizado no item 28, sob a ação da força do campo elétrico, ela irá se movimentar para pontos onde o potencial elétrico é (menor; maior).

maior

- 31 ■ Uma carga negativa tende a buscar região de potencial elétrico (máximo; mínimo).

máximo

- 32 ■ As linhas pontilhadas ao lado representam as superfícies eqüipotenciais de um campo elétrico. Trace algumas linhas de força do campo elétrico. Se abandonarmos uma carga positiva em P, ela se movimentará para a (direita; esquerda) e uma carga negativa movimentar-se-á para a _____, sob a ação do campo elétrico.

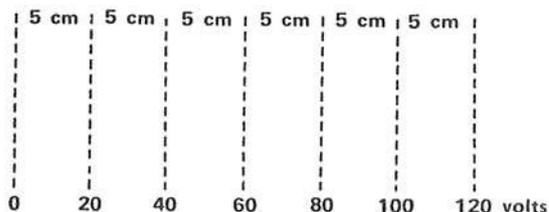


esquerda; direita

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Qual é a intensidade do campo elétrico representado ao lado por algumas de suas superfícies eqüipotenciais?



- 1 ■ O campo elétrico (é; não é) uniforme, pois as superfícies eqüipotenciais são paralelas entre si. O sentido do campo elétrico é da _____ para a _____.

é; direita; esquerda

- 2 ■ Se o campo é uniforme, podemos aplicar a expressão $E =$ _____.

$$= \frac{V_B - V_A}{\Delta d}$$

- 3 ■ Na expressão acima, o deslocamento Δd é medido de (A para B; B para A). No campo ilustrado acima, o deslocamento positivo é (da direita para a esquerda; da esquerda para a direita).

A para B; da direita para a esquerda

- 4 ■ Vamos escolher, por exemplo, $V_A = 100$ volts e $V_B = 80$ volts. O deslocamento $\Delta d =$ _____ m. Portanto, $E =$ _____.

$5,0 \times 10^{-2}$; $4,0 \times 10^2$ volts/m

- 5 ■ Quaisquer que fossem os dos potenciais escolhidos, devemos ter a mesma resposta para o campo elétrico, pois ele é _____. Se $V_A = 20$ volts e $V_B = 60$ volts, $\Delta d =$ _____ m e $E =$ _____. (Compare com o resultado do item 4.)

uniforme; -10×10^{-2} ; $4,0 \times 10^2$ volts/m

PROBLEMA 2

Qual é o campo elétrico entre duas placas paralelas, se a diferença de potencial entre elas é 90 volts e a distância entre elas é $\Delta d = 1,0$ cm?

- 1 ■ Se a diferença de potencial entre as placas é 90 volts, isto significa que $(V_+ - V_-) =$ _____.

90 volts

- 2 ■ Logo, o campo elétrico $E =$ _____ (em termos de V_+ ; V_- ; Δd).

$$- \frac{V_+ - V_-}{\Delta d}$$

- 3 ■ O deslocamento Δd deve ser medido da placa negativa para a positiva, pois a diferença de potencial é $(V_+ - V_-)$. Se a diferença de potencial fosse $(V_- - V_+)$, o deslocamento Δd seria medido da placa _____ para a _____.

positiva; negativa

- 4 ■ As linhas de força são orientadas para a placa negativa. Como o deslocamento é medido no sentido contrário, $\Delta d = (1,0 \times 10^{-2}$; $-1,0 \times 10^{-2})$ m.

$-1,0 \times 10^{-2}$

- 5 ■ Portanto, $E =$ _____.

$9,0 \times 10^3$ volts/m

PROBLEMA 3

No campo elétrico uniforme esquematizado ao lado por uma linha de força, uma partícula com carga $q = 2,0 \times 10^{-3}$ C é abandonada em A. Com que energia cinética a partícula passa por B?



2 ■ A carga de um elétron é $q = -1,6 \times 10^{-19}$ C e $(V_+ - V_-) =$ _____ volts.

6,0

3 ■ Logo, $\Delta E_p =$ _____ J

$-9,6 \times 10^{-19}$

4 ■ O elétron apresenta, neste evento, uma variação de energia potencial elétrica negativa. Isto implica que o trabalho foi realizado pela força (externa; do campo elétrico) e a energia cinética do elétron (aumentou; diminuiu) de _____.

do campo elétrico; aumentou; $9,6 \times 10^{-19}$ J

PROBLEMA 5

No problema 4, se a massa de um elétron é $m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg, com que velocidade ele atinge a placa positiva?

1 ■ O elétron saiu da placa negativa com velocidade zero, portanto com energia cinética igual a zero. Como o aumento de energia cinética foi de $9,6 \times 10^{-19}$ J, a energia cinética com que o elétron atinge a placa positiva é $E_c =$ _____ J.

$9,6 \times 10^{-19}$

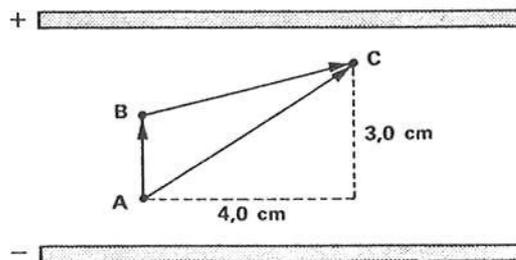
2 ■ Como $E_c =$ _____ (em termos de m e v), então $v =$ _____.

$$\frac{mv^2}{2}; \cong 1,5 \times 10^6 \text{ m/s}$$

PROBLEMA 6

No campo elétrico entre as duas placas metálicas esquematizadas ao lado, uma carga $q = -2 \times 10^{-4}$ C é deslocada de A até C. A intensidade do campo elétrico entre as placas é $E = 400$ N/C.

- Qual é o trabalho para efetuar o deslocamento segundo a trajetória $A \rightarrow B \rightarrow C$?
- Qual é o trabalho segundo a trajetória $A \rightarrow C$?



1 ■ Já vimos que o campo elétrico é um campo conservativo, isto é, o trabalho mínimo, ou a variação de energia potencial elétrica, não depende da trajetória. Depende apenas dos potenciais dos pontos inicial e final e da carga deslocada. Em qualquer das duas trajetórias propostas o ponto inicial é _____ e o ponto final é _____; portanto, segundo qualquer das trajetórias o trabalho deve ser (o mesmo; diferente).

- 5 ■ Qual é a variação de energia potencial elétrica da carga q quando deslocada ao longo de uma mesma superfície equipotencial?
- 6 ■ A variação de energia potencial elétrica que uma carga q pode apresentar quando deslocada de um ponto A para um ponto B, em um campo elétrico, depende da trajetória?
- 7 ■ Por que o campo elétrico, assim como o gravitacional, é denominado campo conservativo?
- 8 ■ Descreva o movimento de uma carga positiva, sob a ação de um campo elétrico, em termos dos valores das superfícies equipotenciais.
- 9 ■ Uma carga negativa, sob a ação de um campo elétrico, movimenta-se para potenciais cada vez maior ou menor? Explique.
- 10 ■ Demonstre que volt/m é também unidade de campo elétrico.

Após isso, você deve estar apto para:

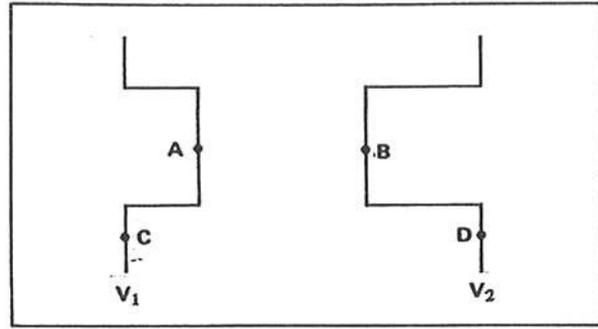
- a. caracterizar superfície equipotencial.
- b. definir trabalho ao longo de uma superfície equipotencial.
- c. definir campo elétrico conservativo.
- d. identificar o sentido do movimento de cargas em um campo elétrico em termos de potencial elétrico.
- e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Entre dois pontos existe uma diferença de potencial de 2 000 volts. Qual é a variação de energia potencial elétrica de um elétron, quando deslocado entre dois pontos:
 - a) do potencial maior para o menor;
 - b) do potencial menor para o maior;
 - c) a favor do campo elétrico;
 - d) contra o campo elétrico.
- 2 ■ Duas placas metálicas paralelas separadas de 2,0 cm apresentam uma diferença de potencial de 1 600 volts. Elas se encontram no vácuo.
 - a) Qual é a intensidade do campo elétrico entre as placas?
 - b) Qual é a força sobre uma carga $q = 2 \times 10^{-6}$ C num ponto entre as placas?
 - c) Se a carga q for abandonada próximo à placa positiva, com que energia cinética ela atinge a placa negativa?
 - d) Se uma carga $q = -2 \times 10^{-6}$ C for abandonada próximo à placa negativa, com que energia cinética ela atinge a placa positiva?
- 3 ■ Qual deve ser a diferença de potencial elétrico para que uma carga $q = 5,0 \times 10^{-6}$ C adquira uma energia cinética de $2,0 \times 10^{-1}$ J a partir do repouso?
- 4 ■ A diferença de potencial elétrico entre duas placas metálicas paralelas separadas de 10,0 cm é de 30 volts.
 - a) Qual é a intensidade do campo elétrico entre as placas?
 - b) Se a mesma diferença de potencial for mantida, qual é o valor do campo elétrico se a distância for reduzida para 2,0 cm?
- 5 ■ O campo elétrico entre duas placas metálicas paralelas separadas de 5,0 cm é de 50 N/C. Qual é a diferença de potencial entre as placas?

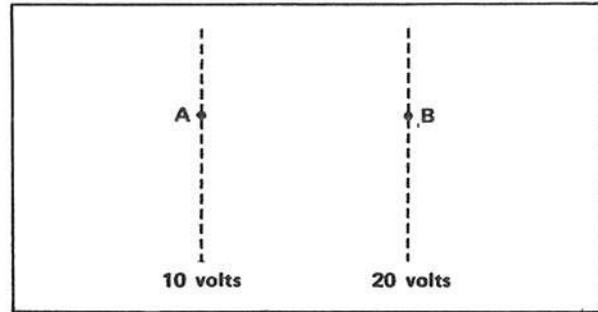
6 ■ Na figura anexa estão representadas duas superfícies equipotenciais cujos potenciais são V_1 e V_2 .

- Qual é a diferença de potencial entre A e B?
- Idem, entre D e C?
- Idem, entre A e D?
- Qual é o trabalho mínimo para deslocar uma carga q positiva de A até C?
- Idem, de A até B?
- Idem, de A até D?



7 ■ Na figura ao lado tem-se duas superfícies equipotenciais de um campo elétrico uniforme.

- Qual é a diferença de potencial entre A e B? E entre B e A?
- Qual é o sentido e direção do campo elétrico? Desenhe uma linha de força do campo elétrico que passe por A.
- Se a distância entre A e B é de 2,0 cm, qual é o valor do campo elétrico?
- Se uma partícula de massa $m = 2,0 \times 10^{-7}$ kg e carga $q = 4,0 \times 10^{-6}$ C for abandonada em B, com que velocidade passa por A? Considere desprezíveis os efeitos da resistência do ar e da gravidade.
- Que carga deve possuir uma massa de $1,0 \times 10^{-7}$ kg para que fique sujeita a uma aceleração de 10 m/s^2 , se a distância entre as superfícies for de 2,0 cm?



RESPOSTAS

- 1 ■ a) $3,2 \times 10^{-16}$ J
c) $3,2 \times 10^{-16}$ J

- b) $-3,2 \times 10^{-16}$ J
d) $-3,2 \times 10^{-16}$ J

- 2 ■ a) 8×10^4 volts/m
c) $3,2 \times 10^{-3}$ J

- b) $1,6 \times 10^{-1}$ N
d) $3,2 \times 10^{-3}$ J

- 3 ■ $-4,0 \times 10^4$ volts

- 4 ■ a) 300 volts/m

- b) 1 500 volts/m

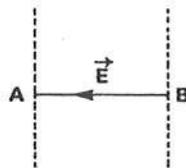
- 5 ■ 2,5 volts

- 6 ■ a) $V_2 - V_1$
d) $q \cdot (V_1 - V_2) = \text{zero}$

- b) $V_1 - V_2$
e) $q \cdot (V_2 - V_1)$

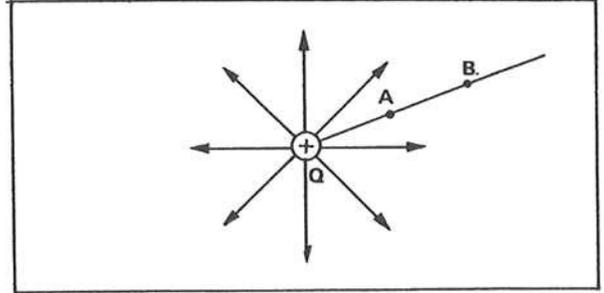
- c) $V_2 - V_1$
f) $q \cdot (V_2 - V_1)$

- 7 ■ a) 10 volts; -10 volts
b) horizontal para esquerda;
c) $5,0 \times 10^2$ volts/m
d) 20 m/s
e) $2,0 \times 10^{-9}$ C



D – DIFERENÇA DE POTENCIAL; POTENCIAL ELÉTRICO E SUPERFÍCIES EQUIPOTENCIAIS. EM UM CAMPO NÃO-UNIFORME

- 1 ■ O campo elétrico ao redor de uma carga positiva Q (é; não é) uniforme. Quando deslocamos uma carga q de um ponto B até um ponto A, a força elétrica sobre q (permanece; não permanece) constante.



não é; não permanece

- 2 ■ O cálculo do trabalho sobre uma carga q quando levada do ponto B para o ponto A torna-se difícil, pois tanto a força como o deslocamento (variam; não variam).

- 3 ■ No campo elétrico ao redor da carga Q, a diferença de potencial, $V_A - V_B = \frac{W_{BA}}{q}$, onde W_{BA} é o trabalho mínimo para deslocar a carga q do ponto A para o ponto B. Como o cálculo do trabalho apresenta certos refinamentos matemáticos, iremos fornecer o resultado final. A diferença de potencial entre os pontos B e A de um campo elétrico de uma carga Q é dada pela expressão:

$$V_B - V_A = \frac{k \cdot Q}{r_A} - \frac{k \cdot Q}{r_B}$$

onde r_A é a distância do ponto A até a carga Q e r_B é a _____

B; A; distância do ponto B até a carga Q

4 ■ $V_A - V_B = \frac{k \cdot Q}{r_A} - \frac{k \cdot Q}{r_B}$

Esta expressão nos permite calcular a _____ de _____ elétrico entre os pontos B e A, distantes respectivamente r_A e r_B de uma _____.

diferença; potencial; carga elétrica Q

- 5 ■ Comparando os termos da expressão da diferença de potencial entre dois pontos de um campo ao redor de uma carga Q, podemos igualar $V_A =$ _____ e $V_B =$ _____.

$$\frac{k \cdot Q}{r_A} ; \frac{k \cdot Q}{r_B}$$

6 ■ $V_A = \frac{k \cdot Q}{r_A}$

Esta expressão define o potencial elétrico a uma distância _____ de uma _____.

r_A ; carga elétrica Q

7 ■ Generalizando podemos dizer que o potencial elétrico em um ponto qualquer distante r de uma carga Q é dado por $V = \underline{\hspace{2cm}}$.

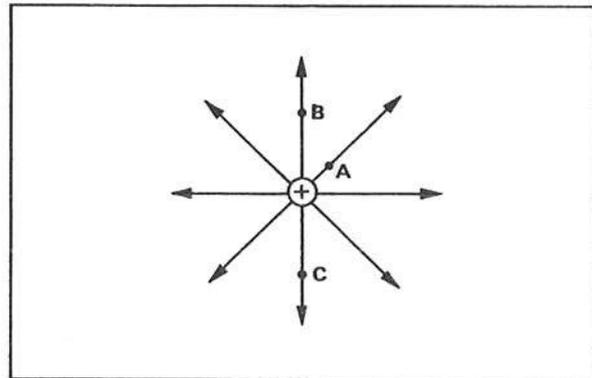
$$\frac{k \cdot Q}{r}$$

8 ■ $V = \frac{k \cdot Q}{r}$

O potencial elétrico ao redor de uma carga Q (aumenta; diminui) à medida que nos afastamos da carga, pois o fator que varia está no (denominador; numerador) da expressão.

diminui; denominador

9 ■ Na figura ao lado temos uma carga $Q = 2,0 \times 10^{-6}$ C. Calcule o potencial elétrico nos pontos A, B e C, distantes 1,0 cm, 2,0 cm e 4,0 cm da carga, respectivamente.

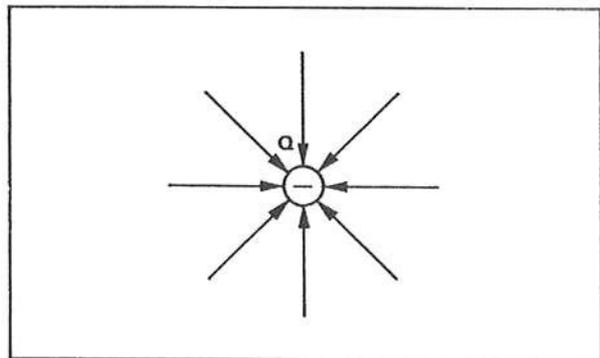


$V_A = 18 \times 10^5$ volts; $V_B = 9,0 \times 10^5$ volts; $V_C = 4,5 \times 10^5$ volts

10 ■ Considere o mesmo campo do item 9. Qual é o potencial elétrico num ponto infinitamente distante da carga? Vimos que, quando a distância aumenta, o campo ao redor da carga Q diminui. Se o ponto é infinitamente distante de Q , o potencial elétrico torna-se praticamente $\underline{\hspace{2cm}}$. Diz-se, então, que no infinito o potencial é zero.

nulo

11 ■ Consideremos agora uma carga negativa Q . As linhas de força agora convergem para a carga. O campo elétrico é convergente. Quando nos aproximamos da carga negativa Q atingimos pontos de potencial elétrico cada vez (maior; menor). Justifique.



menor; pois caminhamos no sentido da linha de força

12 ■ $V = \frac{k \cdot Q}{r}$. Esta expressão que define quantitativamente o potencial elétrico para uma carga positiva Q define também o potencial para uma carga negativa. Se a carga for negativa, o potencial V será (negativo; positivo).

negativo

- 13 ■ Suponha que a carga do item 11 seja $Q = -2,0 \times 10^{-6}$ C. Qual é o potencial elétrico nos pontos A, B e C, distantes 2,0 cm, 4,0 cm e 9,0 cm da carga?

$$V_A = -9,0 \times 10^5 \text{ volts}; V_B = -4,5 \times 10^5 \text{ volts}; V_C = -2,0 \times 10^5 \text{ volts}$$

- 14 ■ Quando nos afastamos de uma carga negativa, o potencial elétrico torna-se cada vez (maior; menor). Justifique.

maior; uma vez que caminhamos no sentido oposto ao do campo

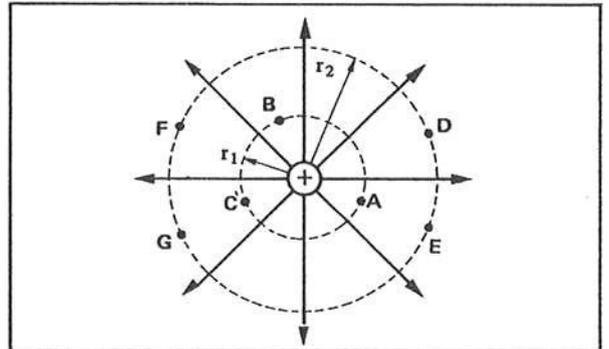
- 15 ■ Analise as respostas dadas no item 13. O ponto C está mais distante da carga negativa Q do que o ponto A. V_C é (maior; menor) do que V_A .

maior (Lembre-se: 0 é maior que -1, -1 maior que -2, etc.)

- 16 ■ $V = \frac{k \cdot Q}{r}$ define então o potencial elétrico a uma distância r de uma carga Q (negativa; positiva; positiva ou negativa). Se a carga for positiva, o potencial elétrico será _____ e se a carga for negativa _____.

positiva ou negativa; positivo; o potencial elétrico será negativo

- 17 ■ Na figura ao lado temos uma carga positiva Q. Os pontos A, B e C pertencem a uma mesma circunferência de raio r_1 em cujo centro está a carga Q. Qual é o potencial elétrico em A, B e C?



$$V_A = V_B = V_C = \frac{k \cdot Q}{r_1}$$

- 18 ■ Os pontos A, B e C estão à mesma distância de Q; logo, possuem mesmo potencial elétrico. Em todos os outros pontos da mesma circunferência o potencial elétrico é o mesmo. A circunferência representa uma superfície _____.

equipotencial

- 19 ■ Quando discutimos o campo uniforme, vimos que as superfícies equipotenciais eram (perpendiculares; paralelas; inclinadas) com relação às linhas de força. As linhas do campo elétrico do item 17 (são; não são) perpendiculares à circunferência de raio r_1 .

perpendiculares; são

- 20 ■ Qualquer superfície esférica concêntrica a uma carga Q (é; não é) uma superfície eqüipotencial. Na figura do item 17, se o potencial elétrico no ponto D for $V_D = 500$ volts, então $V_E =$ _____ e $V_G =$ _____, pois pertencem a uma mesma _____.

é; 500 volts; 500 volts; superfície eqüipotencial

- 21 ■ Já discutimos que o potencial elétrico é uma grandeza escalar pois não possui orientação. Então podemos somar e subtrair potenciais elétricos sem nos preocupar com a direção e o sentido. O campo elétrico, bem como a força elétrica, é grandeza vetorial. Para somar campo elétrico devemos fazer uma soma (algébrica; vetorial). Para somar potencial elétrico devemos fazer uma soma _____.

vetorial; algébrica

- 22 ■ Qual é o resultado da adição de 500 volts com 300 volts?

800 volts

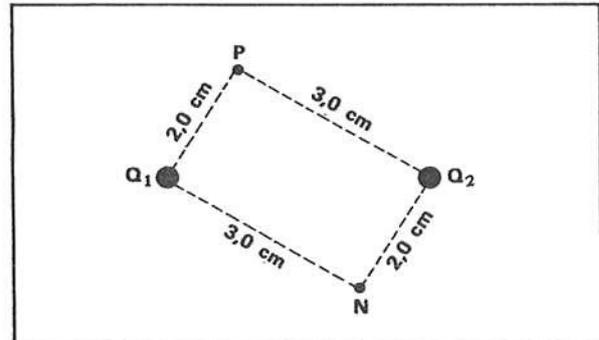
- 23 ■ Qual é o resultado da adição de 800 volts com -400 volts?

400 volts

- 24 ■ Qual é o resultado da subtração entre 600 volts e -300 volts?

900 volts

- 25 ■ Na figura ao lado temos duas cargas elétricas: $Q_1 = 4,0 \times 10^{-6}$ C e $Q_2 = -2,0 \times 10^{-6}$ C. No ponto P o potencial elétrico resultante é a soma dos potenciais devidos a cada carga. Portanto, no ponto P o potencial é $V_p =$ _____.



$$V_p = V_1 + V_2 = 1,2 \times 10^6 \text{ volts}$$

- 26 ■ Qual é o potencial resultante no ponto N da figura do item 25?

$$V_N = 3,0 \times 10^5 \text{ volts}$$

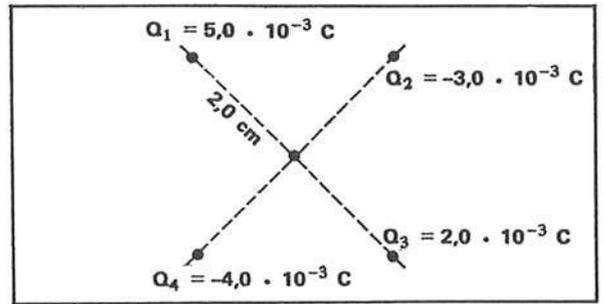
- 27 ■ Considere o mesmo campo do item 25. Qual é o trabalho para deslocar uma carga $q = 5,0 \times 10^{-3}$ C de N para P?

$$W = q(V_p - V_N) = 4,5 \times 10^3 \text{ J}$$

- 28 ■ De P para N, o trabalho seria $W =$ _____. Explique o sinal.

$-4,5 \times 10^3$ J. O sinal negativo significa que o trabalho é feito pela própria força do campo elétrico; a energia potencial elétrica da carga deslocada diminuiu.

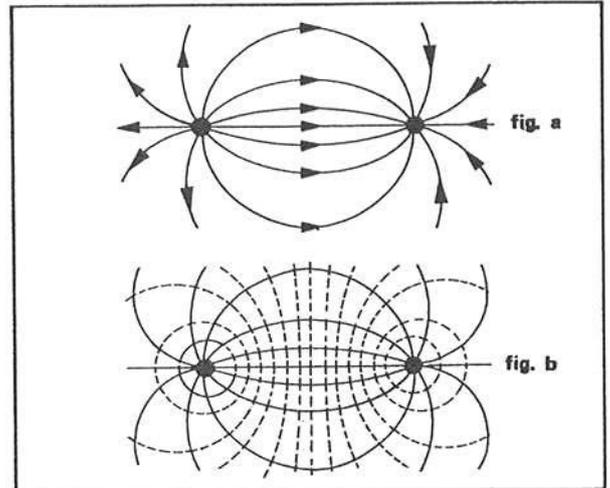
29 ■ Qual é o potencial elétrico resultante no centro do quadrilátero ao lado?



$V = 0$ volt

30 ■ Na fig. a ao lado está representado o campo elétrico entre duas cargas Q e $-Q$. As linhas são as _____.

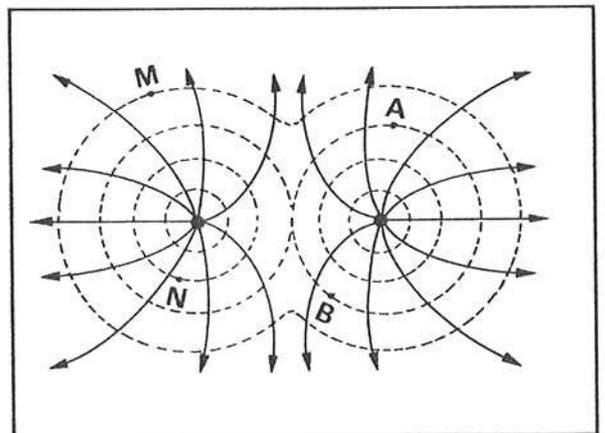
Na fig. b as linhas pontilhadas foram traçadas de modo que elas sejam perpendiculares às linhas de força do campo elétrico. Estas linhas pontilhadas representam as _____.



linhas de força do campo elétrico; superfícies eqüipotenciais

31 ■ Na figura ao lado estão representadas as linhas de força de duas cargas (positivas; negativas; de sinais contrários). As linhas pontilhadas são perpendiculares às linhas do campo elétrico. Elas representam as _____.

O trabalho para deslocar uma carga q do ponto A para o ponto B é $W_{AB} =$ _____, pois A e B pertencem à mesma superfície _____ e desta forma é nula a diferença de potencial. Do ponto N para o ponto M a diferença de potencial (é; não é) diferente de zero.



superfícies eqüipotenciais; zero; eqüipotencial; é

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Qual é a expressão que define o potencial elétrico ao redor de uma carga Q ?

- 2 ■ Num ponto infinitamente distante de uma carga Q , quanto vale o potencial elétrico?
- 3 ■ À medida que se aproxima de uma carga Q positiva, o potencial elétrico aumenta ou diminui? Que relação guarda a diminuição ou o aumento com o sentido da linha de força?
- 4 ■ Ao redor de uma carga Q , tanto positiva como negativa, estabeleça o nível de potencial elétrico zero.
- 5 ■ Descreva as superfícies equipotenciais ao redor de uma carga Q .
- 6 ■ Desenhe as superfícies equipotenciais ao redor de:
 - a) duas cargas positivas iguais;
 - b) duas cargas negativas iguais;
 - c) duas cargas iguais de sinais contrários.
- 7 ■ Potencial elétrico é uma grandeza vetorial ou algébrica? Qual é sua unidade de medida no SI?
- 8 ■ De que modo, algébrico ou vetorial, podemos somar ou subtrair potencial elétrico? E campo elétrico? E energia?
- 9 ■ Num ponto P , uma carga Q_1 é responsável por um potencial elétrico V_1 , e uma carga Q_2 , por um potencial elétrico V_2 . Qual é o potencial elétrico resultante em P ?
- 10 ■ Num ponto P , o campo elétrico resultante é zero. Isto significa que o potencial elétrico necessariamente seja zero? Tente explicar.

Após isso, você deve estar apto para:

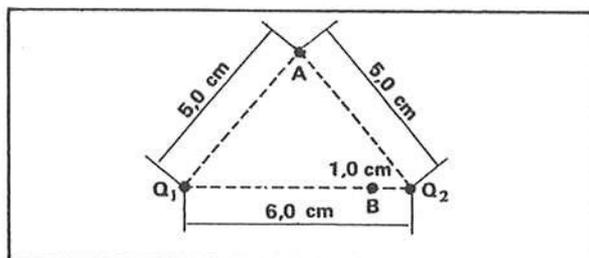
- a. definir diferença de potencial entre dois pontos de um campo elétrico de uma carga Q .
- b. definir potencial elétrico em um ponto distante de r de uma carga Q puntiforme.
- c. calcular potencial elétrico resultante em um campo elétrico de sistema de cargas.
- d. identificar superfícies equipotenciais num campo de duas cargas puntiformes iguais.
- e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Qual é o potencial elétrico e o campo elétrico a uma distância de 10,0 cm de uma carga de $5,0 \times 10^{-8}$ C?
- 2 ■ Dois pontos A e B são distantes, respectivamente, 10,0 cm e 5,0 cm de uma carga $Q = -5,0 \times 10^{-9}$ C.
 - a) Qual é a diferença de potencial $V_A - V_B$?
 - b) Qual é a diferença de potencial $V_B - V_A$?
 - c) Se uma carga $q = 2,0 \times 10^{-6}$ C sofrer um deslocamento de A para B, qual será a variação na sua energia potencial elétrica?
 - d) No item (c), se o deslocamento for de B para A, qual será a variação de energia potencial elétrica?
- 3 ■ Um ponto P dista 2,0 cm de uma carga de $4,0 \times 10^{-9}$ C e 4,0 cm de uma outra de $-8,0 \times 10^{-9}$ C. Qual é o potencial elétrico no ponto P?
- 4 ■ O potencial elétrico a uma certa distância de uma carga é de 600 volts e o campo elétrico vale 200 N/C.
 - a) Qual é a distância do ponto até a carga?
 - b) Qual é a grandeza da carga?
- 5 ■ Duas cargas, $Q_1 = 2,0 \times 10^{-9}$ C e $Q_2 = -4,0 \times 10^{-9}$ C, estão separadas por uma distância de 5,0 cm. Um elétron liberado, a partir do repouso, entre as cargas, a 1,0 cm da carga negativa, se desloca ao longo da reta entre as cargas. Qual é a energia cinética do elétron quando ele se encontrar a 1,0 cm da carga positiva?

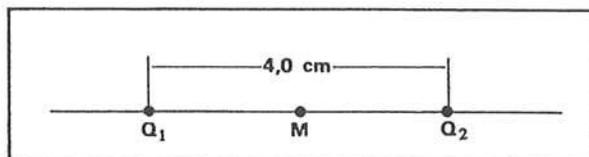
- 6 ■ Na figura ao lado,
 $Q_1 = 25 \times 10^{-9} \text{ C}$ e
 $Q_2 = -25 \times 10^{-9} \text{ C}$.

- a) Qual é o potencial em A? E em B?
 b) Qual é o trabalho mínimo necessário sobre uma carga de $-8,0 \times 10^{-9} \text{ C}$ para deslocá-la de A para B?



- 7 ■ Na figura ao lado, $Q_1 = Q_2 = 2,0 \times 10^{-9} \text{ C}$.

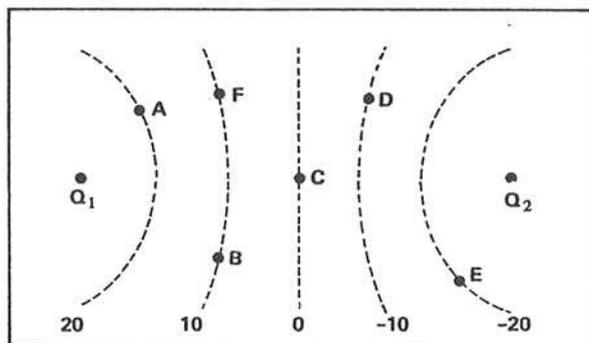
- a) Qual é o potencial no ponto médio M?
 b) Qual é o campo elétrico resultante no ponto médio M?



- 8 ■ Na figura ao lado está representado um campo elétrico por intermédio de algumas superfícies equipotenciais.

- a) Qual é o sinal de cada carga?
 b) Trace algumas linhas de força do campo elétrico.
 c) Determine a diferença de potencial nos casos abaixo:

- 1.º) $V_A - V_C$; 2.º) $V_C - V_A$;
 3.º) $V_C - V_D$; 4.º) $V_E - V_A$



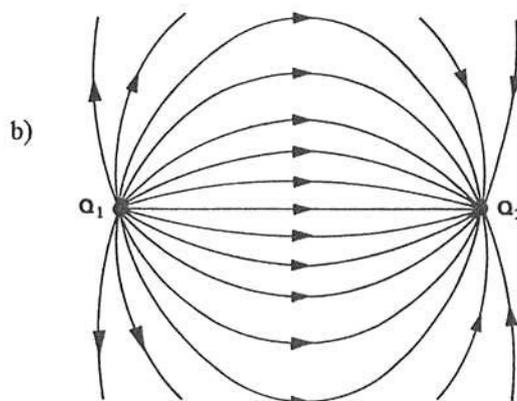
- d) Determine a variação de energia potencial elétrica de uma carga $q = 2 \times 10^{-3} \text{ C}$ quando se movimentar de:

- 1.º) C para E. 2.º) E para A. 3.º) D para C.
 4.º) B para F, ao longo da linha pontilhada.

- e) Em quais dos movimentos do item (d) o trabalho é externo?

RESPOSTAS

- 1 ■ 4 500 volts; $4,5 \times 10^4$ volts/m
 2 ■ a) 450 volts;
 b) -450 volts;
 c) $-9,0 \times 10^{-4} \text{ J}$
 d) $9,0 \times 10^{-4} \text{ J}$
 3 ■ Zero
 4 ■ a) 3 m;
 b) $2,0 \times 10^{-7} \text{ C}$
 5 ■ $\sim 6,4 \times 10^{-16} \text{ J}$
 6 ■ a) $V_A = 0$ e $V_B = -18 \times 10^3$ volts
 b) $W = +1,44 \times 10^{-4} \text{ J}$
 7 ■ a) 1 800 volts
 b) $9,0 \times 10^4$ volts/m
 8 ■ a) Q_1 positiva; Q_2 negativa



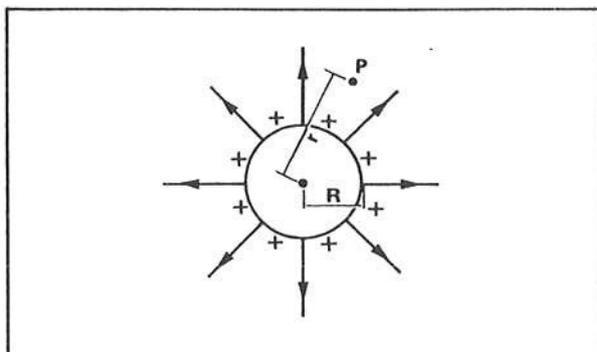
- c) 1.º) 20 volts
 2.º) -20 volts
 3.º) 10 volts
 4.º) -40 volts
 d) 1.º) $-4,0 \times 10^{-2} \text{ J}$;
 2.º) $8,0 \times 10^{-2} \text{ J}$;
 3.º) $2,0 \times 10^{-2} \text{ J}$;
 4.º) Zero
 e) nos itens 2.º e 3.º

E – POTENCIAL ELÉTRICO NAS VIZINHANÇAS E NO INTERIOR DE UMA ESFERA METÁLICA CARREGADA
TRANSFERÊNCIA DE CARGAS ENTRE DUAS ESFERAS QUANDO CONECTADAS ENTRE SI

- 1 ■ Já sabemos que no interior de qualquer condutor eletrizado (existem; não existem) cargas elétricas em excesso. Toda a carga em excesso se distribui pela superfície do condutor. Sabemos que o campo elétrico no interior de tais condutores é (igual a; diferente de) zero.

não existem; igual a

- 2 ■ Na figura ao lado temos uma esfera metálica de raio R eletrizada positivamente com carga Q. O potencial elétrico no ponto P, a uma distância r do centro da esfera, é dado por: $V = \frac{k \cdot Q}{r}$. A única condição é que r seja (maior ou igual; menor ou igual) ao raio R da esfera.



maior ou igual

- 3 ■ Para qualquer ponto fora da esfera metálica eletrizada, o potencial elétrico é dado por $V = \frac{k \cdot Q}{r}$. Nesta expressão a distância r é medida a partir (do centro; da superfície) da esfera.

$\frac{k \cdot Q}{r}$; do centro

- 4 ■ Uma esfera metálica carregada com $Q = 5,0 \times 10^{-5}$ C e de raio $R = 10,0$ cm encontra-se no vácuo. O potencial elétrico em um ponto P distante 5,0 cm da superfície da esfera vale $V = \frac{9,0 \times 10^9 \cdot (5,0 \times 10^{-5})}{15 \times 10^{-2}} \times \frac{N \cdot m^2}{C \cdot m} \cdot C = 3,0 \times 10^6$ volts

$$V = \frac{9,0 \times 10^9 \cdot (5,0 \times 10^{-5})}{15 \times 10^{-2}} \times \frac{N \cdot m^2}{C \cdot m} \cdot C = 3,0 \times 10^6 \text{ volts}$$

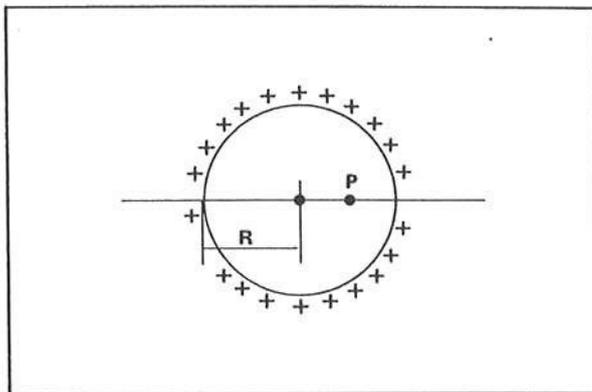
- 5 ■ Uma esfera metálica com raio 5,0 cm está carregada com $Q = -4,0 \times 10^{-6}$ C. O potencial elétrico na superfície da esfera é $V = \frac{9,0 \times 10^9 \cdot (-4,0 \times 10^{-6})}{5,0 \times 10^{-2}} = -7,2 \times 10^5$ volts

$$V = \frac{9,0 \times 10^9 \cdot (-4,0 \times 10^{-6})}{5,0 \times 10^{-2}} = -7,2 \times 10^5 \text{ volts}$$

- 6 ■ A superfície da esfera (é; não é) uma superfície equipotencial. No espaço exterior a uma esfera carregada, as superfícies equipotenciais são de forma (esférica; cúbica; piramidal).

é; esférica (concêntricas à esfera carregada)

7 ■ Vejamos agora qual é o potencial elétrico no interior de uma esfera. Se a carga da esfera é Q e o raio é R , o potencial elétrico na superfície é dado por $V_S = \underline{\hspace{2cm}}$. Seja um ponto P no interior da esfera. O campo elétrico no interior da esfera é (nulo; não-nulo); portanto, a força elétrica sobre uma carga q , no interior da esfera, (é; não é) zero. Se a força elétrica é zero, o trabalho mínimo para deslocar uma carga q da superfície até o ponto P no interior da esfera é (zero; diferente de zero).



$\frac{k \cdot Q}{R}$; nulo; é; zero

8 ■ Portanto, como $W = q(V_P - V_S)$, e se $W = 0$, podemos concluir que $q(V_P - V_S) = \underline{\hspace{2cm}}$.

0 (zero)

9 ■ $q \cdot (V_P - V_S) = 0$; como $q \neq 0$, é necessário que $\underline{\hspace{2cm}} = 0$.

$V_P - V_S$

10 ■ Se $V_P - V_S = 0$, temos que $V_P = V_S$, isto é, o potencial elétrico no interior da esfera metálica eletrizada é (maior que o; igual ao; menor que o) da superfície. Se a esfera for descarregada, o potencial na sua superfície será zero; no interior da esfera o potencial será $\underline{\hspace{2cm}}$.

igual ao; zero

11 ■ A partir do item 10, conclui-se que no interior de uma esfera metálica eletrizada, o potencial elétrico é (constante não-nulo; nulo; variável) e é igual ao $\underline{\hspace{2cm}}$.

constante não-nulo; potencial na superfície

12 ■ Uma esfera metálica de raio 0,10 m possui carga $Q = -2,0 \times 10^{-8}$ C. O potencial elétrico na superfície da esfera é $V = \underline{\hspace{2cm}}$; no centro da esfera o potencial vale $\underline{\hspace{2cm}}$; num ponto A distante 5,0 cm do centro da esfera o potencial é $V_A = \underline{\hspace{2cm}}$ e num outro ponto distante 0,10 m da superfície da esfera o potencial vale $\underline{\hspace{2cm}}$.

$-1,8 \times 10^3$ volts; $-1,8 \times 10^3$ volts; $-1,8 \times 10^3$ volts; $-9,0 \times 10^2$ volts

13 ■ O potencial na superfície de uma esfera metálica eletrizada vale $4,0 \times 10^3$ volts. Todos os pontos no interior da esfera possuem potencial elétrico (zero; diferente de zero). Qualquer ponto no interior da esfera apresenta potencial elétrico igual a $\underline{\hspace{2cm}}$.

diferente de zero; $4,0 \times 10^3$ volts

14 ■ Para uma esfera metálica eletrizada, o potencial em qualquer ponto do seu interior é igual ao $\underline{\hspace{2cm}}$.

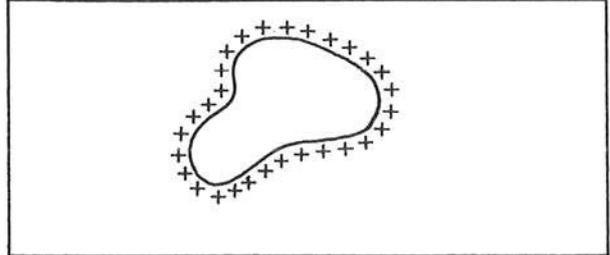
$\underline{\hspace{2cm}}$

potencial elétrico na superfície da esfera

- 15 ■ A conclusão acima é válida para qualquer outro condutor, metálico ou não, independente da forma; o potencial elétrico no interior de qualquer condutor em equilíbrio eletrostático é igual ao _____

potencial elétrico na superfície

- 16 ■ A figura ao lado representa um condutor eletrizado. A superfície do condutor (é; não é) equipotencial. O potencial elétrico em qualquer ponto no interior do condutor é igual ao _____



é; potencial elétrico na superfície

- 17 ■ Qual é o potencial elétrico máximo que uma esfera pode suportar? O ar, em condições habituais, (é; não é) isolante elétrico. Entretanto, quando sob a ação de um campo elétrico de cerca de $3,0 \times 10^6$ volts/m, o ar torna-se condutor de eletricidade. Portanto, podemos carregar uma esfera até que a carga máxima retida pela esfera crie no máximo um campo elétrico da ordem de _____

é; $3,0 \times 10^6$ volts/m

- 18 ■ O potencial elétrico na superfície de uma esfera de raio R e carga Q é dado por $V = \frac{k \cdot Q}{R}$ e o campo elétrico na superfície é dado por $E = \frac{k \cdot Q}{R^2}$.

$$\frac{k \cdot Q}{R} ; \frac{k \cdot Q}{R^2}$$

- 19 ■ A carga máxima Q_m que uma esfera de raio R pode reter criará na superfície um campo elétrico máximo $E_m = \frac{R^2 \cdot E_m}{k}$. Portanto, a carga máxima pode ser representada pela expressão $Q_m = \frac{k \cdot Q_m}{R^2}$ (em função de k, R e E_m).

$$\frac{k \cdot Q_m}{R^2} ; \frac{R^2 \cdot E_m}{k}$$

- 20 ■ Portanto, o potencial elétrico máximo será atingido quando a carga na esfera for (a máxima; a mínima). Logo, $V_m = R \cdot E_m$ (em função de R e E_m).

a máxima; $R \cdot E_m$

- 21 ■ Uma esfera de raio 1,0 cm, isto é, _____ m, apresentará um potencial máximo $V_m = R \cdot E_m$ quando no ar. Nenhuma carga adicional poderá elevar o potencial da esfera acima além deste valor, pois a carga adicional se escoará pelo ar que se torna condutor.

$$1,0 \times 10^{-2}; R \cdot E_m = 1,0 \times 10^{-2} \times 3,0 \times 10^6 = 3,0 \times 10^4 \text{ volts}$$

- 22 ■ Não só a esfera, mas qualquer condutor pode suportar no máximo uma carga Q_m de modo que o campo elétrico não exceda o valor $E_m =$ _____. No caso de existir no condutor regiões pontiagudas, o valor de Q_m cairá, com o tempo, em virtude do “poder” das pontas.

$3,0 \times 10^6$ volts/m

- 23 ■ Qual é a carga máxima Q_m que uma esfera de $R = 2,0$ m, no ar, pode suportar? O campo máximo é $E_m =$ _____. Como o campo pode ser calculado por $E = \frac{k \cdot Q}{R^2}$, podemos deduzir que $Q_m =$ _____.

$3,0 \times 10^6$ N/C; $\frac{4}{3} \times 10^{-3}$ C

- 24 ■ No caso da esfera mencionada no item 23, o potencial máximo seria $V_m =$ _____.

$6,0 \times 10^6$ volts

- 25 ■ Qual é o potencial máximo que uma esfera de tamanho da Terra pode apresentar se o raio da Terra é $R = 6,4 \times 10^6$ m?

$V_m =$ _____.

A carga máxima é $Q_m =$ _____.

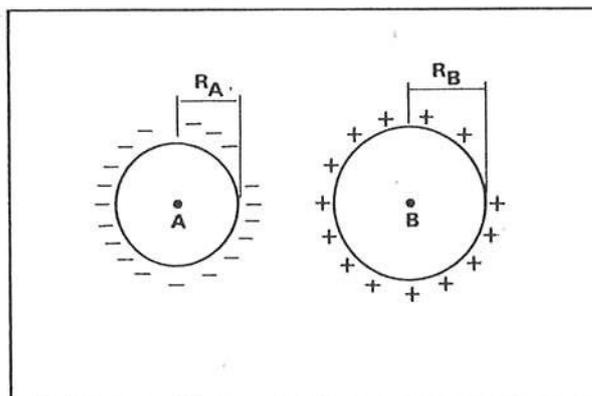
$1,9 \times 10^{13}$ volts; $1,4 \times 10^{10}$ C

- 26 ■ Já vimos que o campo elétrico no interior de uma esfera de raio R carregada com carga Q é _____ e que o potencial elétrico no interior da esfera é dado por $V =$ _____ e para pontos fora da superfície o potencial elétrico é $V =$ _____. Vimos também que um condutor qualquer inerso no ar (pode; não pode) ser carregado indefinidamente. O ar torna-se condutor quando o campo elétrico atingir uma intensidade máxima de cerca de $E_m =$ _____.

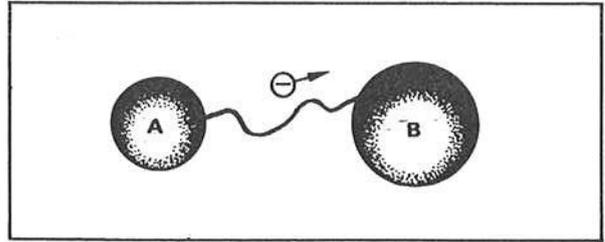
zero; $\frac{k \cdot Q}{R}$; $\frac{k \cdot Q}{r}$; não pode; $3,0 \times 10^6$ N/C

- 27 ■ Analisaremos nos itens que se seguem o que acontece com os potenciais elétricos de duas esferas eletrizadas quando ligadas através de um fio condutor. A figura ao lado mostra duas esferas metálicas eletrizadas. A esfera B possui carga positiva, isto é, ela possui (excesso; falta) de elétrons. A esfera A possui (excesso; falta) de elétrons. Nos condutores metálicos, as partículas carregadas que podem se movimentar são os (prótons; elétrons; nêutrons). A esfera que possui potencial mais elevado é a (A; B).

falta; excesso; elétrons; B



28 ■ Liga-se A a B através de um fio metálico. A esfera B está a um potencial mais elevado que A. Desta forma, os elétrons movimentar-se-ão de A para B, isto é, do potencial (maior; menor) para o potencial _____.



menor; maior

29 ■ À medida que os elétrons atingem B, esta fica com sua carga positiva diminuída. Portanto, seu potencial irá (diminuindo; aumentando). O oposto ocorre com a esfera A. À medida que os elétrons abandonam A, seu potencial (aumenta; diminui), pois ela fica menos carregada negativamente. O movimento de elétrons cessará quando A e B estiverem a um mesmo _____.

diminuindo; aumenta; potencial elétrico

30 ■ Considere que Q_A e Q_B sejam as cargas iniciais, isto é, antes que as esferas A e B sejam postas em contato. Então, os potenciais iniciais de cada esfera são dados por $V_A =$ _____ e $V_B =$ _____.

$$\frac{k \cdot Q_A}{R_A} ; \frac{k \cdot Q_B}{R_B}$$

31 ■ Fazendo o contato entre as esferas, haverá movimentação de elétrons da esfera de potencial (maior; menor) para a de potencial _____. O movimento cessa quando as esferas apresentarem o mesmo potencial elétrico, isto é, quando entre A e B a diferença de potencial for (zero; diferente de zero). Portanto, no equilíbrio, $V'_A = V'_B$. Considerando que, após o equilíbrio, as cargas em cada esfera sejam Q'_A e Q'_B , podemos escrever que $V'_A =$ _____ e $V'_B =$ _____.

menor; maior; zero; $\frac{k \cdot Q'_A}{R_A} ; \frac{k \cdot Q'_B}{R_B}$

32 ■ No equilíbrio, $V'_A = V'_B$; portanto, $\frac{k \cdot Q'_A}{R_A} =$ _____ ou $\frac{Q'_A}{Q'_B} =$ _____.

$$\frac{k \cdot Q'_B}{R_B} ; \frac{R_A}{R_B}$$

33 ■ Devemos considerar ainda que nessa transferência de cargas elétricas a lei da conservação das cargas elétricas deve ser observada. A soma algébrica total das cargas nas esferas antes do contato deve ser (igual à; diferente da) soma algébrica das cargas nas esferas após o contato. Portanto, $Q_A + Q_B =$ _____ + _____.

igual à; $Q'_A ; Q'_B$

34 ■ Portanto, se quisermos resolver quantitativamente o problema, devemos considerar:

- as equações dos potenciais elétricos, antes e depois do contato;
- a igualdade dos potenciais elétricos após o contato;
- a lei da conservação das cargas elétricas.

Simbolicamente,

$$V_A = \text{_____}; V_B = \text{_____} \text{ (antes do contato)}$$

$$V'_A = \text{_____}, V'_B = \text{_____} \text{ (após o contato)}$$

$$V'_A = (V_A; V_B; V'_B) \text{ (após o contato)}$$

$$Q_A + Q_B = \text{_____} + \text{_____} \text{ (lei da conservação das cargas)}$$

$$\frac{k \cdot Q_A}{R_A}; \frac{k \cdot Q_B}{R_B}; \frac{k \cdot Q'_A}{R_A}; \frac{k \cdot Q'_B}{R_B}; V'_B; Q'_A; Q'_B$$

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Uma esfera metálica com raio 2,0 cm possui uma carga inicial de $4,0 \times 10^{-9}$ C. Uma outra, de raio 3,0 cm, possui carga de $5,0 \times 10^{-9}$ C. Elas são postas em contato entre si. Qual é a carga em cada uma após o contato?

- 1 ■ Chamando a esfera menor de A e a maior de B, o potencial de cada uma, antes do contato, é:

$$V_A = \text{_____};$$

$$V_B = \text{_____}.$$

$$18 \times 10^2 \text{ volts}; 15 \times 10^2 \text{ volts}$$

- 2 ■ V_A é maior que V_B ; portanto, durante o contato e até atingir o equilíbrio eletrostático, elétrons da esfera _____ irão fluir para a esfera _____, pois elétrons sempre se movimentam de um potencial menor para um maior. Este movimento acontece até que as esferas entrem em equilíbrio eletrostático, isto é, até que V'_A seja (igual a; maior que; menor que) V'_B , onde o índice (') corresponde à situação após o contato, quando as cargas são Q'_A e Q'_B .

B; A; igual a

- 3 ■ Após o equilíbrio eletrostático, $V'_A = \text{_____}$ e $V'_B = \text{_____}$ (em função de k ; R_A ; R_B ; Q'_A e Q'_B).

$$\frac{k \cdot Q'_A}{R_A}; \frac{k \cdot Q'_B}{R_B}$$

- 4 ■ Pela condição de equilíbrio, podemos escrever que $\frac{k \cdot Q'_A}{R_A} = \text{_____}$.

$$\frac{k \cdot Q'_B}{R_B}$$

5 ■ Na equação acima, substituindo-se os valores, teremos $Q'_A =$ (em função de Q'_B).

$$\frac{2}{3} Q'_B$$

6 ■ $Q'_A = \frac{2 \cdot Q'_B}{3}$. Pela conservação das cargas, $Q'_A + Q'_B =$ _____ (valor numérico)

$9,0 \times 10^{-9}$ C (soma das cargas, antes do contato)

7 ■ Portanto: a) $Q'_A =$ _____ e

b) $Q'_A + Q'_B =$ _____.

Resolvido o sistema,

$Q'_A =$ _____ e

$Q'_B =$ _____.

$$\frac{2}{3} \cdot Q'_B; \quad 9,0 \times 10^{-9} \text{ C}; \quad \frac{18}{5} \times 10^{-9} \text{ C}; \quad \frac{27}{5} \times 10^{-9} \text{ C}$$

PROBLEMA 2

Uma esfera condutora (A) de 180 cm de raio possui potencial de 10 volts e uma outra (B), cujo potencial é 3 volts, tem raio de 30 cm. Unem-se as esferas A e B por um fio longo e delgado. Determinar o potencial de equilíbrio.

1 ■ A carga inicial de cada esfera é $Q_A =$ _____ e $Q_B =$ _____.

$$2 \times 10^{-9} \text{ C}; \quad 0,1 \times 10^{-9} \text{ C}$$

2 ■ Após o equilíbrio eletrostático, os potenciais (se igualam; não se igualam). Logo, $Q'_A =$ _____ (em termos de Q'_B).

se igualam; $6 \cdot Q'_B$

3 ■ Pela lei da conservação das cargas, $Q'_A + Q'_B =$ _____ C.

$$2,1 \times 10^{-9}$$

4 ■ $Q'_A = 6 \cdot Q'_B$ e $Q'_A + Q'_B = 2,1 \times 10^{-9}$ C. Resolvendo o sistema, $Q'_A =$ _____ C e $Q'_B =$ _____ C.

$$1,8 \times 10^{-9}; \quad 0,3 \times 10^{-9}$$

5 ■ Portanto, $V'_A =$ _____ e $V'_B =$ _____.

9 volts; 9 volts

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Como se distribuem as cargas num condutor eletrizado?
- 2 ■ Existem cargas no interior de uma esfera metálica eletrizada?
- 3 ■ O potencial elétrico no interior de um condutor metálico eletrizado é diferente de zero?
- 4 ■ É nulo o campo elétrico no interior de uma esfera metálica eletrizada?
- 5 ■ Quando dois condutores eletrizados são ligados entre si o equilíbrio eletrostático é obtido quando:
 - a. os campos elétricos nas superfícies de cada esfera se igualarem.
 - b. os potenciais de cada esfera se igualarem.
 - c. as cargas em cada condutor se tornarem iguais.
 - d. as cargas em cada condutor se anularem completamente.
- 6 ■ Se ligarmos dois condutores esféricos, ambos eletrizados positivamente, haverá movimento de cargas elétricas? Explique para os casos:
 - a) os condutores estão no mesmo potencial;
 - b) os condutores estão em potenciais diferentes.
- 7 ■ O ar é totalmente isolante?
- 8 ■ Qual é o máximo valor do campo elétrico suportável pelo ar antes de se tornar condutor?
- 9 ■ Quando um condutor eletrizado é ligado à Terra, o movimento de cargas acontece até que o equilíbrio eletrostático é atingido. Explique quando ocorre o equilíbrio eletrostático.
- 10 ■ Explique a lei da conservação das cargas elétricas.

Após isso, você deve estar apto para:

- a. caracterizar distribuição de cargas em um condutor eletrizado.
- b. calcular potencial elétrico em um ponto ao redor de uma esfera condutora eletrizada.
- c. definir potencial elétrico no interior de uma esfera condutora carregada.
- d. justificar, em termos de potencial elétrico, a transferência de cargas entre duas esferas carregadas quando ligadas por um condutor.
- e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Uma esfera metálica de raio 6,0 cm possui carga $Q = 3,0 \times 10^{-9}$ C. Qual é o potencial elétrico da esfera?
- 2 ■ Na esfera do problema 1, qual é o potencial a uma distância de 4,0 cm de sua superfície?

7 ■ 12,5 volts

8 ■ a) $2,7 \times 10^{-6}$ C e $8,3 \times 10^{-6}$ C;
d) $E_1 \cong 1,0 \times 10^7$ volts/m

b) da segunda para a primeira
 $E_2 \cong 3,3 \times 10^6$ volts/m

c) $5,0 \times 10^5$ volts

9 ■ $V_5 = 5,8 \times 10^3$ volts; $V_4 = 7,2 \times 10^3$ volts; $V_3 = 3,6 \times 10^3$ volts; $V_2 = 5,4 \times 10^3$ volts; $V_1 = \text{zero}$

F – TERRA: POTENCIAL DE REFERÊNCIA ZERO

1 ■ A Terra, assim como o corpo humano, é condutora de eletricidade, isto é, permite que cargas elétricas se movimentem através de si. Então, o maior corpo condutor que temos a disposição é a _____.

Terra

2 ■ A capacidade elétrica da Terra é então muito grande, isto é, seu potencial elétrico não é alterado pelo fornecimento ou retirada de cargas elétricas. Podemos fazer uma analogia com o oceano. A retirada de, por exemplo, uma tonelada de água do oceano não irá causar uma mudança sensível em seu nível. Da mesma forma, se fornecermos água ao oceano, seu nível (será; não será) afetado sensivelmente.

não será

3 ■ Podemos associar, por analogia, o nível do oceano com o _____ elétrico da Terra. Portanto, o potencial elétrico da Terra (muda; não muda) com o fornecimento ou retirada de cargas elétricas. O potencial elétrico da Terra (é; não é) constante.

potencial; não muda; é

4 ■ O nível de potencial elétrico da Terra é então constante e desta forma, para fins práticos, a Terra foi tomada como referência. Atribuímos, arbitrariamente, o potencial elétrico nulo para a Terra. Podemos fazer esta escolha porque o potencial elétrico da Terra (varia; não varia) com o fornecimento ou retirada de cargas elétricas da mesma.

não varia

5 ■ A Terra tem, então, a propriedade de se manter a um potencial elétrico constantemente igual a _____, mesmo que receba ou ceda cargas elétricas a um outro corpo em contato com ela.

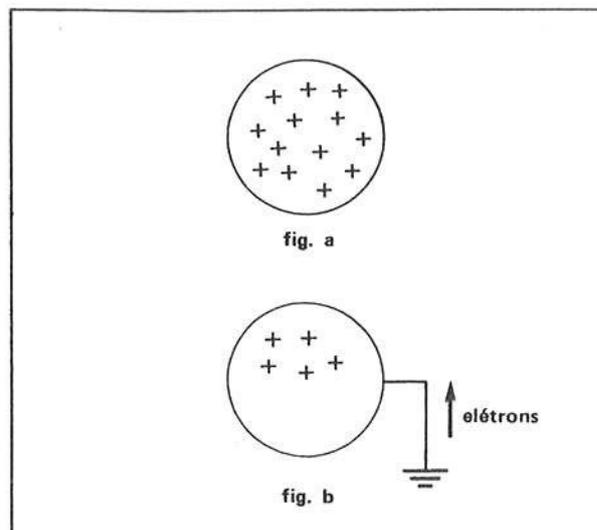
zero

6 ■ Como nos condutores sólidos somente as cargas negativas possuem liberdade de movimento e, por outro lado, as cargas negativas são aquelas que caracterizam o elétron, dizemos então que a Terra é um manancial de elétrons. A Terra pode ceder ou receber elétrons sem que o seu potencial elétrico fique alterado, da mesma forma que o oceano, sendo um manancial de água, pode receber ou ceder água sem que o seu nível fique _____.

alterado

7 ■ Já sabemos, de experiências anteriores, que qualquer corpo eletrizado quando “ligado” à Terra se descarrega. Vejamos o que acontece quando conectamos à Terra uma esfera metálica carregada positivamente.

A esfera ao lado (fig. a) está carregada positivamente, isto é, ela tem (falta; excesso) de elétrons; portanto, a esfera tem potencial elétrico maior que zero. A Terra tem potencial igual a _____; portanto, entre a esfera e a Terra existe uma diferença de potencial. Já sabemos que os elétrons, que possuem cargas negativas, se movimentam de um potencial (maior; menor) para um potencial _____. Logo, se ligarmos a esfera à Terra (fig. b), elétrons da Terra fluirão através do fio até a esfera. Este movimento cessa quando a esfera estiver a um potencial elétrico (igual ao; diferente do) da Terra. Em outras palavras, o movimento cessa quando a esfera estiver descarregada.



falta; zero; menor; maior; igual ao

- 8 ■ No exemplo acima, os elétrons fluem para a esfera porque a Terra tem potencial elétrico (maior; menor) que o da esfera positivamente eletrizada.

menor

- 9 ■ Se ligarmos à Terra uma esfera metálica eletrizada negativamente, os elétrons em excesso na esfera fluirão para a Terra porque a esfera tem potencial elétrico (maior; menor) que o da Terra.

menor

- 10 ■ Um corpo condutor eletrizado tem potencial elétrico de -10 volts. Ele é "ligado à Terra". A Terra tem potencial elétrico igual a zero e portanto seu potencial é (maior; menor) que o do corpo condutor. Logo, elétrons (do corpo; da Terra) fluirão para _____ até que o potencial de equilíbrio seja atingido. O potencial de equilíbrio é (0; -10) volts.

maior; do corpo; a Terra; 0

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ A Terra é condutora de eletricidade?
- 2 ■ Qual é o maior condutor elétrico que temos a disposição?
- 3 ■ Que analogia pode ser feita entre o nível do oceano e o potencial elétrico da Terra?
- 4 ■ O nível de potencial da Terra é constante ou variável?
- 5 ■ Para fins práticos, que valor é atribuído ao potencial da Terra?

- 6 ■ Por que é possível fazer esta atribuição arbitrária?
- 7 ■ Nos condutores sólidos, que tipo de partículas se movimentam? Qual é o sinal de sua carga elétrica?
- 8 ■ A Terra é uma fonte inesgotável de elétrons. Certo ou errado?
- 9 ■ Relativamente ao potencial, os elétrons se movimentam
- do maior para o menor.
 - do menor para o maior.
- 10 ■ Se ligarmos um corpo condutor à Terra, qual é o valor do potencial de equilíbrio?
- 11 ■ Se você ligar à Terra um corpo condutor positivamente eletrizado, qual é o sentido de movimento das cargas e que tipo de carga se movimenta? Até quando o movimento perdura?
- 12 ■ Qual é o símbolo da "ligação à Terra"?
- 13 ■ A ligação à Terra pode ser feita com material isolante em termos elétricos? Por quê?

Após isso, você deve estar apto para:

- enunciar características elétricas da Terra como condutor elétrico.
- identificar o fluxo de cargas negativas entre um condutor carregado e a Terra, quando ligados entre si.
- definir "ligação à Terra".

G – ELÉTRON-VOLT: UNIDADE DE ENERGIA

- 1 ■ Você já estudou que uma carga positiva, sob a ação da força do campo elétrico, se movimenta de um potencial maior para um menor. Neste movimento, (não é; é) necessário trabalho externo. A variação de energia da carga é medida pelo produto da carga pela diferença de potencial, ou seja, analiticamente, $\Delta E_p = \underline{\hspace{2cm}}$.
- *****
- não é; $q \cdot \Delta V$
- 2 ■ O comportamento de uma carga negativa (é; não é) oposto ao de uma carga positiva. Sob a ação do campo elétrico, uma carga negativa movimenta-se de um ponto de potencial elétrico (menor; maior) para outro de potencial elétrico $\underline{\hspace{2cm}}$. A variação de energia da carga é medida pelo produto da carga pela $\underline{\hspace{2cm}}$ de $\underline{\hspace{2cm}}$ existente entre os pontos.
- *****
- é; menor; maior; diferença; potencial
- 3 ■ Vimos também que o trabalho W mede a variação de energia. Quando o trabalho é positivo, a carga (aumenta; diminui) sua energia potencial elétrica. Quando negativo, a energia potencial elétrica da carga (aumenta; diminui).
- *****
- aumenta; diminui
- 4 ■ $W = q(V_B - V_A)$. Esta equação nos permite calcular o trabalho mínimo sobre uma carga quando deslocada de um ponto $\underline{\hspace{1cm}}$ de potencial elétrico (V_A ; V_B) para um outro ponto $\underline{\hspace{1cm}}$ de potencial elétrico $\underline{\hspace{1cm}}$. ($V_B - V_A$) é a diferença de potencial entre os pontos A e B.
- *****
- A; V_A ; B; V_B

5 ■ Se a diferença de potencial entre os pontos A e B for de 1 volt e a carga deslocada for de 1 C, então o trabalho realizado será de _____.

1 J

6 ■ A menor quantidade de carga detectada até hoje é a carga existente em um elétron ou em um próton. Esta menor quantidade de carga é denominada carga _____. Um próton possui uma carga de $1,6 \times 10^{-19}$ C ou 1 carga elementar. A carga de um elétron é $-1,6 \times 10^{-19}$ C ou -1 carga elementar. Um íon de ferro, Fe^{++} , possui um excesso de dois prótons. A sua carga é _____ cargas elementares. Em termos de carga elementar, a carga de uma partícula alfa (contém 2 prótons e 2 nêutrons) é _____

elementar; 2; 2 cargas elementares

7 ■ Simboliza-se uma carga elementar com a letra e. Desta forma, a carga de um elétron é -e e a carga de um próton é +e. Se um íon tem carga 4e, isto significa que ele possui um excesso de _____ prótons.

4

8 ■ $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C. Um íon que possui carga 4e terá uma carga de _____ coulombs.

$4 \times 1,6 \times 10^{-19}$

9 ■ Vamos supor agora que do ponto A até o ponto B, cuja diferença de potencial é de 1 volt, seja deslocada uma carga de $1,6 \times 10^{-19}$ C, isto é, uma carga elementar positiva. O trabalho realizado será de _____

$1,6 \times 10^{-19}$ J

10 ■ Com referência ao item 9, se ao invés de uma carga elementar fossem deslocadas 2 cargas elementares, qual seria o trabalho? $W =$ _____ J.

$2 \times 1,6 \times 10^{-19}$ J

11 ■ Definiremos então a quantidade de energia igual a $1,6 \times 10^{-19}$ J como sendo 1 elétron-volt. Simboliza-se elétron-volt por eV. $2 \times 1,6 \times 10^{-19}$ J é igual a _____ eV.

2

12 ■ Entre dois pontos A e B existe uma diferença de potencial de 20 volts. Qual é o trabalho para deslocar uma carga $q = 4e$ de A até B, em joules? $W =$ _____ J.

$W = q(V_B - V_A) = 4 \cdot (1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \cdot 20 \text{ volts} = 80 \times 1,6 \times 10^{-19}$

13 ■ Qual é sua resposta ao item 12 em eV? $W =$ _____

$W = 80 \text{ eV}$ ($1,6 \times 10^{-19}$ J equivale a um elétron-volt)

14 ■ Vamos fazer o seguinte cálculo para o trabalho relativo ao item 12. $W = q(V_B - V_A)$. Vamos substituir q por 4e e a diferença de potencial por 20 volts. Logo, $W = 4e \cdot 20 \text{ volts} = 80 \text{ e} \cdot \text{volts} = 80 \text{ eV}$. Multiplicando-se uma carga elementar (e) por volts resulta a unidade de energia denominada _____

elétron-volt (eV)

- 15 ■ Qual é o trabalho, em elétron-volts, necessário para mover uma partícula com $1,0 \times 10^3$ cargas elementares através de uma diferença de potencial de 50 volts? $W =$ _____

$$W = 10^3 e \times 50 \text{ volts} = 5,0 \times 10^4 \text{ eV}$$

- 16 ■ Entre duas placas metálicas e paralelas existe uma diferença de potencial de 200 volts. Uma partícula com carga $q = 4 \times 10^6 e$ é acelerada quando vai da placa positiva até a negativa, adquirindo a energia de _____ eV ou _____

$$W = 4 \times 10^6 e \times 200 \text{ volts} = 800 \times 10^6 \text{ eV} = 8 \times 10^8 \text{ eV}$$

$$W = 8 \times 10^8 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} = 12,8 \times 10^{-11} \text{ J} \text{ (pois } 1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J)}$$

- 17 ■ Uma partícula alfa possui 2 cargas elementares. Se ela for acelerada ao longo de uma diferença de potencial de 2 000 volts, qual será sua energia final?

$$W = 2e \times 2\,000 \text{ volts} = 4 \times 10^3 \text{ eV} = \text{energia final}$$

- 18 ■ Em Física Nuclear utilizam-se partículas como elétrons, prótons ou partículas alfa para bombardear núcleos de átomos. A análise dos resultados deste bombardeamento serve para pesquisar os segredos dos átomos. Tais partículas são aceleradas em certas máquinas denominadas aceleradores até que atinjam energia cinética da ordem de milhares e milhares de elétron-volts. Os físicos denominam então uma quantidade de 10^6 elétron-volts de 1 MeV e 10^9 elétron-volts de 1 BeV, isto é, milhões de elétron-volts ou bilhões de elétron-volts, respectivamente. Uma partícula que possui uma energia de 2,2 MeV possuirá uma energia de _____ eV.

$$2,2 \times 10^6$$

- 19 ■ Uma partícula com energia $4,0 \times 10^6$ MeV possui energia de _____ eV ou _____ J.

$$4,0 \times 10^{12}; 4,0 \times 1,6 \times 10^{-7} = 6,4 \times 10^{-7}$$

- 20 ■ Um acelerador de partículas potente pode produzir partículas com energia de 30 BeV. Converta esse valor em eV e em J.

$$30 \times 10^9 \text{ eV}; 4,8 \times 10^{-9} \text{ J}$$

- 21 ■ Como você acaba de ver, o elétron-volt é uma quantidade de energia muito pequena se analisado sob o ponto de vista macroscópico. Porém, ela é uma quantidade razoável sob o ponto de vista atômico. Por exemplo, qual é a velocidade de uma partícula alfa de energia cinética de 1 eV, se sua massa é $6,7 \times 10^{-27}$ kg?

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}, \text{ donde } v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (1,6 \times 10^{-19}) \text{ J}}{6,7 \times 10^{-27} \text{ kg}}} \cong 6,9 \times 10^3 \text{ m/s}$$

(A energia cinética de 1 eV deve ser transformada em joules.)

22 ■ Qual é a velocidade de uma massa de 1 kg com energia cinética de 1 eV?

$$v \cong 5,7 \times 10^{-10} \text{ m/s}$$

23 ■ Compare os resultados dos itens 21 e 22. Pelos resultados pode-se verificar que o elétron-volt (é; não é) uma quantidade de energia razoável para partículas de dimensões atômicas.

é

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Qual é a menor quantidade de carga existente na Natureza?
- 2 ■ Qual é o valor em coulombs de uma carga elementar?
- 3 ■ Qual é a carga de um elétron em carga elementar?
- 4 ■ Como se simboliza carga elementar?
- 5 ■ Qual é a carga, em termos de carga elementar, de um íon positivo e bivalente?
- 6 ■ Elétron-volt é uma unidade de _____ .
- 7 ■ Qual é a energia em elétron-volts quando um elétron é acelerado por uma diferença de potencial de 1 volt?
- 8 ■ Quantos joules existem em 1 elétron-volt?
- 9 ■ Como se simboliza elétron-volt?
- 10 ■ O que significa MeV? E BeV?
- 11 ■ Qual é o resultado do produto de carga elementar por volt?
- 12 ■ Elétron-volt é unidade de energia do SI?
- 13 ■ Sob o ponto de vista macroscópico, o elétron-volt é uma quantidade de energia razoável? E sob o ponto de vista atômico?
- 14 ■ Para que são utilizadas partículas como elétrons, prótons e partículas alfa em Física Nuclear?
- 15 ■ Como são denominadas as máquinas para acelerar tais partículas?
- 16 ■ A quantos elétron-volts equivalem 30 BeV?

Após isso, você deve estar apto para:

- a. definir elétron-volt.
- b. comparar elétron-volt com unidade de energia mecânica no SI: $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$.
- c. definir unidades múltiplas do elétron-volt: MeV, BeV.
- d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Um corpo de massa 10,0 g move-se com velocidade $1,0 \times 10^3$ cm/s. Calcule a sua energia cinética em eV.
- 2 ■ Uma partícula alfa (núcleo de hélio) é acelerada por uma diferença de potencial de um milhão de volts em um gerador eletrostático.
 - a) Determine a energia cinética adquirida pela partícula em elétron-volts e em joules.
 - b) Determine a energia cinética que um próton adquiriria, nas mesmas circunstâncias, em elétron-volts e em joules.
- 3 ■ Um tubo de raios catódicos (tubo de TV) acelera elétrons através de uma diferença de potencial de $2,0 \times 10^3$ volts.
 - a) Qual é a energia cinética de um elétron ao atingir a tela fosforescente em elétron-volts e em joules?
 - b) Calcule a velocidade do elétron ao atingir a tela. (massa do elétron = $9,11 \times 10^{-31}$ kg)
- 4 ■ Em um acelerador linear, partículas alfa adquirem energia cinética de $5,0 \times 10^{-2}$ MeV. A que diferença de potencial as partículas estão sujeitas?
- 5 ■ Uma partícula alfa adquire uma energia de 2,0 BeV. Qual a diferença de potencial imposta à partícula?
- 6 ■ Incide-se raios X de um determinado comprimento de onda sobre um bloco de carbono. Os elétrons do bloco, ao serem atingidos frontalmente pelos raios X, adquirem uma energia de $4,73 \times 10^{-17}$ J. Determine a energia em elétron-volts.
- 7 ■ A energia requerida para remover elétrons de um átomo de sódio é 2,3 eV. Se toda a energia for usada para acelerar elétrons, qual é a velocidade que estes adquiririam? (massa do elétron = $9,11 \times 10^{-31}$ kg)
- 8 ■ Um nêutron com energia cinética de 6,0 eV colide frontalmente com um núcleo de hidrogênio em repouso. Determine a velocidade que o núcleo de hidrogênio adquire, supondo a colisão elástica. (massa do próton = $1,67 \times 10^{-27}$ kg)
- 9 ■ Um elétron possui energia cinética de 100 eV.
 - a) Qual é a sua velocidade?
 - b) Qual é a sua quantidade de movimento?
- 10 ■ Qual é a energia cinética de um elétron que “viaja” a 300 m/s? Dê a resposta em: a) joules; b) eV; c) MeV.

RESPOSTAS

- | | |
|--|--|
| 1 ■ $3,1 \times 10^{18}$ eV | 7 ■ $\sim 9,0 \times 10^5$ m/s |
| 2 ■ a) $2,0 \times 10^6$ eV; $3,2 \times 10^{-13}$ J
b) $1,0 \times 10^6$ eV; $1,6 \times 10^{-13}$ J | 8 ■ $\sim 3,4 \times 10^4$ m/s |
| 3 ■ a) $2,0 \times 10^3$ eV; $3,2 \times 10^{-16}$ J
b) $\sim 2,6 \times 10^7$ m/s | 9 ■ a) $v = \sqrt{\frac{2 E_c}{m}} = 5,9 \times 10^6$ m/s
b) $p = mv = 5,4 \times 10^{-24}$ kg m/s |
| 4 ■ $2,5 \times 10^4$ volts | 10 ■ a) $4,10 \times 10^{-26}$ J
b) $\sim 2,6 \times 10^{-7}$ eV
c) $\sim 2,6 \times 10^{-13}$ MeV |
| 5 ■ $1,0 \times 10^9$ volts | |
| 6 ■ 296 eV | |

CAPÍTULO XII

Cargas elétricas em movimento

OBJETIVOS: Ao terminar o estudo do capítulo, espera-se que o estudante seja capaz de:

- a. conceituar força eletromotriz.
- b. definir corrente elétrica.
- c. descrever o movimento de cargas em diversos meios: em condutores sólidos, em líquidos, em gases e no vácuo.
- d. definir intensidade de corrente elétrica.
- e. definir resistência elétrica.
- f. calcular resistência elétrica.
- g. descrever a Lei de Ohm e aplicá-la.
- h. esquematizar e ler um circuito elétrico.
- i. distinguir resistência em série e em paralelo.
- j. calcular variações de energia num circuito elétrico.
- k. calcular resistência equivalente.
- l. resolver problemas envolvendo resistências em série e em paralelo.
- m. identificar e caracterizar um capacitor.
- n. distinguir capacitores em série e em paralelo.
- o. calcular energia acumulada em um capacitor ou conjunto de capacitores.

Em capítulos anteriores, a interação elétrica foi tratada sob o ponto de vista da ação entre cargas e sob o ponto de vista da ação entre a carga e o campo elétrico.

Atribuímos ao espaço que circunda uma carga elétrica, ou uma distribuição de cargas, a noção de campo elétrico e potencial elétrico. Verificamos a natureza vetorial do campo elétrico e a natureza escalar do potencial elétrico.

Desenvolvemos o conceito de linhas de força e superfícies equipotenciais e vimos o sentido do movimento de uma carga elétrica em termos de potencial elétrico. Todavia, tudo isso foi estudado, basicamente, do ponto de vista de cargas elétricas em repouso.

Neste capítulo faremos um estudo de cargas elétricas em movimento. Normalmente, esta área de estudo da eletricidade, de amplas aplicações práticas, é denominada eletrodinâmica.

Definiremos corrente elétrica e estudaremos a maneira pela qual se mantém uma corrente elétrica. Será estudado também o circuito elétrico e o comportamento básico de alguns de seus elementos.

SEÇÃO 1 — FONTE DE FORÇA ELETROMOTRIZ FORÇA ELETROMOTRIZ (FEM)

- 1 ■ Como você já sabe, se uma carga elétrica positiva tiver liberdade de movimento, movimentar-se-á, sob a ação da força de um campo elétrico, para pontos de potencial elétrico cada vez (maior; menor).

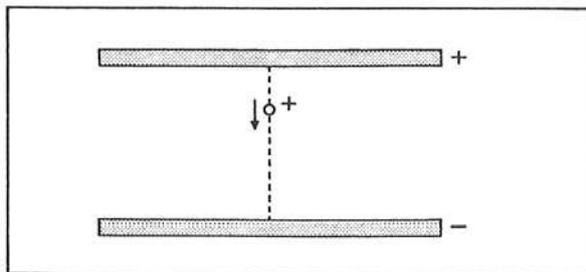
menor

2 ■ Uma carga elétrica negativa, ao contrário da positiva, movimentar-se-á, sob a ação da força de um campo elétrico, para _____

pontos de potencial elétrico cada vez maior

3 ■ Admita o campo uniforme entre duas placas metálicas paralelas eletrizadas com mesma quantidade de carga, porém com sinais opostos.

Se uma carga elétrica se libertar da placa positiva, ela se movimentará, sob a ação da força do campo elétrico, até atingir a _____.



placa negativa

4 ■ Como a placa positiva perde uma carga positiva, ela fica com sua carga total diminuída. A carga positiva, ao atingir a placa negativa, ocasionará (um aumento; uma diminuição) na carga total desta placa.

uma diminuição

5 ■ Portanto, tanto a placa negativa como a positiva sofrerão (um aumento; uma diminuição) em sua carga total. Se a carga total diminui, o campo elétrico entre as placas (aumenta; diminui).

uma diminuição; diminui

6 ■ Se o campo elétrico diminui, a diferença de potencial entre as placas sofrerá (um aumento; uma diminuição).

uma diminuição

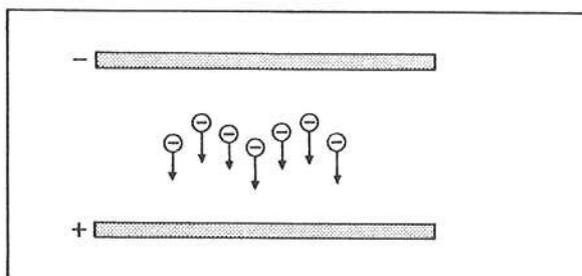
7 ■ Se mais cargas positivas se desprenderem da placa positiva e atingirem a placa negativa, o campo elétrico entre as placas irá _____ ainda mais, porque tanto a placa positiva como a negativa terão a sua carga total (aumentada; diminuída). A diferença de potencial elétrico entre as placas (diminuirá; aumentará) mais.

diminuir; diminuída; diminuirá

8 ■ O movimento de cargas positivas da placa positiva para a placa negativa existirá enquanto houver entre as placas uma diferença de potencial elétrico (igual a; diferente de) zero.

diferente de

9 ■ Admita agora que cargas negativas da placa negativa se libertem e atinjam a placa oposta. A placa negativa ficará então com a sua carga total _____ e, à medida que as cargas negativas atingem a placa positiva, a carga total desta placa sofrerá (um aumento; uma diminuição).



diminuída; uma diminuição

10 ■ Portanto, como no caso anterior, o campo elétrico _____ e a diferença de _____ entre as placas também _____.

diminuirá; potencial elétrico; diminuirá

11 ■ O movimento de cargas negativas da placa negativa para a placa positiva se mantém enquanto houver entre as placas uma _____ de _____ elétrico diferente de zero.

diferença; potencial

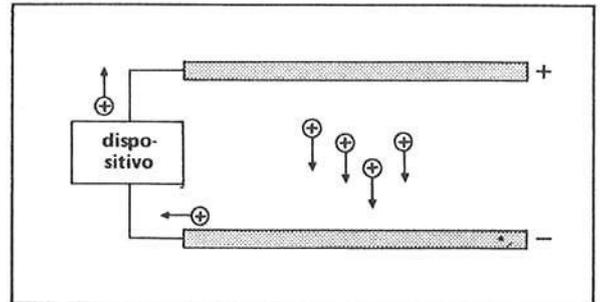
12 ■ Nos dois exemplos acima, o movimento de cargas irá cessar quando entre as placas a diferença de potencial atingir o valor igual a _____.

zero

13 ■ Se quisermos um movimento contínuo de cargas elétricas entre as placas, é necessário que exista uma diferença de potencial diferente de zero; deste modo as placas (devem libertar; não devem libertar) cargas continuamente.

devem libertar

14 ■ Considere o dispositivo ligado às placas por meio de fios condutores, conforme mostra a figura ao lado. Sua função é enviar cargas positivas que atingem a placa negativa de volta à placa positiva. Enquanto o dispositivo funcionar, as cargas positivas (poderão; não poderão) manter-se em movimento contínuo entre as placas.

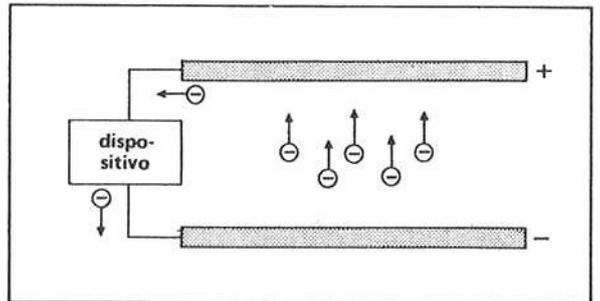


poderão

15 ■ Tal dispositivo permite, então, manter continuamente uma _____ de _____ elétrico entre as placas, garantindo desta forma um movimento contínuo de cargas entre as placas.

diferença; potencial

16 ■ Considere agora o dispositivo da figura ao lado. Sua função é enviar cargas negativas que atingem a placa positiva de volta à placa negativa. Desta forma, o dispositivo (mantém; não mantém) uma diferença de potencial contínua entre as placas, e as cargas negativas poderão se movimentar continuamente da placa negativa para a placa positiva.



mantém

- 17 ■ A função de dispositivos como os descritos nos itens anteriores é manter uma _____ de _____ elétrico diferente de zero entre as placas.
- *****
- diferença; potencial
- 18 ■ Os dispositivos acima mencionados enviam cargas positivas que atingem a placa negativa de volta à placa positiva ou cargas negativas que _____ .
- *****
- atingem a placa positiva de volta à placa negativa
- 19 ■ Uma carga positiva possui energia potencial elétrica maior onde o potencial elétrico for maior. No caso das placas, uma carga positiva terá energia potencial elétrica menor na placa _____ .
- *****
- negativa
- 20 ■ Quando o dispositivo envia uma carga positiva que atingiu a placa negativa de volta à placa positiva, ele “pega” a carga positiva de um ponto onde ela possui baixa energia potencial e “leva” a um ponto onde ela possuirá _____ , que é na placa positiva.
- *****
- alta energia potencial
- 21 ■ Assim procedendo, o dispositivo (realiza; não realiza) trabalho contra o campo elétrico.
- *****
- realiza
- 22 ■ Uma carga negativa possui energia potencial elétrica maior onde o potencial elétrico for (menor; maior). No caso das placas, uma carga negativa terá energia potencial elétrica menor na placa _____ .
- *****
- menor; positiva
- 23 ■ Quando o dispositivo envia uma carga negativa que atingiu a placa positiva de volta à placa negativa, ele realiza trabalho contra o campo elétrico, pois a carga negativa é levada de um ponto onde possui baixa energia potencial, que é na placa positiva, para um ponto onde ela possuirá alta energia potencial, que é na _____ .
- *****
- placa negativa
- 24 ■ Portanto, o dispositivo tem por função levar uma carga elétrica de um ponto onde ela possui baixa energia potencial elétrica para outro onde possui alta energia potencial elétrica. Assim procedendo, o dispositivo (realiza; não realiza) trabalho contra o campo elétrico.
- *****
- realiza
- 25 ■ Tais dispositivos são então denominados **fontes de força eletromotriz**. Essas fontes transportam cargas elétricas de um ponto para outro, realizando trabalho contra o campo elétrico, e mantêm entre estes dois pontos uma _____ de _____ elétrico diferente de zero.
- *****
- diferença; potencial

- 26 ■ Uma fonte de força eletromotriz é qualquer dispositivo que quando ligado a dois pontos (é; não é) capaz de manter uma diferença de potencial diferente de zero.
- *****
- é
- 27 ■ Pilhas de rádio ou de lanternas são fontes de força eletromotriz. Quando ligadas a dois pontos distintos, as pilhas são capazes de manter entre os pontos uma _____ e, se houver movimento de cargas, elas realizarão trabalho sobre as cargas no sentido de movimentá-las (contra o; a favor do) campo elétrico, enviando-as de pontos onde elas possuem baixa energia potencial elétrica para pontos onde elas posuirão alta energia potencial elétrica.
- *****
- diferença de potencial elétrico; contra o
- 28 ■ Uma bateria de carro (é; não é) uma fonte de força eletromotriz.
- *****
- é
- 29 ■ O que caracteriza uma pilha, bateria, ou qualquer outra fonte de força eletromotriz, é a força eletromotriz, ou, abreviadamente, FEM. Ela é definida como o trabalho por unidade de carga. Se chamarmos de W o trabalho para deslocar uma quantidade de carga elétrica Q contra o campo elétrico, a força eletromotriz será dada por ____.
- *****
- $\frac{W}{Q}$
- 30 ■ A força eletromotriz é simbolizada pela letra grega ϵ (épsilon). Logo, $\epsilon = \frac{W}{Q}$, onde W é o _____ para deslocar, contra o campo elétrico, uma quantidade de carga igual a ____.
- *****
- $\frac{W}{Q}$; trabalho; Q
- 31 ■ $\epsilon = \frac{W}{Q}$. Esta expressão define a _____ de uma pilha, bateria, ou qualquer outra fonte de força eletromotriz.
- *****
- força eletromotriz
- 32 ■ Uma bateria remove 3×10^{-6} C de carga da placa negativa e envia de volta à placa positiva, realizando um trabalho de $3,6 \times 10^{-5}$ J. A força eletromotriz da bateria é $\epsilon =$ _____.
- *****
- 12 J/C = 12 volts
- 33 ■ No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de trabalho é _____ e a de carga elétrica é _____; portanto, a unidade que exprime a força eletromotriz é _____.
- *****
- joule; coulomb; volt $\left(\frac{\text{joule}}{\text{coulomb}}\right)$
- 34 ■ A unidade de força eletromotriz é igual à unidade de (força; diferença de potencial; carga; trabalho).
- *****
- diferença de potencial

35 ■ Uma pilha, com um trabalho de $7,5 \times 10^{-6}$ J, consegue remover, contra o campo elétrico, 5×10^{-6} C de carga; ela possui uma força eletromotriz de _____ e quando ligada entre duas placas metálicas é capaz de manter entre estas placas uma diferença de potencial de _____.

1,5 volts; 1,5 volts

36 ■ Pilhas ou baterias de carro são fontes de força eletromotriz, e como tal dispõem energia ao realizar trabalho contra o campo elétrico. A energia química da pilha ou da bateria é que permite a realização de trabalho elétrico. Pilhas ou baterias transformam energia _____ em energia _____.

química; elétrica

37 ■ Geradores também são fontes de força eletromotriz. Nas usinas hidrelétricas ou no próprio carro são utilizados geradores. Eles transformam energia mecânica em energia _____.

elétrica

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Assinale as afirmativas verdadeiras:

- uma carga positiva movimenta-se para potenciais cada vez maiores.
- uma carga negativa movimenta-se para pontos de potencial elétrico cada vez menor.
- uma carga positiva, sob a ação do campo, movimenta-se para pontos de potencial elétrico cada vez menor.
- uma carga negativa, sob a ação do campo, movimenta-se para pontos de potencial elétrico cada vez maior.

2 ■ Quando uma carga negativa abandona uma placa negativa e atinge a positiva:

- o campo elétrico entre as placas aumenta.
- o campo elétrico entre as placas diminui.

3 ■ Quando o campo elétrico entre duas placas diminui, a diferença de potencial elétrico entre as placas diminui. Certo ou errado?

4 ■ Se entre dois pontos não houver diferença de potencial, não haverá movimento de carga elétrica. Certo ou errado?

5 ■ Explique o funcionamento de uma fonte de força eletromotriz.

6 ■ Uma fonte de força eletromotriz remove carga de um ponto de baixa energia potencial elétrica e leva-a para um ponto de alta energia potencial elétrica. Certo ou errado?

7 ■ Uma carga positiva terá energia potencial maior na placa _____.

8 ■ Uma carga negativa terá energia potencial elétrica maior na placa negativa. Certo ou errado?

9 ■ Defina força eletromotriz de uma pilha.

10 ■ Qual é o símbolo de força eletromotriz?

11 ■ Qual é a unidade, no SI, de força eletromotriz?

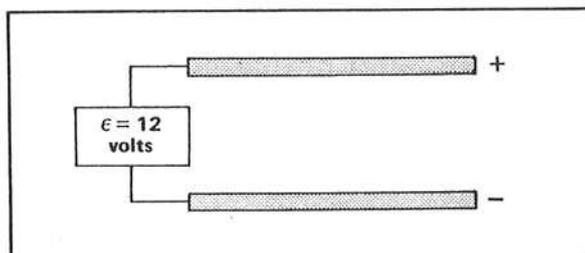
- 12 ■ A força eletromotriz é uma força?
- 13 ■ Qual é o significado de “6 volts” numa bateria de um carro?
- 14 ■ Qual é a transformação de energia que ocorre numa pilha? E num gerador?

Após isso, você deve estar apto para:

- caracterizar a causa mantenedora do movimento de cargas elétricas entre placas paralelas.
- definir fonte de força eletromotriz.
- definir força eletromotriz.
- definir unidade de medida de força eletromotriz no SI.
- explicitar as transformações energéticas que ocorrem numa fonte de força eletromotriz.
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- Uma pilha remove 1 bilhão de elétrons de um ponto de baixa energia potencial e leva para um ponto de alta energia potencial elétrica. Realiza para tal um trabalho de $3,2 \times 10^{-10}$ J. Se a carga de um elétron é $1,6 \times 10^{-19}$ C, qual é a força eletromotriz da pilha?
- Uma bateria de 6,0 volts remove 0,5 C, realizando trabalho contra o campo elétrico. Qual é o trabalho realizado?
- Uma pilha de 1,5 volts realiza um trabalho de $7,5 \times 10^{-6}$ J, ao remover cargas contra a força do campo elétrico. Qual é a quantidade de carga removida?
- Uma bateria de 12 volts é ligada às placas metálicas e paralelas, conforme a figura ao lado. Se a distância entre as placas é de 1,0 cm, qual é o campo elétrico entre as placas?



- No problema 4, qual é o trabalho realizado pela bateria para remover um elétron da placa positiva e enviá-lo de volta à placa negativa?

RESPOSTAS

- $\epsilon = \frac{W}{q} = 2,0$ volts;
- $W = \epsilon \cdot q = 3,0$ J;
- $Q = \frac{W}{\epsilon} = 5 \times 10^{-6}$ C;
- $E = \frac{V}{\Delta d} = 1,2 \times 10^3$ volts/m;
- $W = \epsilon \cdot q = 12 \times 1,6 \times 10^{-19} \cong 1,9 \times 10^{-18}$ J.

SEÇÃO 2 — FONTES DE FORÇA ELETROMOTRIZ — A PILHA VOLTAICA — HISTÓRICO

O século XVIII havia apresentado um progresso sensível no estudo dos fenômenos elétricos, porém os conhecimentos adquiridos em Eletricidade quase que se limitavam ao que hoje chamamos de fenômenos estáticos. Eram objeto de estudo os corpos eletrizados por atrito e por indução; havia-se especulado sobre a natureza da carga elétrica e Coulomb já determinara a lei da atração entre cargas elétricas. Por outro lado, a sociedade havia se assombrado com as demonstrações públicas do choque elétrico, já uma detecção da corrente elétrica. Os fenômenos elétricos ainda permaneciam envoltos em mistério e adquiriam uma roupagem mágica na mente dos homens. Para os cientistas abria-se um campo de fenômenos desconhecidos que era preciso pesquisar. Mesmo pesquisadores de outras especialidades que não a Física mostravam-se interessados pela Eletricidade.

A ELETRICIDADE ANIMAL

Se não fosse assim, parecer-nos-ia incrível que um anatomista como Luigi Galvani (1737-1798), da cidade de Bolonha, na Itália, fazendo experiências sobre a suscetibilidade dos nervos à irritação, tivesse em sua mesa de laboratório uma máquina elétrica (nome que então se dava aos artefatos de armazenagem de carga elétrica, por atrito ou por indução). Era o ano de 1792. Galvani estava fazendo experiências com pernas de rãs dissecadas, quando ocorreu um fato estranho: um de seus assistentes, tendo tocado com o escapelo no nervo crural interior, observou uma convulsão violenta da perna da rã. Outro pesquisador presente notou que neste momento soltara-se uma faísca da máquina elétrica.

Galvani supôs tratar-se de um fenômeno elétrico e planejou uma série de experiências a fim de elucidá-lo. Uma de suas experiências voltava-se para a utilização de relâmpagos, que Benjamin Franklin descobrira serem de natureza elétrica. Galvani utilizava ganchos de cobre passando pela medula espinal da perna de rã, ligados ao ferro da veneziana da janela. Desta forma, poderia observar se a perna de rã se mostrava sensível também à eletricidade liberada pelos relâmpagos, que conduzida pela atmosfera, seria armazenada pela veneziana metálica. Observou continuamente as contrações, em dias de tempestade, o que confirmava sua hipótese de que o "fluido elétrico" liberado pelos relâmpagos atuaria sobre a perna da rã. Porém, experiências posteriores mostraram que o mesmo fenômeno ocorria se a experiência fosse realizada em uma sala fechada, quando os ganchos de cobre eram ligados diretamente a uma placa de ferro sobre a qual a perna de rã estivesse assentada. A partir desta constatação, o fator da condição atmosférica foi

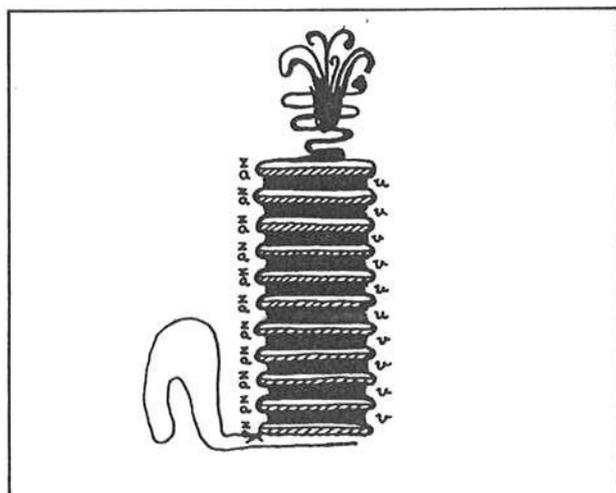
eliminado e o cientista concluiu que o segredo da ocorrência devia estar no contato dos dois metais, o cobre e o ferro, que formavam assim um circuito metálico fechado, pelo qual a eletricidade circulava. A explicação dada por Galvani foi a de que o tecido vivo armazenava um excesso de eletricidade que seria conduzido dos nervos para os músculos através do condutor metálico. Ou seja, Galvani concluiu pela existência da eletricidade animal: os corpos vivos conteriam eletricidade que poderiam liberar. Provavelmente sua conclusão foi influenciada por uma outra descoberta da época: das expedições marítimas à Ásia e América do Sul, chegaram à Europa espécimes do "peixe elétrico" que pareciam armazenar eletricidade do mesmo modo que um corpo atritado. Seria esta uma característica comum a todos os seres vivos? Somente experiências posteriores puderam trazer alguma luz sobre este fenômeno.

A PILHA DE VOLTA

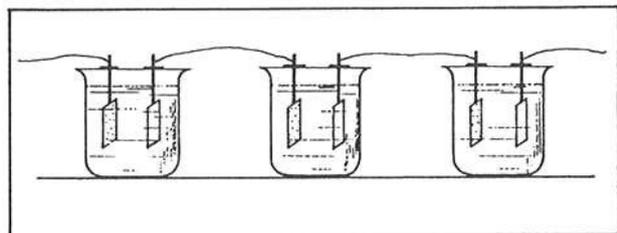
Um outro italiano, Alessandro Volta (1745-1827), professor de Filosofia da Natureza na Universidade de Pavia, estimulado pelas experiências de Galvani, interessou-se também pela pesquisa dos fenômenos elétricos em relação com os seres vivos. Depois de refazer as experiências de Galvani, Volta tornou-se partidário da teoria do galvanismo ou eletricidade animal.

Porém, entre os fatos que vieram modificar a sua opinião, estava a redescoberta de uma observação feita em 1754, pelo suíço Sulzer, de que se colocasse a língua entre dois discos de metais distintos, e ligados por um fio metálico, a sensação era a mesma que no contato da língua com os pólos de uma máquina elétrica. Além disso, Volta observou que não ocorria contração muscular da perna da rã se um único metal fechasse o circuito. Isso invalidava a tese do galvanismo, visto que se existisse eletricidade animal sua manifestação se faria por qualquer condutor metálico e não necessariamente por um circuito formado por dois metais distintos.

Depois de especular sobre o fenômeno, Volta introduziu a idéia de que o fato devia-se ao contato de dois metais distintos com os humores do corpo vivo (fluidos existentes no corpo vivo) e não à existência da eletricidade animal. Suas pesquisas levaram-no a construir, no começo do ano de 1800, uma pilha elétrica, que constava de um número grande de pares de placas metálicas separadas por tiras de papelão embebidas em salmoura. Um dos metais era zinco e o outro cobre ou prata, tendo Volta observado que na pilha o zinco adquiria uma carga positiva, enquanto que o cobre adquiria uma carga negativa.



Volta construiu também uma bateria, que constava de vários recipientes com salmoura, em que estavam imersas placas de dois tipos de metais, intercaladas e ligadas por fios metálicos.



Se alguém tocasse simultaneamente as duas extremidades da pilha ou da bateria, recebia um choque elétrico semelhante aos experimentos com a botelha de Leyden. Tratava-se assim de um fenômeno elétrico, só que enquanto que com a botelha de Leyden a descarga como que exauria a eletricidade armazenada, a pilha e a bateria pareciam ter um suplemento inexaustivo de eletricidade.

As primeiras pilhas construídas por Volta eram fontes muito fracas de força eletromotriz, porém com seu aprimoramento iniciava-se o estudo dos fenômenos relacionados às cargas elétricas em movimento e particularmente o estudo das correntes elétricas.

A PROCURA DA EXPLICAÇÃO DAS FONTES DE FORÇA ELETROMOTRIZ

Por outro lado, tentava-se explicar a pilha elétrica. Como vimos, a explicação de Volta baseava-se no contato de metais distintos, o papelão umedecido tendo uma participação passiva.

Porém, a observação de que na pilha voltaica a placa de zinco mostrava-se oxidada no final da experiência, foi o primeiro passo dado para o relacionamento de dois campos que até então eram desligados: a Química e a Eletricidade. E as primeiras experiências feitas com a pilha também indicavam esta direção. Em 1800, dois cientistas ingleses, W. Nicholson (1753-1815) e A. Carlisle (1768-1840), observaram pela primeira vez o fenômeno da eletrólise da água: a água em que estavam imersas as placas metálicas decompunha-se; bolhas de um gás inflamável (hidrogênio) foram liberadas em uma das extremidades, enquanto que o outro fio tornou-se oxidado.

Humphry Davy (1778-1829), ainda em 1800, concluiu por uma teoria química da pilha voltaica: a oxidação do zinco e as mudanças químicas que ocorriam eram de tal modo que causavam os fenômenos elétricos. Tudo parecia indicar que os fenômenos elétricos estivessem estreitamente ligados à própria estrutura atômica das substâncias.

Já por meados do século XIX, a formulação da hipótese da transformação da energia de uma forma a outra veio trazer um novo dado à compreensão da pilha voltaica. Tratava-se da transformação da energia liberada pela reação química em energia elétrica. Porém, foi somente com a elaboração da teoria da estrutura dos átomos, no século XX, que se chegou a uma compreensão mais profunda da transformação da energia química em elétrica, nas fontes de força eletromotriz.

**SEÇÃO 3 – CONCEITO DE CORRENTE ELÉTRICA
MOVIMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS**

- EM CONDUTORES SÓLIDOS
- EM LÍQUIDOS
- EM GASES
- NO VÁCUO

1 ■ Um átomo normal é eletricamente neutro porque possui igual quantidade de prótons e elétrons. A carga de um próton é $+1,6 \times 10^{-19}$ C ou +1 carga elementar e a de um elétron é _____ C ou _____ carga elementar.

$-1,6 \times 10^{-19}$; -1

2 ■ Os nêutrons, que também fazem parte da constituição de um átomo, (influem; não influem) na carga de um átomo porque eles (possuem; não possuem) carga elétrica.

não influem; não possuem

3 ■ Os átomos podem perder ou ganhar elétrons. Se um átomo perder um elétron, ele fica com excesso de carga _____, tornando-se um íon positivo.

positiva

4 ■ Um átomo que ganhar um elétron ficará com excesso de carga _____, tornando-se um _____.

negativa; íon negativo

5 ■ Íons são átomos que _____ ou _____ elétrons. Um íon positivo é um átomo que (perdeu; ganhou) elétrons.

perderam; ganharam; perdeu

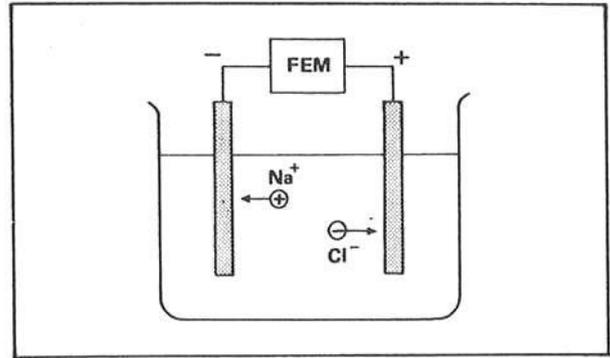
6 ■ O átomo de sódio (Na) tem tendência de perder um elétron, tornando-se um _____. O átomo de cloro (Cl) tem tendência de ganhar um elétron, tornando-se um _____.

íon positivo; íon negativo

7 ■ O sal de cozinha é uma substância química denominada cloreto de sódio. Ele é composto de um átomo de sódio e um de cloro (NaCl). Quando em solução aquosa, se dissocia em íons: íons de sódio positivos (Na^+) e íons de cloro negativos (Cl^-). (Uma solução que contém íons é chamada solução iônica.) Na dissociação, cada átomo de sódio (ganhou; perdeu) um elétron e cada átomo de cloro _____ um elétron.

perdeu; ganhou

8 ■ A figura ao lado representa um recipiente contendo uma solução de água e sal. Duas placas metálicas ligadas a uma bateria são imersas na solução. Na solução existem íons Na^+ e íons Cl^- . A função da bateria é manter uma _____ de _____ elétrico entre as placas.



diferença; potencial

9 ■ Os íons de uma solução iônica podem se movimentar com certa facilidade. No caso do item 8, os íons Na^+ , sob a ação da força do campo elétrico, movimentam-se para a placa _____ e os íons Cl^- para a _____.

negativa; placa positiva

10 ■ O movimento das cargas elétricas constitui a corrente elétrica. O movimento dos íons positivos de sódio na solução do item 8 (constitui; não constitui) corrente elétrica.

constitui

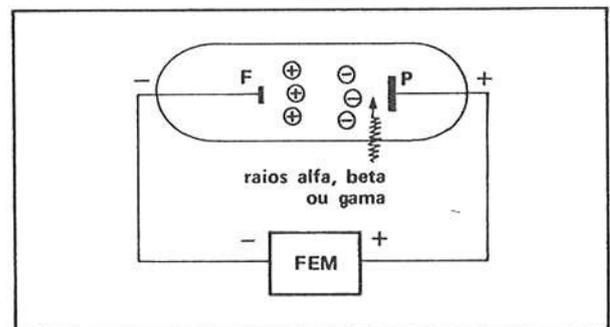
11 ■ O movimento dos íons negativos do cloro para a placa positiva (constitui; não constitui) corrente elétrica.

constitui

12 ■ Nas soluções iônicas (meio líquido), a corrente elétrica é constituída pelo movimento de (íons positivos; íons negativos; íons positivos e íons negativos; elétrons; nêutrons).

íons positivos e íons negativos

13 ■ A figura ao lado esquematiza um tubo de contador Geiger utilizado para detectar radioatividade. Ele é constituído de um tubo no interior do qual existe uma mistura de gases à baixa pressão. Os elétrodos (condutores) P e F são ligados a uma fonte de FEM que mantém entre os mesmos uma diferença de potencial elétrico. O elétrodo F é (negativo; positivo) e o elétrodo P é _____.



negativo; positivo

14 ■ Quando o tubo é exposto à radiação, os raios beta (β), alfa (α) ou gama (γ) atravessam o tubo, interagem com as moléculas do gás e arrancam elétrons dessas moléculas. Em outras palavras, quando esses raios atravessam o gás dentro do tubo, observa-se a ionização do gás: formam-se íons positivos do gás e elétrons. Os íons do gás são positivos porque os raios (arrancam; não arrancam) elétrons das moléculas do gás.

arrancam

15 ■ Para cada íon positivo do gás tem-se também um elétron. Como existe uma diferença de potencial entre os eletrodos P e F, (haverá; não haverá) movimento de cargas elétricas dentro do tubo.

haverá

16 ■ Os íons positivos do gás movimentar-se-ão para o eletrodo _____ e os elétrons para o eletrodo _____.

F; P

17 ■ O movimento dos íons positivos (constitui; não constitui) uma corrente elétrica. O movimento dos elétrons também constitui uma _____.

constitui; corrente elétrica

18 ■ Quando um raio gama atravessa um gás, ocorre o processo de ionização. Na interação do raio gama com as moléculas do gás, elétrons (são; não são) arrancados das moléculas, formando pares de elétrons e íons positivos do gás.

são

19 ■ Quando raios beta ou alfa atravessarem o gás, (ocorre; não ocorre) o fenômeno da ionização.

ocorre

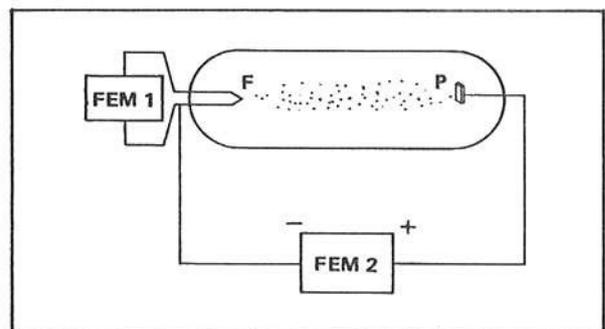
20 ■ No caso do tubo descrito no item 13, se não houver ionização do gás (haverá; não haverá) movimento de cargas no interior do tubo.

não haverá (gás não ionizado é eletricamente neutro)

21 ■ Portanto, em gases, a corrente elétrica é constituída pelo movimento de íons positivos e _____. Se o gás não for ionizado, (poderá; não poderá) existir movimento de cargas elétricas.

elétrons; não poderá

22 ■ O esquema ao lado representa uma válvula eletrônica. Consiste essencialmente em um tubo evacuado (sem gás), um filamento F e uma placa coletora P. A fonte de FEM 1 serve para aquecer o filamento F. A fonte de FEM 2 está ligada ao filamento e à placa. Pelo esquema de ligação, a placa coletora P fica (positiva; negativa) e o filamento F fica _____.



positiva; negativo

23 ■ O filamento F é aquecido pela fonte de FEM 1. Ao ser aquecido, o filamento emite elétrons. Algo análogo é o fato de a água, ao ser aquecida, liberar moléculas de água em forma de vapor. Qualquer metal aquecido tem a propriedade de liberar elétrons. Este fenômeno é denominado efeito termoiônico. O efeito termoiônico consiste no fato de metais aquecidos _____ elétrons.

liberarem

- 24 ■ Como existe uma diferença de potencial entre os filamentos F e a placa coletora P, os elétrons liberados do filamento aquecido (serão; não serão) acelerados pela força do campo elétrico em direção à placa coletora P.

serão

- 25 ■ Dentro deste tubo evacuado existem (íons positivos; íons negativos; só elétrons).

só elétrons

- 26 ■ O movimento de elétrons do filamento F até a placa coletora P no vácuo (constitui; não constitui) uma corrente elétrica.

constitui

- 27 ■ Vejamos agora que tipo de partículas podem se locomover dentro de um condutor sólido e metálico de modo que constitua uma corrente elétrica. Já vimos que uma das características dos metais é o fato de possuir elétrons livres, isto é, elétrons que (podem; não podem) se mover, sob a ação de força elétrica, com certa facilidade.

podem

- 28 ■ O fato de existir elétrons livres nos metais decorre da própria estrutura da ligação metálica, que não será objeto de estudo neste curso. Numa solução iônica de um sal (existe; não existe) elétrons livres.

não existe

- 29 ■ Suponha o esquema ao lado. AB representa um condutor metálico ligado a uma fonte de FEM. A fonte mantém uma diferença de potencial entre A e B. Pelo esquema, a extremidade B é (positiva; negativa) e a extremidade A é _____.

positiva; negativa

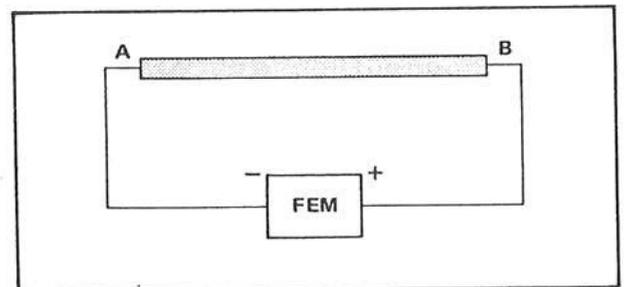
- 30 ■ Os elétrons movem-se, dentro do condutor, de (A para B; B para A), pois o potencial em B é maior que em A.

A para B

- 31 ■ À medida que os elétrons livres atingem B, a fonte envia-os de volta à extremidade A, (realizando; não realizando) um trabalho contra o campo elétrico.

realizando

- 32 ■ Enquanto a fonte de FEM mantiver uma diferença de potencial entre A e B, (haverá; não haverá) movimento de elétrons no condutor.



haverá

- 33 ■ O movimento de elétrons livres dentro de condutores metálicos e sólidos (constitui; não constitui) uma corrente elétrica.

constitui

- 34 ■ Nos condutores sólidos e metálicos, a corrente elétrica é constituída de (íons positivos; íons negativos; prótons; elétrons; nêutrons).

elétrons

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Por que um átomo normal é eletricamente neutro?
- 2 ■ Nêutrons possuem carga elétrica?
- 3 ■ O que é um íon positivo? E negativo?
- 4 ■ A tendência de um átomo de sódio é ganhar um elétron. Certo ou errado?
- 5 ■ Na dissolução do cloreto de sódio há formação de íons? Quais?
- 6 ■ Qual é a função da bateria ligada às placas imersas na solução de cloreto de sódio?
- 7 ■ Em que sentido se movem os íons Na^+ e Cl^- na solução de cloreto de sódio quando as placas estiverem ligadas a uma bateria?
- 8 ■ O que constitui a corrente elétrica?
- 9 ■ O movimento de íons Na^+ constitui uma corrente elétrica? E o movimento de íons Cl^- ?
- 10 ■ Que tipos de partículas podem se locomover dentro de líquidos?
- 11 ■ Que tipos de radiação podem atingir o contador Geiger descrito nesta seção?
- 12 ■ Quando raios alfa atingem o gás rarefeito do contador Geiger, ocorre uma ionização. Descreva essa ionização.
- 13 ■ Na ionização do gás forma-se o par:
 - a. íons positivo e negativo do gás.
 - b. prótons e elétrons.
 - c. íon positivo do gás e elétron.
 - d. elétron e elétron.
- 14 ■ Em que consiste a corrente elétrica num gás ionizado como no caso do contador Geiger quando o tubo é atravessado por uma radiação?
- 15 ■ Existe gás no interior da válvula eletrônica. Certo ou errado?

- 16 ■ Para que serve a fonte de FEM 1 no esquema que representa a válvula? E a fonte de FEM 2?
- 17 ■ A placa coletora deve ficar positiva ou negativa em relação ao filamento F?
- 18 ■ Em que consiste o efeito termoiônico?
- 19 ■ Que tipo de partículas se movimentam no interior de uma válvula eletrônica em funcionamento?
- 20 ■ A corrente elétrica, no interior da válvula em funcionamento, é constituída de elétrons. Certo ou errado?
- 21 ■ O que são elétrons livres?
- 22 ■ De que se constitui a corrente elétrica em um condutor metálico?

Após isso, você deve estar apto para:

- definir íons.
- conceituar corrente elétrica.
- caracterizar corrente elétrica em líquidos.
- caracterizar corrente elétrica em gases.
- definir efeito termoiônico.
- caracterizar corrente elétrica no vácuo.
- identificar o elemento constituinte da corrente elétrica em condutores sólidos.
- comparar as características da corrente elétrica em líquidos, gases, sólidos e no vácuo.

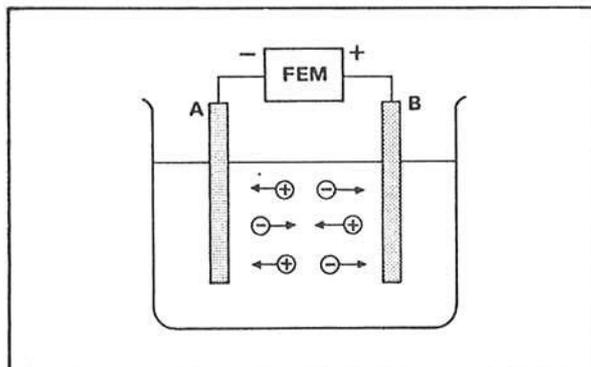
TRABALHO A REALIZAR

Agora você poderá fazer, com a orientação de seu professor, ou até mesmo em casa, a Experiência 1 à pág. 295.

SEÇÃO 4 – INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA: $I = \frac{Q}{\Delta t}$

UNIDADE DE INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA NO SI: ampère (A)
SENTIDO CONVENCIONAL DA CORRENTE

- 1 ■ A figura ao lado mostra uma solução iônica. As placas A e B estão imersas na solução. Como a placa A é negativa e a B positiva, entre elas (existe; não existe) campo elétrico. O campo elétrico é dirigido da placa _____ para a placa _____.



existe; B; A

- 2 ■ Os íons positivos dirigem-se para a placa A porque as cargas positivas, sob a ação da força do campo elétrico, movimentam-se (no mesmo sentido; no sentido oposto ao) do campo elétrico. Os íons negativos dirigem-se para a placa B porque as cargas negativas sempre _____

no mesmo sentido; se movimentam no sentido oposto ao do campo elétrico

3 ■ Na figura do item 1, os íons movimentam-se dentro da solução. Logo, (existe; não existe) corrente elétrica na solução.

existe

4 ■ Numa solução iônica os íons se formam aos pares; portanto, existe a mesma quantidade de íons positivos e negativos. Admita, então, que num determinado intervalo de tempo $\Delta t = 3,0$ s, a carga total dos íons positivos que se dirigem para a placa A seja $Q_{(+)} = 3,0 \times 10^{-3}$ C. Neste mesmo intervalo de tempo, a carga total dos íons negativos que se dirigem para a placa B é $Q_{(-)} =$ _____, porque a sua quantidade absoluta é igual à dos íons positivos.

$-3,0 \times 10^{-3}$ C

5 ■ Definimos a intensidade de corrente elétrica I como sendo a quantidade total de cargas, tomadas em módulo, que passa por segundo num determinado ponto ou lugar. Simbolicamente: $I = \frac{Q}{\Delta t}$. No item 4, $\Delta t =$ _____ e $Q = (0; 6,0 \times 10^{-3}$ C), pois a carga Q é a soma dos módulos das cargas. Portanto, $I =$ _____ (número e unidade).

3,0 s; $6,0 \times 10^{-3}$ C; $2,0 \times 10^{-3}$ C/s

6 ■ Portanto, nas condições do item 4, a intensidade da corrente elétrica é $I = 2,0 \times 10^{-3}$ C/s, isto é, em cada segundo passa na solução uma quantidade de $2,0 \times 10^{-3}$ C de carga elétrica. A unidade derivada C/s foi denominada ampère (A) em homenagem ao físico francês Andrés Marie Ampère. Logo, a corrente elétrica, na situação descrita no item 4, tem intensidade $I =$ _____ (número e unidade).

$2,0 \times 10^{-3}$ ampères ou $2,0 \times 10^{-3}$ A

7 ■ A unidade de medida de corrente elétrica, no SI de unidades, é portanto o ampère (A).

Existem unidades submúltiplas de ampère, amplamente usadas. As mais conhecidas são: miliampère (mA), que corresponde à milésima fração de ampère, ou seja, $1 \text{ mA} = 1 \times 10^{-3}$ A, e o microampère (μA), que corresponde a 1×10^{-6} A. Logo,

$$2,5 \text{ A} = \text{_____ mA} = \text{_____ } \mu\text{A}$$
$$\text{e } 4,0 \times 10^3 \mu\text{A} = \text{_____ mA} = \text{_____ A.}$$

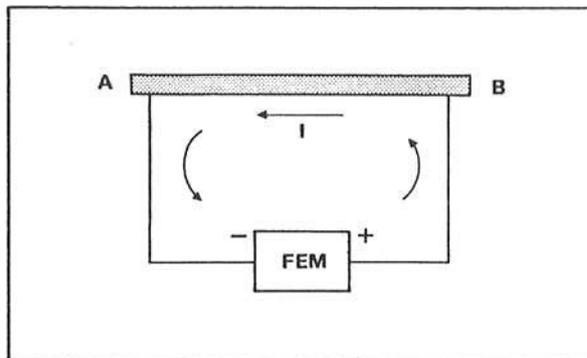
$2,5 \times 10^3$; $2,5 \times 10^6$; 4,0; $4,0 \times 10^{-3}$

8 ■ Convencionalmente atribui-se um "sentido" para a corrente elétrica. Como temos dois tipos de cargas, o sentido da corrente elétrica é considerado, por convenção, igual ao sentido de movimento de cargas positivas quando sob a ação do campo elétrico. Na solução iônica do item 1, o sentido da corrente elétrica convencional é da placa _____ para a placa _____, portanto (oposto ao sentido do; se mesmo sentido que o) movimento das cargas negativas.

B; A; oposto ao sentido do

9 ■ Portanto, o sentido convencional da corrente elétrica (é; não é) oposto ao sentido do movimento de cargas elétricas negativas sob a ação do campo elétrico. Se uma corrente elétrica for formada pelo movimento de elétrons dirigindo-se para a esquerda, o sentido convencional da corrente elétrica será para a (esquerda; direita).

- 15 ■ Considere uma fonte de FEM ligada a um condutor metálico AB conforme ilustra a figura ao lado. A fonte de FEM estabelece uma diferença de potencial entre A e B de modo que os elétrons livres do condutor se movimentem de (A; B) para ____ constituindo uma ____ elétrica. O sentido da corrente elétrica convencional é de ____ para ____ no condutor. Na fonte de FEM o sentido da corrente elétrica convencional é do pólo ____ para o pólo ____.



A; B; corrente; B; A; negativo; positivo

- 16 ■ $I = \frac{Q}{\Delta t}$. Esta equação nos permite calcular a ____ da corrente elétrica. Se quisermos determinar a quantidade total de carga Q que flui em um intervalo de tempo Δt , devemos multiplicar a intensidade da corrente elétrica I pelo intervalo de tempo. Simbolicamente, $Q =$ ____.

intensidade; $I \cdot \Delta t$

- 17 ■ Uma corrente $I = 3,0$ A flui durante 10 s. A quantidade total de carga é $Q =$ ____.

$Q = I \cdot \Delta t = 3,0 \times 10 \text{ As} = 30 \text{ C}$

- 18 ■ O produto ampère X segundo (corresponde; não corresponde) a coulomb, isto é, equivale à unidade de carga elétrica. Quantos coulombs de carga existem em 1 Ah? (1 ampère X hora).

corresponde ($\text{As} = \frac{\text{C}}{\text{s}} \cdot \text{s} = \text{C}$); $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$, logo, $Q = 1 \text{ ampère} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ As} = 3600 \text{ C}$

- 19 ■ Na especificação de uma certa bateria de 12 volts está escrito 80 Ah. Isto significa que a bateria quando completamente carregada pode fornecer uma corrente de 80 A durante (1 h; 1 s) ou 40 A durante ____ horas. A carga máxima, em coulombs, desta bateria é $Q =$ ____.

1 h; 2; $80 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} = 288000 \text{ As} = 2,88 \times 10^5 \text{ C}$

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Como se define intensidade de corrente elétrica?
- 2 ■ Qual é a expressão que permite calcular a intensidade de corrente?
- 3 ■ Qual é a unidade de corrente elétrica no SI?
- 4 ■ Que denominação foi dada a 1 C/s ? Em homenagem a quem?
- 5 ■ Qual é o sentido da corrente convencional? É igual ao sentido de movimento das cargas positivas? Explique.

- 6 ■ O sentido da corrente convencional é sempre oposto ao movimento dos elétrons. Sim ou não?
- 7 ■ Na fonte de FEM a corrente convencional é do pólo positivo para o pólo negativo. Certo ou errado?
- 8 ■ Numa solução iônica as placas estão ligadas a uma fonte de FEM. Dentro da solução a corrente convencional é da placa positiva para a negativa e na fonte, é do pólo negativo para o positivo. Certo ou errado?
- 9 ■ O produto da corrente pelo intervalo de tempo corresponde a uma carga elétrica. Sim ou não?
- 10 ■ Quantos coulombs existem em 1 ampère × hora?

Após isso, você deve estar apto para:

- conceituar intensidade de corrente elétrica.
- definir a unidade de medida de corrente elétrica no SI de unidades.
- caracterizar o sentido convencional da corrente elétrica.
- calcular corrente elétrica.
- explicitar ampère × hora e ampère × segundo.
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- Durante 10,0 s fluem $1,0 \times 10^{20}$ elétrons ao longo de um fio. Qual é a intensidade da corrente elétrica?
- Por um ponto em um fio metálico passam 30 C de carga em 2,0 s. Qual é a intensidade da corrente elétrica?
- Numa solução iônica, $3,0 \times 10^{15}$ íons positivos fluem para a placa negativa, enquanto igual número de íons negativos fluem para a placa positiva, em cada 1,0 s. Se a carga de cada íon positivo é $1,6 \times 10^{-19}$ C e a de cada íon negativo é $-1,6 \times 10^{-19}$ C, determine a intensidade da corrente elétrica e o sentido da corrente convencional.
- $3,0 \times 10^{15}$ íons positivos simples fluem do ânodo (placa positiva) para o cátodo (placa negativa) e $2,0 \times 10^{15}$ íons negativos, também simples, fluem do cátodo para o ânodo, em 1,0 s, numa solução eletrolítica (iônica). Qual é a intensidade e o sentido convencional da corrente na solução?
- $3,0 \times 10^{15}$ elétrons livres fluem do cátodo para o ânodo, em 0,1 s, dentro de um tubo de vácuo. Qual é a intensidade da corrente elétrica? Qual é o sentido da corrente convencional?
- Um capacitor perde $1,0 \times 10^{-6}$ C de carga em $1,0 \times 10^{-3}$ s. Qual é a intensidade da corrente?

RESPOSTAS

- $I = 1,6$ A;
- $I = 15$ A;
- $I = 9,6 \times 10^{-4}$ A, sentido dos íons positivos;
- $I = 8,0 \times 10^{-4}$ A, sentido contrário ao movimento dos íons negativos;
- $I = 4,8 \times 10^{-3}$ A, sentido oposto ao movimento dos elétrons;
- $I = 1,0 \times 10^{-3}$ A.

SEÇÃO 5 – RESISTÊNCIA ELÉTRICA LEI DE OHM

Um fluxo de cargas elétricas em um condutor é consequência, como já foi visto, da aplicação de uma diferença de potencial entre dois pontos desse condutor. Nota-se, todavia, que dependendo do condutor o fluxo terá valores diversos para uma mesma diferença de potencial. A causa disso é a “resistência” que os condutores oferecem ao movimento das cargas.

Pode-se mostrar, experimentalmente, que para muitos condutores existe uma relação proporcional entre as grandezas diferença de potencial e fluxo de cargas, cuja razão é o valor da resistência. Tal relação é conhecida como a Lei de Ohm, amplamente utilizada para montagem e análise de circuitos elétricos.

Desenvolveremos a seguir o conceito de resistência elétrica e a Lei de Ohm, bem como uma análise de condutores que não obedecem a essa lei.

A – CONCEITO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA LEI DE OHM

- 1 ■ Nas seções anteriores foi visto que uma corrente elétrica é constituída por um fluxo de cargas elétricas. Num condutor metálico a corrente elétrica é caracterizada pelo movimento de (elétrons livres; prótons; íons). A sua unidade no SI é _____

elétrons livres; ampère (C/s = A)
- 2 ■ Sempre que estabelecemos uma diferença de potencial nos extremos de um fio metálico (existe; não existe) corrente elétrica.

existe
- 3 ■ Ao se movimentarem em um condutor metálico, sob a influência de uma diferença de potencial, os elétrons (encontram; não encontram) resistência ao seu movimento.

encontram
- 4 ■ A estrutura metálica é formada de agrupamentos de átomos de que é constituído o condutor metálico e ela oferece resistência ao movimento de elétrons.
Algo semelhante pode ser observado no movimento de queda livre de uma pedra em água. A pedra cai em movimento de velocidade constante ao invés de acelerado (queda livre no ar). Isto se explica pelo fato de que, durante a queda, as moléculas da água oferecem _____ ao movimento da pedra.

uma resistência (no caso hidrostática)
- 5 ■ Outro exemplo é o movimento de íons em uma solução iônica. Ao se movimentarem na solução, sob a influência de uma diferença de potencial, os íons (encontram; não encontram) resistência das moléculas que constituem a solução.

encontram

6 ■ Portanto, uma corrente elétrica, quando flui através de um condutor elétrico, encontra sempre uma _____ ao seu livre movimento.

resistência

7 ■ Os condutores, então, (oferecem; não oferecem) resistência à corrente elétrica.

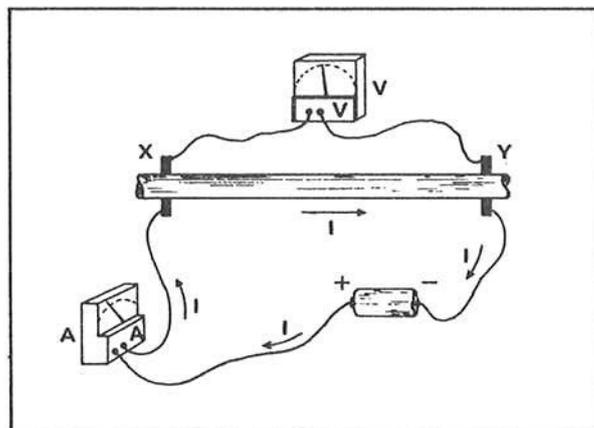
Todo condutor possui uma **resistência** à corrente elétrica. Um condutor terá maior **resistência elétrica** quanto (maior; menor) for a sua oposição ao movimento de cargas no seu interior, ou seja, à corrente elétrica.

oferecem; maior

8 ■ Todos os condutores possuem, então, uma _____.

resistência elétrica

9 ■ A figura ao lado representa um circuito elétrico. XY é um condutor metálico. O instrumento A é um medidor de corrente elétrica e o instrumento V é um medidor de diferença de potencial. A corrente elétrica flui no sentido horário, mas os elétrons se movimentam no sentido _____, pois o sentido convencional da corrente elétrica é oposto ao dos elétrons.



anti-horário (vide seção 2)

10 ■ No circuito elétrico do item 9, a corrente I que flui através do condutor XY (passa; não passa) pelo medidor de corrente A. O medidor de corrente é chamado **amperímetro**.

O **amperímetro** (mede; não mede) então o valor da corrente elétrica que passa pelo condutor XY.

passa; mede

11 ■ O medidor de diferença de potencial, simbolizado pela letra _____ na figura do item 9, mede a _____ de _____ elétrico nos extremos do condutor metálico XY.

V; diferença; potencial

12 ■ No SI de unidades a corrente elétrica é medida em _____ e a diferença de potencial em _____.

ampères; volts

13 ■ Na prática o termo **diferença de potencial** também é denominado **voltagem**. Se, entre os extremos XY do condutor ilustrado no item 9, a diferença de potencial medida no voltímetro for igual a 1,2 volts, pode-se dizer também que a _____ é de 1,2 volts.

voltagem

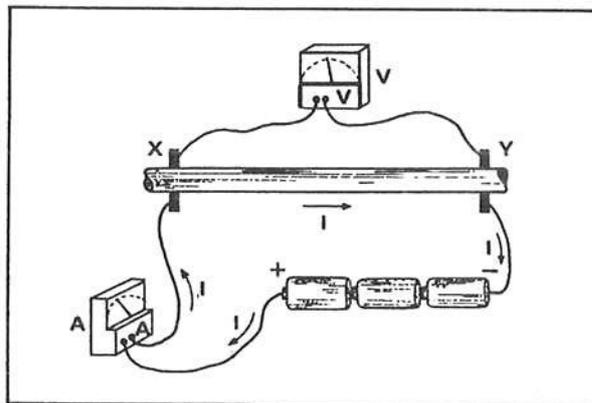
14 ■ Diferença de potencial e voltagem (são; não são) palavras sinônimas para designar uma mesma grandeza física.

são

15 ■ No esquema da figura do item 9, podemos aumentar a voltagem ou _____ de _____ elétrico entre os extremos do condutor metálico XY (aumentando; diminuindo) a quantidade de pilhas.

diferença; potencial; aumentando

16 ■ No esquema ao lado, o voltímetro irá acusar uma diferença de potencial (maior; menor) do que no caso anterior porque, agora, a quantidade de pilhas (é; não é) maior.



maior; é

17 ■ A corrente que flui através do condutor metálico é (maior; menor) que no caso do item 9, pois agora a diferença de potencial nos extremos do condutor metálico XY (é; não é) maior.

maior; é

18 ■ Quem pela primeira vez estudou a relação existente entre a corrente (I) que flui num condutor metálico em função da diferença de potencial ou voltagem (V) nos extremos deste condutor foi Georg Simon Ohm (1789-1854). Ele mediu a corrente I e a diferença de potencial V nos extremos de um condutor metálico, mantido em temperatura ambiente, realizando uma experiência semelhante àquelas descritas nas figuras dos itens 9 e 16. Georg Simon Ohm constatou que a razão (divisão) entre a voltagem V e a corrente I no condutor metálico é constante.

Simbolicamente:

$$\frac{V}{I} = \text{constante}$$

Ohm observou ainda que cada condutor metálico apresenta uma constante característica. Então, se a voltagem nos extremos de um condutor é $V = 10,0$ volts e a corrente é $I = 0,10$ A, a constante deste condutor é _____ (número e unidade).

$$\text{constante} = \frac{V}{I} = \frac{10,0 \text{ volts}}{0,10 \text{ A}} = 100 \text{ volts/A}$$

19 ■ A razão entre a diferença de potencial V e a corrente I num condutor metálico mantido a temperatura constante, descrita conforme o item 18, é denominada Lei de Ohm.

A Lei de Ohm diz, então, que num condutor metálico, (mantido; não mantido) a temperatura constante, a relação entre a _____ e a _____ é constante.

mantido; voltagem (ou diferença de potencial); corrente

- 20 ■ $\frac{V}{I} = \text{constante}$. Cada condutor apresenta uma constante característica. Esta constante representa a resistência do condutor à passagem de corrente. Se simbolizarmos a constante por R, a Lei de Ohm pode ser escrita:

$$\frac{V}{I} = \underline{\hspace{2cm}}$$

R

- 21 ■ Cada condutor apresenta então uma resistência específica à passagem de corrente. A resistência R de um condutor no qual flui uma corrente I sob uma diferença de potencial V é determinada, então, pela relação _____.

$$R = \frac{V}{I}$$

- 22 ■ Um condutor está sob uma diferença de potencial de 1,5 volts e através dele flui uma corrente de $1,0 \times 10^{-3}$ A. A resistência deste condutor é R = _____.

$$\frac{1,5 \text{ volts}}{1,0 \times 10^{-3} \text{ A}} = 1,5 \times 10^3 \frac{\text{volts}}{\text{A}}$$

- 23 ■ A unidade de medida de resistência elétrica no SI é, então, _____.

$\frac{\text{volts}}{\text{ampère}}$

- 24 ■ Volts/ampère é a unidade de medida da _____ no SI. Ela foi denominada ohm e seu símbolo é Ω (letra grega ômega, maiúscula).

resistência elétrica

- 25 ■ Portanto, a resistência elétrica do condutor descrito no ítem 22 é $1,5 \times 10^3$ volts/ampère ou $1,5 \times 10^3$ ohms ou $1,5 \times 10^3$ _____ (símbolo).

Ω

- 26 ■ Qual é a resistência de um condutor que sob a diferença de potencial $V = 3,0$ volts deixa fluir uma corrente $I = 1,5 \times 10^{-2}$ A?

$$R = \frac{V}{I} = \frac{3,0 \text{ volts}}{1,5 \times 10^{-2} \text{ A}} = 2,0 \times 10^2 \text{ volts/A} = 2,0 \times 10^2 \text{ ohms} = 2,0 \times 10^2 \Omega$$

- 27 ■ Um condutor é mantido a temperatura constante. Submetido a diferentes voltagens foram obtidas diferentes correntes, conforme mostra a tabela ao lado. Calcule a resistência deste condutor para cada medida (preencha a tabela).

V (volts)	I (A)	R (Ω)
1,5	$1,5 \times 10^{-2}$	
3,0	$3,0 \times 10^{-2}$	
4,5	$4,5 \times 10^{-2}$	
6,0	$6,0 \times 10^{-2}$	
7,5	$7,5 \times 10^{-2}$	
9,0	$9,0 \times 10^{-2}$	

Para todas as medidas, $R = 1,0 \times 10^2 \Omega$.

28 ■ Podemos dizer, então, que o condutor do item 27 (apresenta; não apresenta) resistência constante e portanto (obedece; não obedece) à Lei de Ohm, pois esta lei diz que a divisão da voltagem pela corrente que flui num condutor à temperatura constante (é; não é) constante.

apresenta; obedece; é

29 ■ No condutor descrito no item 27, qual seria a voltagem se a corrente fosse $I = 0,20 \text{ A}$?

$$\frac{V}{I} = R, \text{ ou } V = R \cdot I \therefore V = 1,0 \times 10^2 \frac{\text{volts}}{\text{A}} \times 0,20 \text{ A} = 20 \text{ volts}$$

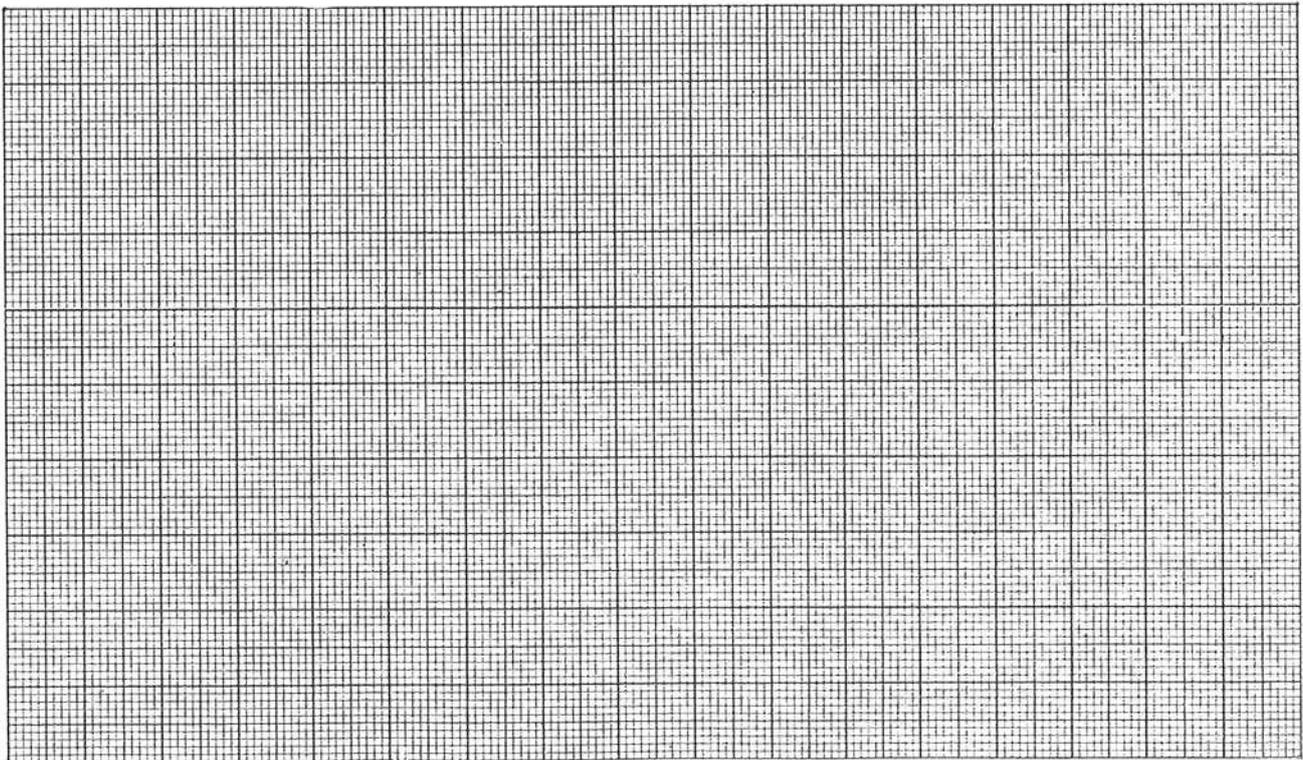
30 ■ A outra maneira de se expressar a Lei de Ohm é $V = \underline{\hspace{2cm}}$, onde V é a $\underline{\hspace{2cm}}$, R é a $\underline{\hspace{2cm}}$ e I é a $\underline{\hspace{2cm}}$ que flui pelo condutor.

$R \cdot I$; voltagem; resistência constante; corrente

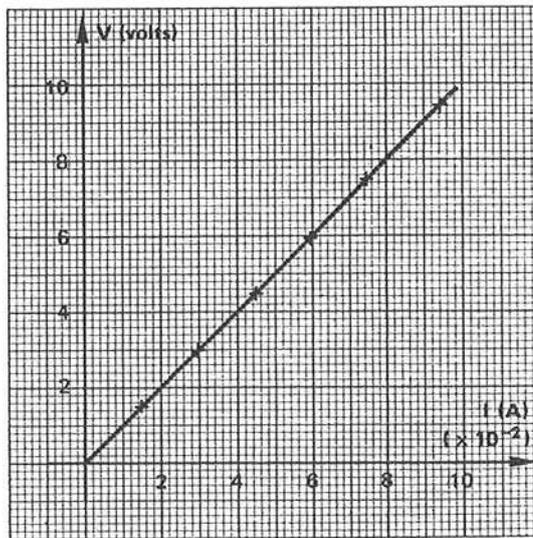
31 ■ $V = R \cdot I$ (representa; não representa) a Lei de Ohm. Para um dado condutor metálico que não sofra variações sensíveis de temperatura, a sua resistência R (é; não é) constante. Se R é constante, a relação $V = R \cdot I$ (é; não é) uma função linear.

representa; é; é

32 ■ $V = R \cdot I$: para R constante, representa uma função linear. O gráfico cartesiano $V \times I$ (é; não é) uma reta. Tome os valores da tabela do item 27 e construa o gráfico $V \times I$, colocando I no eixo das abscissas.



é;



33 ■ Calcule a declividade da reta do gráfico acima. Ela vale _____ e (é; não é) igual à resistência elétrica do condutor.

100 volts/A; é

34 ■ Todo e qualquer condutor que obedece à Lei de Ohm, isto é, cujo gráfico cartesiano $V \times I$ é uma reta, (apresenta; não apresenta) resistência constante. Esses condutores são denominados condutores ôhmicos.

apresenta

35 ■ Um condutor é ôhmico quando o gráfico cartesiano _____ for uma _____, isto é, (obedece; não obedece) à Lei de Ohm, $V = R \cdot I$.

$V \times I$; reta; obedece

36 ■ Em geral, os condutores metálicos mantidos a temperatura constante são ôhmicos, isto é, (apresentam; não apresentam) resistência constante.

apresentam

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

A corrente que flui num condutor sob uma diferença de potencial de 6,0 volts é de 0,20 A. Determinar a sua resistência.

1 ■ A Lei de Ohm exprime uma relação simples entre corrente, diferença de potencial e resistência. Tal relação é: _____.

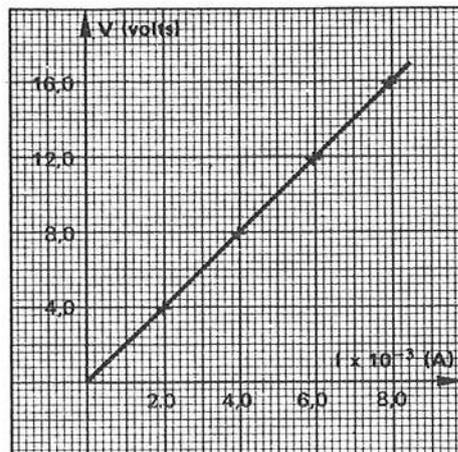
$$R = \frac{V}{I}$$

2 ■ No enunciado do problema, $V =$ _____ e $I =$ _____. Portanto, $R =$ _____ (número e unidade).

6,0 volts; 0,20 A; 30 Ω

PROBLEMA 2

O gráfico da voltagem V e a corrente I em um condutor é mostrado na figura ao lado. Qual é o valor da resistência R deste condutor?



1 ■ O gráfico $V \times I$ acima é retilíneo. Portanto, o valor da resistência (é; não é) constante.

é

2 ■ Este condutor (é; não é) ôhmico.

é

3 ■ O condutor é ôhmico quando _____.

a sua resistência é constante

4 ■ Podemos calcular o valor da resistência, no gráfico $V \times I$, determinando a _____ da reta.

declividade

5 ■ A resistência deste condutor é então _____.

$R = 2,0 \times 10^3 \Omega$

PROBLEMA 3

No condutor mencionado no problema 2, qual seria o valor da intensidade da corrente elétrica quando submetido a uma voltagem de 10 volts?

1 ■ A resistência do condutor é $R =$ _____ .

$$2,0 \times 10^3 \Omega$$

2 ■ A lei que relaciona a corrente I , a voltagem V e a resistência R é chamada de _____ .
Matematicamente é expressa por: _____ .

$$\text{Lei de Ohm; } R = \frac{V}{I}$$

3 ■ $R = \frac{V}{I}$. Desta relação podemos calcular a corrente. Então, $I =$ _____ (em termos de V e R).

$$I = \frac{V}{R}$$

4 ■ Portanto, substituindo os valores e resolvendo a equação, $I =$ _____ (número e unidade).

$$I = \frac{10 \text{ volts}}{2,0 \times 10^3 \Omega} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ A} = 5,0 \text{ mA}$$

PROBLEMA 4

Um fio de resistência $R = 100 \Omega$ está sob uma diferença de potencial $V = 1,5$ volts. Determine a corrente no fio.

1 ■ Podemos calcular a intensidade de corrente no fio aplicando a Lei de _____ .

Ohm

2 ■ Esta lei é definida, matematicamente, por: _____ .

$$V = R \cdot I \quad \text{ou} \quad \left(R = \frac{V}{I} \quad \text{ou} \quad I = \frac{V}{R} \right)$$

3 ■ Portanto, $I =$ _____ .

$$1,5 \times 10^{-2} \text{ A ou } 15 \text{ mA}$$

PROBLEMA 5

No problema 4, qual é a quantidade de carga que flui através do fio em 10 segundos?

1 ■ A intensidade da corrente elétrica é definida como $I =$ _____ .

$$\frac{Q}{\Delta t}$$

2 ■ Portanto, a carga $Q =$ _____ (em termos de I e Δt).

$I \cdot \Delta t$

3 ■ Logo, $Q =$ _____ (número e unidade).

$$Q = 1,5 \times 10^{-2} \text{ A} \times 10 \text{ s} = 1,5 \times 10^{-1} \text{ A}\cdot\text{s} = 1,5 \times 10^{-1} \text{ C}$$

4 ■ Portanto, em 10 s, flui uma carga de _____ no fio.

$$1,5 \times 10^{-1} \text{ C}$$

PROBLEMA 6

No problema 5, qual é a quantidade de elétrons que se movimentam no fio durante os 10 s?

1 ■ Já sabemos que num fio as partículas que se movimentam são os (elétrons; prótons), que possuem cargas _____.

elétrons; negativas

2 ■ A carga de 1 elétron é, em módulo, 1 carga elementar ou _____ coulombs.

$$1,6 \times 10^{-19}$$

3 ■ Portanto, cada elétron possui $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ de carga (a menos do sinal). O nosso objetivo é determinar o número de elétrons que constitui uma carga de _____.

$$1,5 \times 10^1 \text{ C}$$

4 ■ Logo, (devemos; não devemos) efetuar uma regra de três simples.

devemos

5 ■ Portanto, a quantidade de elétrons que flui no fio durante os 10 s é _____.

$$\begin{aligned} 1 \text{ elétron} &= 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ x \text{ elétrons} &= 1,5 \times 10^{-1} \text{ C} \end{aligned} \quad \therefore x \cong 1,0 \times 10^{18} \text{ elétrons}$$

PROBLEMA 7

Que voltagem devemos aplicar nos extremos de um condutor ôhmico de resistência $R = 200 \Omega$ para se obter uma corrente de 100 mA?

1 ■ Para se determinar a voltagem devemos aplicar a Lei de _____, que é expressa por: _____.

Ohm; $V = R \cdot I$

2 ■ A resistência $R =$ _____ e $I =$ _____.

200 Ω ; 100 mA

3 ■ $I = 100$ mA. O mA (miliampère) corresponde a 10^{-3} A. (Devemos; Não devemos) converter mA em A para aplicarmos na Lei de Ohm.

Devemos

4 ■ 100 mA = _____ A.

0,1

5 ■ Portanto, $V =$ _____.

200 $\Omega \cdot 0,1$ A = 20 $\Omega \cdot$ A = 20 volts

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Num condutor metálico, a corrente elétrica é constituída somente de elétrons livres. Certo ou errado?
- 2 ■ Num condutor metálico, o que acontece em relação ao movimento livre dos elétrons?
- 3 ■ Descreva uma analogia mecânica em relação à resistência elétrica.
- 4 ■ Numa solução iônica, a corrente elétrica existe desde que exista diferença de potencial entre duas regiões. Certo ou errado?
- 5 ■ Os íons que se movimentam numa solução iônica encontram resistência das _____.
- 6 ■ O medidor de corrente é chamado _____.
- 7 ■ O voltímetro é um instrumento que serve para _____.
- 8 ■ O que significa "voltagem"?
- 9 ■ Num circuito elétrico, se aumentarmos a diferença de potencial, a corrente (aumentará; diminuirá).
- 10 ■ Quem estudou pela primeira vez o comportamento de um condutor metálico em relação a corrente e voltagem?
- 11 ■ Que tipo de experiência ele realizou e qual foi o resultado obtido?
- 12 ■ Enuncie a Lei de Ohm.

- 13 ■ Todo condutor possui a mesma resistência. Certo ou errado?
- 14 ■ Defina unidade de medida de resistência elétrica.
- 15 ■ O que significa o símbolo Ω ?
- 16 ■ $V = R \cdot I$ representa a Lei de Ohm. Certo ou errado?
- 17 ■ $V = R \cdot I$ representa uma função _____.
- 18 ■ O que significa condutor ôhmico?
- 19 ■ Pode-se afirmar que, em geral, os condutores metálicos, desde que se mantenha a temperatura praticamente invariável, possuem resistência constante?

Após isso, você deve estar apto para:

- conceituar resistência elétrica.
- enunciar a Lei de Ohm.
- caracterizar os condutores de acordo com a Lei de Ohm (resistência).
- definir a unidade de medida de resistência elétrica.
- definir condutor ôhmico.
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- Qual é a diferença de potencial que devemos aplicar nos extremos de um condutor de resistência 24Ω para obtermos uma corrente de $1,0 \text{ A}$?
- No problema 1, qual é a quantidade de carga que flui no condutor em 20 s ?
- Sob uma diferença de potencial de $6,0 \text{ volts}$, a corrente num filamento metálico é $1,5 \text{ A}$. Qual é o valor da resistência do filamento?
- É aplicada uma diferença de potencial elétrico igual a $12,0 \text{ volts}$ nas extremidades de um fio de resistência igual a $2,0 \Omega$. Qual é a intensidade de corrente que percorre o fio?
- 30 coulombs de carga fluem através de um condutor em $2,0 \text{ s}$, quando a diferença de potencial é de 100 volts . Qual é o valor da resistência deste condutor?
- Uma lâmpada é ligada a uma bateria de 12 volts e a corrente no filamento é $0,5 \text{ A}$. Calcule a resistência da lâmpada.
- Um chuveiro tem resistência de 10Ω . Qual é a corrente quando ligado a 120 volts ?
- Um aparelho consome uma corrente de 100 mA quando ligado a 100 volts . Qual é a resistência deste aparelho?
- Um aparelho obedece à Lei de Ohm. Suponha que a corrente no aparelho seja dobrada.
 - Por qual fator a voltagem no aparelho é multiplicada?
 - O que acontece com a resistência do aparelho?
- Num fio de resistência $R = 2,0 \times 10^2 \Omega$ flui uma carga $Q = 4,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ em $2,0 \text{ s}$. Calcule:
 - a corrente;
 - a diferença de potencial.
- Entre dois pontos existe uma diferença de potencial de 12 volts . Quer-se limitar a corrente entre estes pontos a $0,1 \text{ A}$. Qual deve ser a resistência do condutor existente entre os pontos?

12 ■ No problema 11, qual deve ser a resistência para que a corrente seja 0,06 A?

13 ■ No problema 11, qual deve ser a resistência para que a corrente seja 100 vezes menor?

RESPOSTAS

1 ■ $V = 24$ volts;

2 ■ $Q = I \cdot \Delta t = 20$ C;

3 ■ $R = 4,0 \Omega$;

4 ■ $I = 6,0$ A;

5 ■ $I = \frac{Q}{\Delta t} \therefore R = \frac{V}{I} = \frac{V}{\frac{Q}{\Delta t}} = \frac{V \cdot \Delta t}{Q} \cong 6,7$

6 ■ $R = 24 \Omega$;

7 ■ $I = 12$ A;

8 ■ $R = 10^3 \Omega$;

9 ■ a) $V = R \cdot I$: como o aparelho obedece à Lei de Ohm, R é constante; então, se I duplica, V também duplica.

b) A resistência permaneceu constante, pois o aparelho obedece à Lei de Ohm.

10 ■ a) $I = 2,0 \times 10^{-3}$ A = 2,0 mA;

b) $V = 0,40$ volts;

11 ■ $R = 120 \Omega$;

12 ■ $R = 2 \times 10^2 \Omega$;

13 ■ $R = 12 \times 10^3 \Omega$.

TRABALHO A REALIZAR

Agora você poderá fazer, com a orientação de seu professor, a Experiência 2 à pág. 296.

B – CONDUTORES ÔHMICOS E NÃO-ÔHMICOS RESISTORES

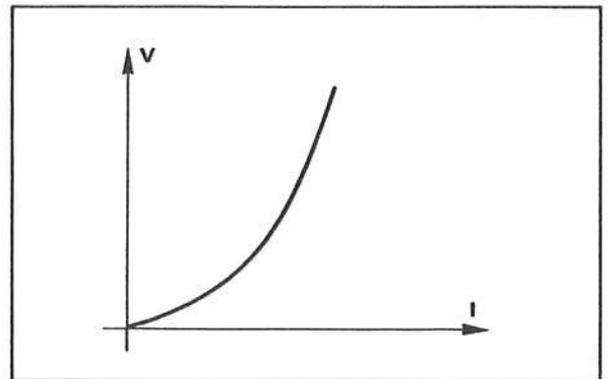
1 ■ Na parte A desta seção foi visto que um condutor é dito ôhmico quando: (assinale as verdadeiras)

- a sua resistência elétrica for constante.
- o gráfico cartesiano $V \times I$ for uma reta.
- o gráfico cartesiano $V \times I$ não for uma reta.
- a corrente que passa por ele for diretamente proporcional à voltagem.

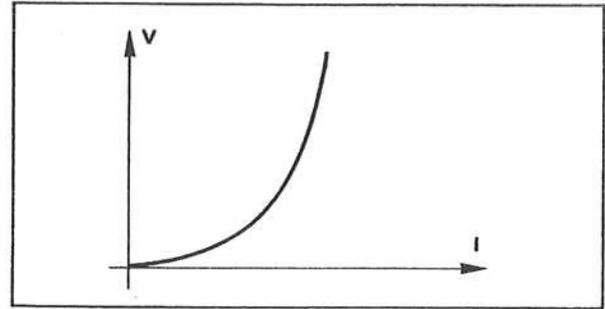
a; b; d

2 ■ Nem todos os condutores são ôhmicos. O gráfico ao lado representa a variação da corrente em função da voltagem aplicada: é o que chamamos de curva característica do elemento. O exemplo representa a curva característica de uma lâmpada de filamento, idêntica às usadas em lanternas. Podemos observar que a curva característica (é; não é) uma linha reta. Portanto, o filamento da lâmpada (é; não é) ôhmico.

não é; não é



- 3 ■ Já vimos que podemos ter movimento de cargas, isto é, corrente elétrica, no vácuo, como no caso de válvulas. O gráfico ao lado representa a curva característica de um tipo de válvula denominado **díodo**. O díodo (é; não é) ôhmico, pois o gráfico (é; não é) uma linha reta, o que mostra que a resistência do díodo varia.



não é; não é

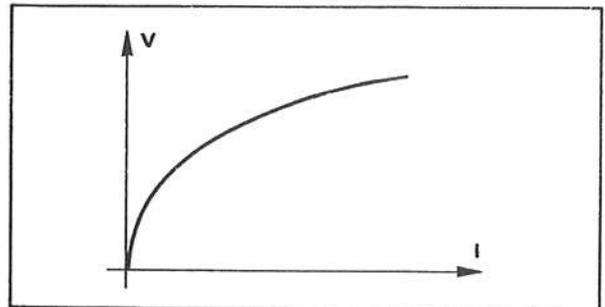
- 4 ■ A curva característica é o gráfico cartesiano da _____ em função da _____ de um elemento qualquer. Quando a curva característica é uma reta, o elemento é dito ser _____. Caso contrário, o elemento é dito ser _____.

voltagem; corrente; ôhmico; não-ôhmico

- 5 ■ Quando a curva característica é uma linha reta, a resistência (é; não é) constante.

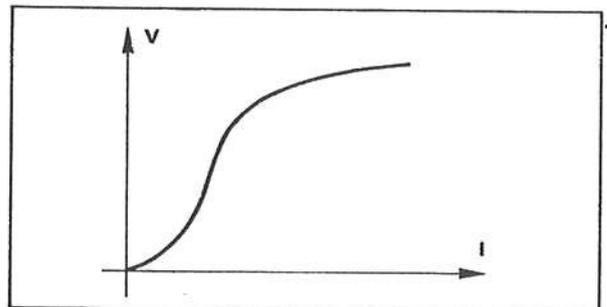
é

- 6 ■ Um outro elemento muito utilizado na eletrônica é o **VDR** (abreviatura de **voltage depending resistor**, cuja tradução é **resistência que depende da voltagem**). O gráfico ao lado é a sua curva característica. Podemos dizer que o VDR (é; não é) ôhmico, pois o gráfico (é; não é) uma linha reta.



não é; não é

- 7 ■ O gráfico ao lado representa a curva característica de um outro elemento: o **termistor**. Este elemento apresenta grande variação em sua resistência com a variação de sua temperatura. O termistor (é; não é) ôhmico, pois a curva característica (é; não é) uma reta.

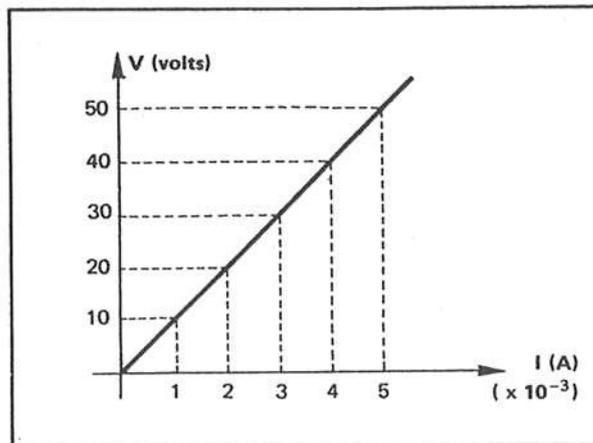


não é; não é

- 8 ■ Se você abrir um rádio encontrará diversos elementos cilíndricos pequenos com algumas faixas coloridas, como você pode ver no Apêndice à pág. 185. Estes elementos são condutores que limitam a corrente elétrica nos diversos trechos de um circuito elétrico. Eles são denominados **resistores**. Os resistores são feitos para terem resistência elétrica de diversos valores. Os resistores são elementos que quando colocados num circuito elétrico (limitam; não limitam) a corrente elétrica; portanto, (possuem; não possuem) resistência elétrica.

limitam; possuem

9 ■ O gráfico ao lado representa a curva característica de um resistor. Os resistores, em geral, são feitos de carvão depositado sobre um cilindro de porcelana. Dependendo da grossura da camada depositada, têm-se valores diferentes de resistência. Analisando-se o gráfico ao lado podemos dizer que o resistor (é; não é) um elemento ôhmico, pois o gráfico é uma _____.



é; linha reta

10 ■ O resistor descrito pela curva característica no item 9 possui uma resistência (variável; constante) que vale $R =$ _____.

constante; 10 000 ohms

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Foi realizada uma experiência onde se mediu a corrente I que passa no resistor R e a voltagem neste resistor. Veja a figura abaixo. Nos pontos A e B foram ligados, sucessivamente, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 pilhas de lanterna. Os dados obtidos estão representados na tabela abaixo. Levante a curva característica e determine a resistência do resistor R .

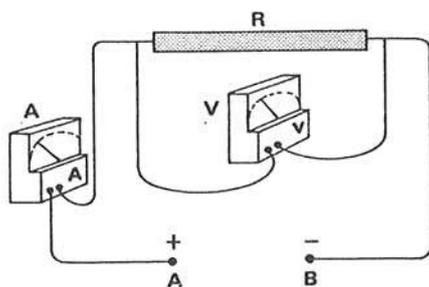


Tabela de dados

V (volts)	I (A)
1,5	150×10^{-3}
3,0	300×10^{-3}
4,5	450×10^{-3}
6,0	600×10^{-3}
7,5	750×10^{-3}
9,0	900×10^{-3}

1 ■ O positivo da pilha foi ligado ao ponto (A; B) do circuito. A corrente elétrica flui no sentido (horário; anti-horário), mas os elétrons no sentido _____.

A; horário; anti-horário

2 ■ O instrumento A mede a (corrente; voltagem) e o instrumento V a _____ no resistor R . O instrumento A é denominado _____ e o instrumento V é denominado _____.

corrente; voltagem; amperímetro; voltímetro

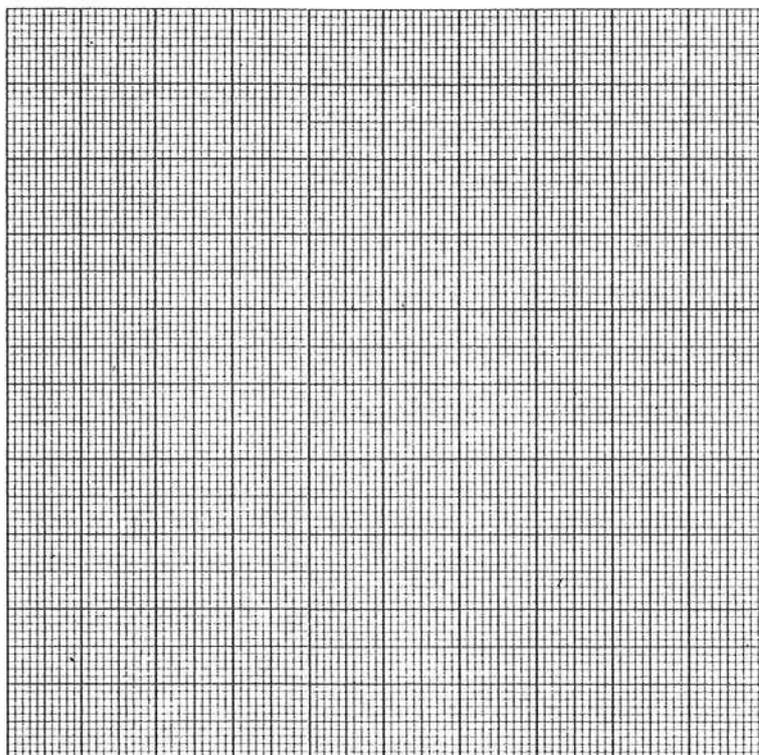
3 ■ O primeiro dado na tabela corresponde a uma pilha entre A e B. Nesta situação, o voltímetro mede ____ volts e o amperímetro _____ ampères.

1,5; 150×10^{-3} ou 150 mA

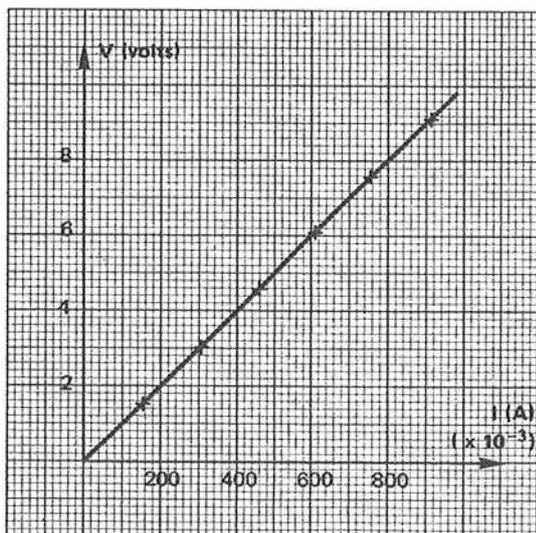
4 ■ Quando usamos 6 pilhas entre A e B, a voltagem nos extremos do resistor é _____ e a corrente que passa no resistor é _____.

9,0 volts; 900×10^{-3} A ou 900 mA

5 ■ Para levantar a curva característica do resistor devemos colocar os valores das voltagens no eixo das _____ e os valores da corrente no eixo das _____. Construa ao lado a curva característica.



ordenadas; abscissas



- 6 ■ Analisando o gráfico anterior podemos afirmar que o resistor (é; não é) ôhmico, pois todo elemento ôhmico apresenta como curva característica _____ . O resistor apresenta então resistência (constante; não constante).

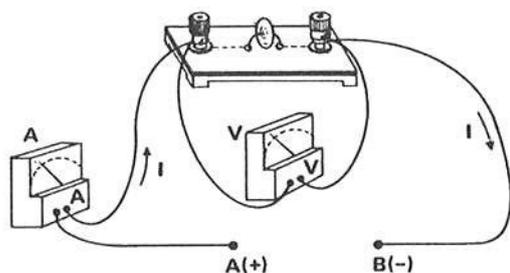
é; uma linha reta; constante

- 7 ■ O valor da resistência é determinado pela declividade da reta. O seu valor é _____ .

$R = 10 \Omega$

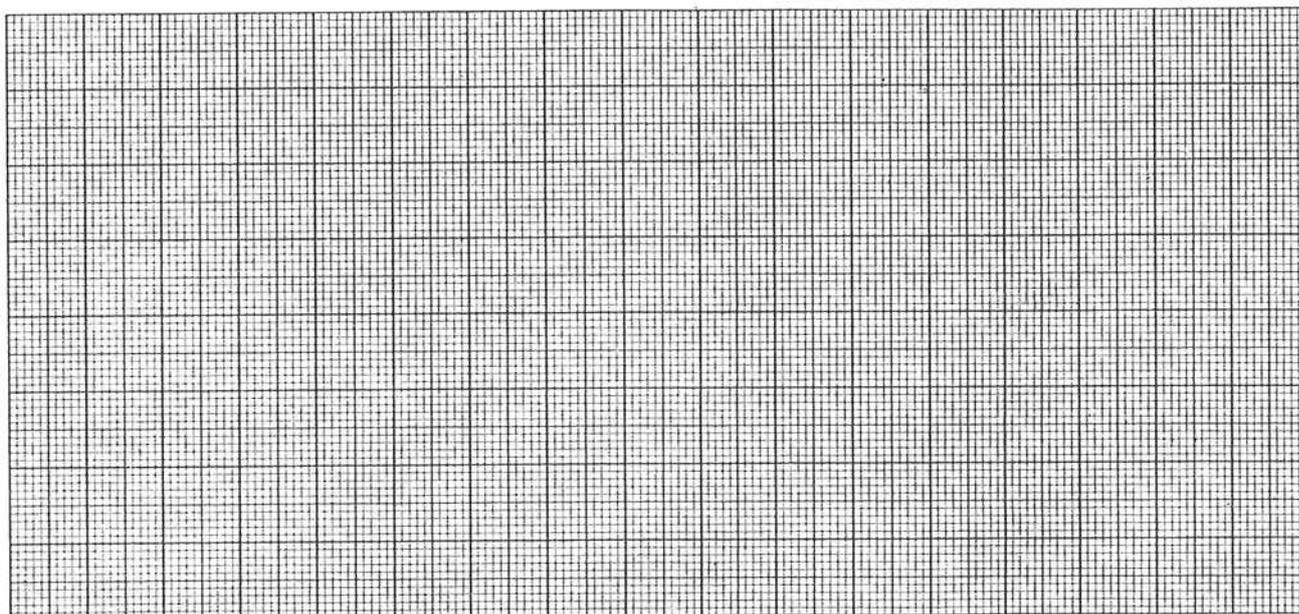
PROBLEMA 2

A mesma experiência do problema 1 foi repetida, trocando-se agora o resistor por um VDR, conforme mostra a figura. Os dados obtidos estão na tabela abaixo. Construa a curva característica e verifique se o VDR é ou não ôhmico.

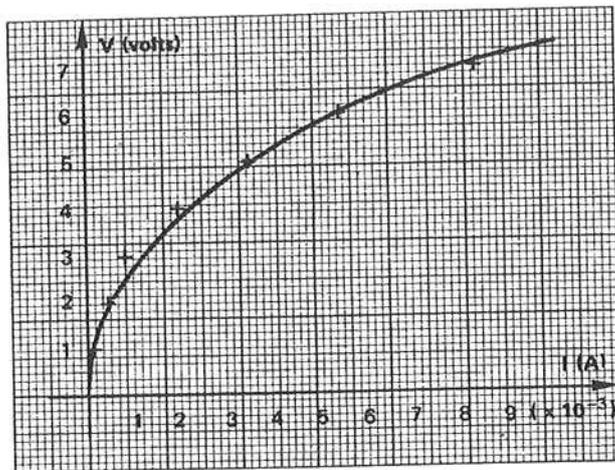


V (volts)	I (A)
1,00	$0,10 \times 10^{-3}$
2,00	$0,40 \times 10^{-3}$
3,00	$0,80 \times 10^{-3}$
4,0	$1,90 \times 10^{-3}$
5,0	$3,40 \times 10^{-3}$
6,0	$5,40 \times 10^{-3}$
7,0	$8,30 \times 10^{-3}$

- 1 ■ Levante abaixo a curva característica do VDR. No eixo das ordenadas devemos colocar os valores de (V; I) e no eixo das abscissas os valores de _____ .



V; I;



2 ■ Podemos observar que a curva característica (é; não é) uma linha reta. Portanto, a resistência do VDR (é; não é) constante.

não é; não é

3 ■ Logo, o VDR (é; não é) ôhmico.

não é

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Caracterize um condutor ôhmico.
- 2 ■ Todos os condutores são ôhmicos. Certo ou errado?
- 3 ■ O que caracteriza um condutor não-ôhmico?
- 4 ■ O que é curva característica de um certo elemento?
- 5 ■ Desenhe uma curva característica de um elemento ôhmico e outra de um elemento não-ôhmico.
- 6 ■ Se variarmos a voltagem nos extremos de uma lâmpada de filamento, como varia a corrente elétrica que flui através da mesma? Justifique.
- 7 ■ O que é VDR? Qual é a sua curva característica?
- 8 ■ O que são resistores? Qual é a sua função?

Após isso, você deve estar apto para:

- a. distinguir elementos ôhmicos de não-ôhmicos.
- b. descrever um resistor.
- c. construir uma curva característica de um elemento.
- d. a partir da curva característica de um elemento, dizer se a sua resistência varia ou não.

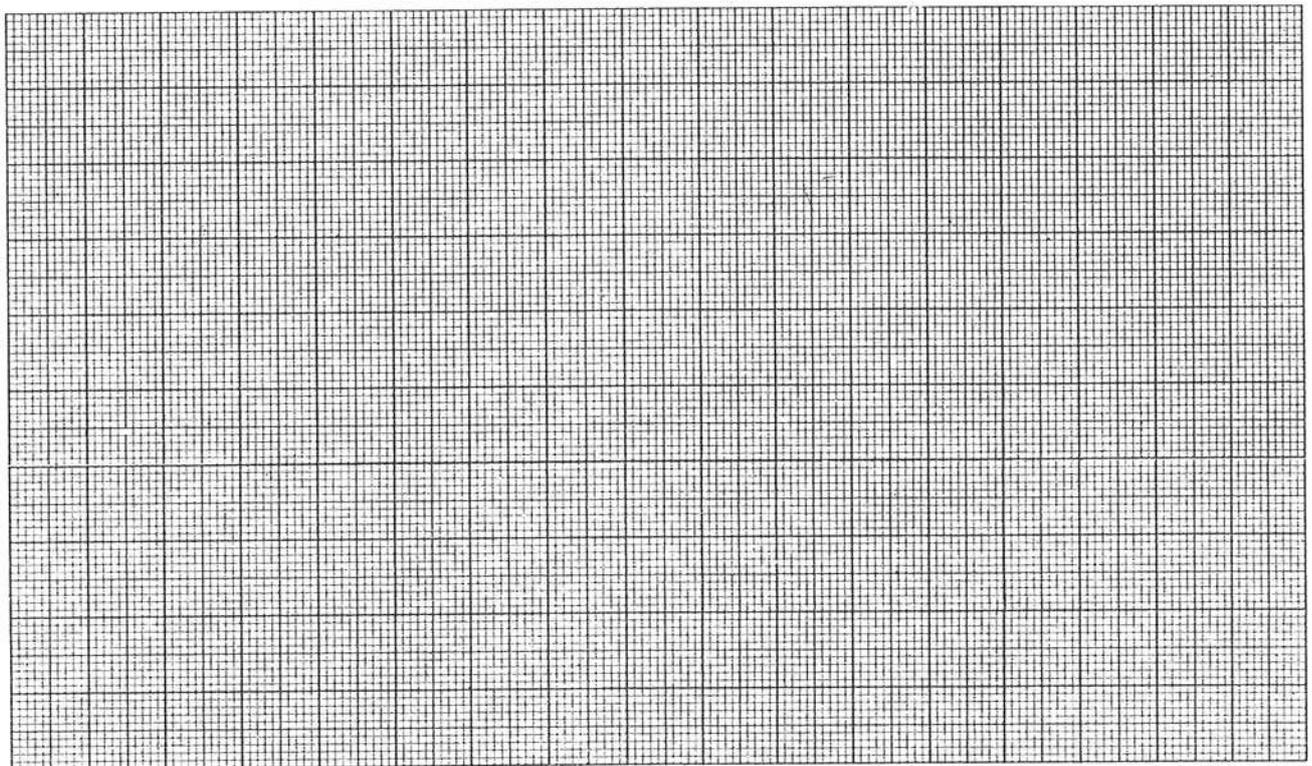
PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Foi feita uma experiência para levantar a curva característica de um elemento. Os dados constantes da tabela ao lado foram obtidos da experiência.
- Construa a curva característica do elemento.
 - O elemento é ôhmico?
 - Por quê?
- Utilize a folha de gráfico abaixo.

V (volts)	I (A)
0,00	0,00
0,75	90×10^{-3}
1,35	110×10^{-3}
2,50	150×10^{-3}
3,50	180×10^{-3}
4,40	200×10^{-3}
5,30	230×10^{-3}

- 2 ■ Os valores constantes da tabela ao lado são os dados obtidos para se levantar a curva característica de um elemento.
- Levante a curva característica do elemento.
 - O elemento é ôhmico?
 - Por quê?
- Utilize a folha de gráfico abaixo.

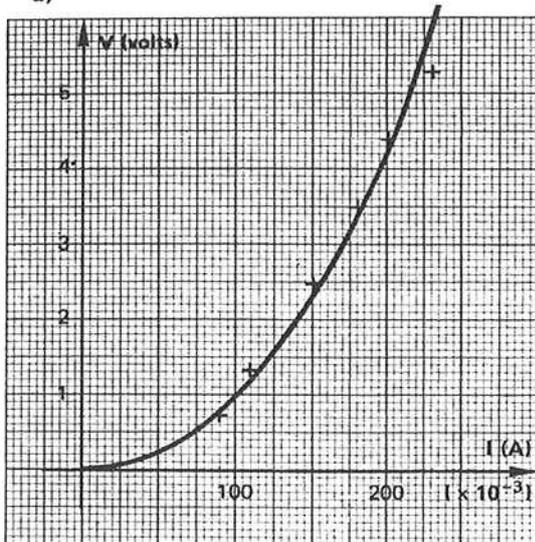
V (volts)	I (A)
0,9	$0,44 \times 10^{-3}$
1,4	$0,67 \times 10^{-3}$
1,9	$0,80 \times 10^{-3}$
2,4	$1,10 \times 10^{-3}$
2,9	$1,30 \times 10^{-3}$
3,4	$1,50 \times 10^{-3}$
3,9	$1,75 \times 10^{-3}$
4,4	$1,95 \times 10^{-3}$
4,8	$2,20 \times 10^{-3}$
5,2	$2,40 \times 10^{-3}$



- 3 ■ No caso do elemento do problema 2, qual é a sua resistência?
- 4 ■ Um resistor de resistência $R = 2 \times 10^3 \Omega$ é ligado a uma pilha de 1,5 volts. Qual é a máxima corrente que passa pelo resistor?

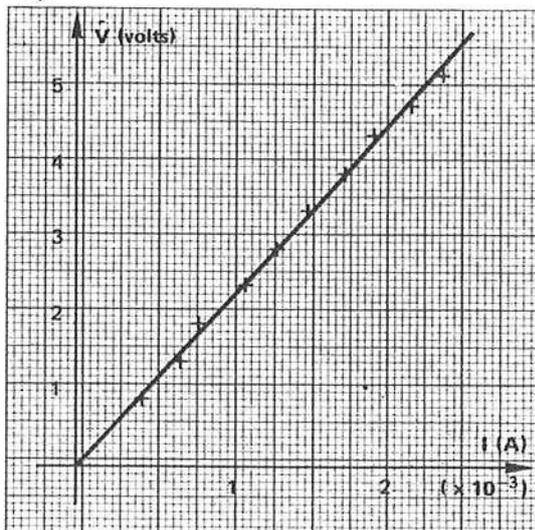
RESPOSTAS

1 ■ a)



- b) O elemento não é ôhmico, pois a curva característica não é uma linha reta.
c) Porque a curva não sendo uma reta implica uma variação da resistência. Os elementos ôhmicos possuem resistência constante.

2 ■ a)



- b) O elemento é ôhmico.
c) Porque a curva característica é uma linha reta, o que mostra que a resistência do elemento é constante.

3 ■ A resistência é determinada pela declividade da reta. Portanto, $R \cong 2\,250 \, \Omega$

$$4 \quad I = \frac{V}{R} = \frac{1,5}{2 \times 10^3} = 0,75 \times 10^{-3} \text{ A} = 0,75 \text{ mA.}$$

TRABALHO A REALIZAR

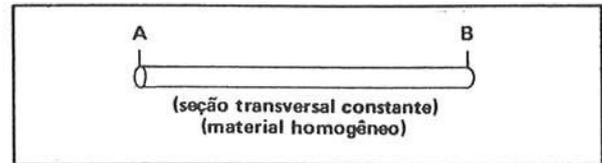
Agora você poderá fazer, com a orientação de seu professor, a Experiência 3 à pág. 297.

C – RESISTIVIDADE DE CONDUTORES ELÉTRICOS

Nas partes anteriores foi definida resistência elétrica e a sua participação num circuito elétrico na forma da Lei de Ohm.

Analisaremos a seguir de que fatores depende a resistência elétrica de um condutor metálico, isto é, quais as grandezas físicas que concorrem para a definição de resistência de um determinado condutor metálico.

- 1 ■ Já sabemos que um condutor, como o da figura ao lado, é dito ôhmico pelo fato de ele apresentar uma resistência (constante; variável)



constante

- 2 ■ Isto significa que, se o condutor for submetido (entre A e B) a diferentes valores de voltagem, a corrente que flui através desse condutor varia proporcionalmente por um fator constante que é a _____

resistência do condutor

- 3 ■ Pode-se traduzir, simbolicamente, o que foi dito no item anterior através da Lei de Ohm, isto é, $\frac{V}{I} = \underline{\hspace{2cm}}$.

R

- 4 ■ Se considerarmos o mesmo condutor do item 1, porém de comprimento AB maior, a experiência mostra que a sua resistência é maior. A experiência confirma que um fio de comprimento duas vezes maior possui resistência duas vezes maior. Um fio de comprimento três vezes maior terá resistência _____.

três vezes maior

- 5 ■ Portanto, a resistência de um condutor (é; não é) diretamente proporcional ao seu comprimento.

é

- 6 ■ Podemos então escrever: a resistência de um condutor é _____ proporcional ao seu _____ . Simbolicamente: $R \sim \ell$, onde ℓ é o seu comprimento.

diretamente; comprimento

- 7 ■ Por outro lado, mantendo o comprimento constante e variando a seção transversal do condutor, isto é, a área, a experiência nos mostra que a resistência varia na razão inversa. Ou seja, a resistência é _____ proporcional à seção transversal. Chamando de S a seção transversal, pode-se exprimir simbolicamente: $R \sim \underline{\hspace{2cm}}$.

inversamente; $\frac{1}{S}$

- 8 ■ Portanto, se diminuirmos pela metade a seção transversal S de um condutor, a sua resistência irá (aumentar; diminuir) duas vezes, pois a resistência varia _____ com a _____.

aumentar; inversamente; seção transversal

9 ■ Para aumentarmos a resistência de um condutor podemos (aumentar; diminuir) o seu comprimento ou (aumentar; diminuir) a sua seção transversal.

aumentar; diminuir

10 ■ X e Y são dois fios metálicos de mesmo comprimento. Se X possuir seção transversal duas vezes maior que Y, a resistência de X será _____, que a de Y.

duas vezes menor

11 ■ N e Z são dois condutores de mesma seção transversal (mesma grossura). Se o comprimento de Z for 5 vezes maior que o de N, a resistência de Z será _____.

5 vezes maior que a de N

12 ■ $R \sim \ell$ e $R \sim \frac{1}{S}$. A matemática nos ensina que, se uma grandeza Z é proporcional a duas outras, X e Y, então ela é proporcional ao produto delas. Simbolicamente: $Z \sim X \cdot Y$. Dependendo das unidades usadas, pode-se transformar essa proporcionalidade em uma igualdade, isto é, $Z = k \cdot (X \cdot Y)$, onde k é a constante de proporcionalidade. Portanto, se R é proporcional a ℓ e proporcional a $\frac{1}{S}$, então R é proporcional (à soma; ao produto; ao quociente) de ℓ e $\frac{1}{S}$.

ao produto

13 ■ Logo, $R \sim$ _____ (em termos de ℓ e S)

$$\ell \left(\frac{1}{S} \right) = \frac{\ell}{S}$$

14 ■ $R \sim \frac{\ell}{S}$. Introduzindo a constante de proporcionalidade, que simbolizaremos com a letra grega ρ (rô), podemos transformar esta proporcionalidade em uma igualdade. Logo, $R =$ _____.

$$\rho \cdot \frac{\ell}{S}$$

15 ■ $R = \rho \frac{\ell}{S}$ ou $\rho =$ _____. A constante ρ é denominada resistividade do material condutor. Ela é uma propriedade do material. Logo, cada condutor metálico possui resistividade ρ (constante; variável).

$$\frac{R \cdot S}{\ell}; \text{ constante}$$

16 ■ No SI de unidades, R é medido em _____, ℓ em _____ e S em _____.
Portanto, a unidade de ρ é dada por _____.

$$\text{ohms; metros; metros quadrados; } \Omega \cdot \text{m} \left(\frac{\Omega \cdot \text{m}^2}{\text{m}^2} = \Omega \cdot \text{m} \right)$$

17 ■ Cada material de que é feito o condutor metálico apresenta um valor de resistividade característico. O quadro a seguir apresenta alguns materiais e os respectivos valores de ρ .

QUADRO DE RESISTIVIDADE (TEMPERATURA: 20° C)

Material	Resistividade (ρ) ($\Omega \cdot m$)	Ponto de fusão (°C)
Alumínio	$2,828 \times 10^{-8}$	660
Bronze	$7,00 \times 10^{-8}$	900
Cobre	$1,724 \times 10^{-8}$	1 083
Constantana (Cu_6O, Ni_4O)	$44,1 \times 10^{-8}$	1 190
Ferro	10×10^{-8}	1 535
Mercúrio	$95,78 \times 10^{-8}$	-39
Níquel	$7,8 \times 10^{-8}$	1 452
Níquel-cromo	150×10^{-8}	1 500
Ouro	$2,44 \times 10^{-8}$	1 063
Platino	10×10^{-8}	1 769
Prata	$1,629 \times 10^{-8}$	961
Tungstênio	$5,51 \times 10^{-8}$	3 410

Conforme o quadro, a resistividade do cobre é _____, enquanto a do níquel-cromo é _____.

$1,724 \times 10^{-8} \Omega m$; $150 \times 10^{-8} \Omega m$

- 18 ■ Comparando as resistividades do item 17, podemos concluir que para o mesmo comprimento e seção transversal, a resistência de um fio de cobre é (maior que a; menor que a; igual à) de um níquel-cromo.

menor que a (aproximadamente 88 vezes)

- 19 ■ Um condutor cilíndrico de cobre tem resistividade $\rho =$ _____. Se a seção transversal do condutor é $S \cong 3,4 \times 10^{-8} m^2$ e o seu comprimento é $\ell = 100$ metros, então a sua resistência é $R =$ _____.

$1,724 \times 10^{-8} \Omega m$; $R \cong 50 \Omega$

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Tem-se dois condutores de comprimento 20 cm e 1,6 m. Eles têm a mesma grossura e são de mesmo material. Pergunta-se: qual é a razão das suas resistências?

- 1 ■ As resistências dos dois condutores (são; não são) iguais.

não são

- 2 ■ As resistências (não são; são) iguais. Se chamarmos $\ell_1 = 20$ cm e $\ell_2 = 1,6$ m, $S =$ seção transversal, e ρ a resistividade, as resistências $R_1 =$ _____ e $R_2 =$ _____.

não são; $\rho \frac{0,20 m}{S}$; $\rho \frac{1,6 m}{S}$

3 ■ Dividindo-se as relações acima, membro a membro, $\frac{R_1}{R_2} = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$\frac{1}{8}$$

4 ■ Isto significa que o condutor de comprimento ℓ_2 tem resistência oito vezes (maior; menor) que a resistência do condutor de comprimento ℓ_1 , pois ℓ_2 é $\underline{\hspace{1cm}}$ vezes maior que ℓ_1 e ambos possuem a mesma $\underline{\hspace{2cm}}$.

maior; 8; grossura ou seção transversal

PROBLEMA 2

Uma barra retangular de ferro tem comprimento de 40 cm e seção de 2 cm por 2 cm. Qual é a sua resistência elétrica?

1 ■ A resistência deste condutor é calculada pela expressão: $R = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$\rho \frac{\ell}{S}$$

2 ■ O comprimento $\ell = \underline{\hspace{1cm}}$ cm ou $\ell = \underline{\hspace{2cm}}$ m. A sua seção transversal possui área $S = \underline{\hspace{1cm}} \times \underline{\hspace{1cm}} \text{ cm}^2$ ou $S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2$.

40; 40×10^{-2} ; 2; 2; 4×10^{-4}

3 ■ Pela tabela podemos observar que a resistividade $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$. Logo, aplicando na expressão, $R = \underline{\hspace{2cm}}$.

$10 \times 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m}$; $1 \times 10^{-4} \text{ } \Omega$

PROBLEMA 3

Um fio de prata tem comprimento de 1,0 m e diâmetro de 1,0 mm. Calcule a resistência deste fio.

O comprimento $\ell = \underline{\hspace{2cm}}$ e a resistividade da prata é $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$.

1,0 m; $1,6 \times 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m}$ (com 2 algarismos)

2 ■ A área da seção transversal do fio é dada pela expressão $S = \pi r^2$. Como o diâmetro é de 1,0 mm ou $\underline{\hspace{1cm}}$ m, então o raio $r = \underline{\hspace{1cm}}$. Portanto, $S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2$.

$1,0 \times 10^{-3}$; $0,50 \times 10^{-3} \text{ m}$; $78,50 \times 10^{-8}$

3 ■ Portanto, substituindo os valores na expressão da resistência, $R =$ _____ .

$$\cong 2,0 \times 10^{-2} \text{ ohms}$$

PROBLEMA 4

Dois fios possuem comprimentos iguais e são feitos de mesmo material. O fio A possui diâmetro igual ao dobro do fio B. Qual dos fios possui resistência maior e quantas vezes maior?

1 ■ A resistência de um fio é _____ proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à sua _____ .

diretamente; seção transversal

2 ■ O diâmetro de A é o _____ do de B. Portanto, o raio do fio A é (igual ao; o dobro do) raio do fio B. Simbolicamente, $r_A =$ _____ .

dobro; o dobro do; $2 \cdot r_B$

3 ■ A resistência do fio A é $R_A =$ _____ (em termos de ρ ; ℓ ; π ; r_A).

$$\rho \frac{\ell}{\pi r_A^2}$$

4 ■ Como o material é o mesmo, então $R_B =$ _____ .

$$\rho \frac{\ell}{\pi r_B^2}$$

5 ■ Como $r_A = 2 \cdot r_B$, então $R_A =$ _____ (na expressão do item 3 substitua o valor de r_A em função de r_B).

$$\rho \frac{\ell}{4 \cdot \pi r_B^2}$$

6 ■ Portanto, $R_A = \rho \frac{\ell}{4 \cdot \pi r_B^2}$ e $R_B = \rho \frac{\ell}{\pi r_B^2}$. Dividindo-se membro a membro, teremos $\frac{R_B}{R_A} =$ _____ .

4

7 ■ Portanto, o fio B possui resistência _____ vezes maior que A, pois o raio da seção transversal de B é duas vezes menor que o de A.

4

- 8 ■ Podemos fazer a análise a partir das áreas das seções transversais. $S_A = \pi r_A^2$ e $S_B = \pi r_B^2$. Como $r_A = 2 \cdot r_B$, então $S_A =$ _____ (substitua r_A por $2 \cdot r_B$). Logo, $S_A = 4 \cdot S_B$ e portanto a resistência de A é 4 vezes (maior; menor) que a de B, pois a resistência varia de maneira (direta; inversa) com a área da seção transversal.

$4 \cdot \pi r_B^2$; menor; inversa

PROBLEMA 5

Um condutor cilíndrico de comprimento ℓ_1 e seção transversal S_1 possui resistência R_1 . Estica-se de maneira uniforme este condutor até que o comprimento fique duas vezes maior. Qual é a nova resistência do condutor?

- 1 ■ A resistência $R_1 =$ _____ (em termos de ℓ_1 ; S_1 e ρ). Se a nova resistência é R_2 , então $R_2 =$ _____ (em termos de ℓ_2 ; S_2 e ρ), onde ℓ_2 e S_2 são as novas dimensões do condutor.

$$\rho \frac{\ell_1}{S_1} ; \rho \frac{\ell_2}{S_2}$$

- 2 ■ O volume do condutor (alterou; não alterou) após esticá-lo uniformemente.

não alterou

- 3 ■ O volume inicial é $V_1 = S_1 \ell_1$. O volume final é $V_2 =$ _____. Mas $V_1 = V_2$; logo, $S_1 \ell_1 =$ _____.

$$S_2 \ell_2; S_2 \ell_2$$

- 4 ■ Portanto, a nova seção transversal será $S_2 =$ _____ (em termos de S_1 ; ℓ_1 e ℓ_2).

$$\frac{S_1 \ell_1}{\ell_2}$$

- 5 ■ $S_2 = \frac{S_1 \cdot \ell_1}{\ell_2}$. Mas, como o comprimento final ℓ_2 é o dobro do comprimento inicial, então $\ell_2 =$ _____. Portanto, $S_2 =$ _____.

$$2 \cdot \ell_1; \frac{S_1}{2}$$

- 6 ■ Portanto, $R_2 =$ _____ (substitua ℓ_2 por $2 \cdot \ell_1$ e S_2 por $\frac{S_1}{2}$).

$$4 \cdot \rho \frac{\ell_1}{S_1}$$

- 7 ■ Logo, como $\rho \frac{\ell_1}{S_1} = R_1$, então $R_2 =$ _____.

$$4 \cdot R_1$$

PROBLEMA 6

Um condutor de comprimento 50 m e área de seção transversal igual a $5,0 \text{ mm}^2$, sob uma voltagem de 1,2 volts, conduz corrente de 1,2 A. Calcule a resistividade do material de que é feito o condutor.

1 ■ Pela Lei de Ohm, $R =$ _____.

$$\frac{V}{I} = 1,0 \Omega$$

2 ■ Pelos dados do problema, $\ell =$ _____ m e $S =$ _____ m^2 .

$$50; 5,0 \times 10^{-6}$$

3 ■ Portanto, substituindo-se os valores na expressão da resistência e resolvendo: $\rho =$ _____.

$$10 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ A resistência de um condutor depende de seu comprimento?
- 2 ■ De que maneira se dá a dependência entre a resistência e o comprimento de um condutor?
- 3 ■ A resistência de um condutor depende da área da seção transversal? Como se dá esta dependência?
- 4 ■ A resistência de um condutor depende do material de que é feito o condutor?
- 5 ■ Qual é a expressão que relaciona tais grandezas?
- 6 ■ O que é resistividade? Como ela é simbolizada?
- 7 ■ Você tem dois fios de mesmo material e diâmetro, porém um deles é 10 vezes mais comprido do que o outro. Quantas vezes a resistência do fio de maior comprimento é maior que a do outro?
- 8 ■ Se você pegar um fio de seção transversal 3 vezes menor que um outro de mesmo material e comprimento, quantas vezes a sua resistência é maior ou menor? Por quê?
- 9 ■ Qual é a unidade de resistividade?
- 10 ■ Se você esticar um fio uniformemente até que ele atinja 3 vezes o comprimento inicial, de quantas vezes a resistência aumenta ou diminui?

Após isso, você deve estar ápto para:

- a. identificar as grandezas que caracterizam a resistência de um condutor.
- b. definir resistividade de um material.
- c. definir unidade de resistividade no SI.
- d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Tem-se 1,0 m de fio de tungstênio cuja seção é $8,0 \times 10^{-8} \text{ m}^2$. Determine a sua resistência.
- 2 ■ Deseja-se obter uma resistência de $1\,000 \, \Omega$, tendo em mãos um fio de constantana cujo diâmetro é de 1,0 mm. Qual é o comprimento necessário?
- 3 ■ Tomando-se dois fios de dimensões idênticas, um de bronze e outro de tungstênio, determine a razão entre as suas resistências.
- 4 ■ Qual deve ser o diâmetro de um fio cilíndrico de cobre de 2,0 m de comprimento para que sua resistência seja de $20 \, \Omega$?
- 5 ■ Dois condutores são feitos de mesmo material, um (A) de 5,0 m de comprimento e outro (B) de 0,5 m. As seções transversais são $0,15 \text{ cm}^2$ e 3 mm^2 , respectivamente.
 - a) Qual é a razão das suas resistências?
 - b) Calcule a resistência de cada condutor, supondo que elas são feitas de níquel-cromo.
- 6 ■ Qual deve ser o comprimento de um condutor de níquel-cromo de 0,4 mm de diâmetro para se obter uma resistência de 24 ohms?
- 7 ■ A resistência elétrica de um condutor de cobre que liga a fonte com um motor elétrico não pode ultrapassar 2,4 ohms. Determine a seção transversal do condutor sabendo-se que o motor está a uma distância de 800 m da fonte.
- 8 ■ Calcule a resistência de um condutor de cobre, duplo, de uma linha telefônica entre Rio e São Paulo. Diâmetro do fio: 0,5 mm e distância Rio-São Paulo: 500 km.
- 9 ■ Calcule a resistência de um condutor simples de ferro de 125 km de comprimento se o seu diâmetro é de 6 mm.
- 10 ■ Um fio cilíndrico possui uma resistência de 30 ohms. Qual será a nova resistência se o fio for esticado uniformemente até atingir o triplo de seu comprimento original?

RESPOSTAS:

- | | |
|---|--|
| 1 ■ $R \cong 7,0 \times 10^{-1} \, \Omega$ | 6 ■ $\ell \cong 2,0 \text{ m}$ |
| 2 ■ $\ell \cong 18 \times 10^2 \text{ m}$ | 7 ■ $S \cong 5,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ |
| 3 ■ $R_{\text{bronze}} \cong 1,3 \cdot R_{\text{tung}}$ | 8 ■ $R \cong 87 \times 10^3 \, \Omega$ |
| 4 ■ Diâmetro $\cong 4,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$ | 9 ■ $R \cong 440 \, \Omega$ |
| 5 ■ $\frac{R_A}{R_B} = 200$; $R_B = 25 \times 10^{-4} \, \Omega$; $R_A = 50 \times 10^{-2} \, \Omega$ | 10 ■ $R = 270 \, \Omega$ |

TRABALHO A REALIZAR

Agora você poderá fazer, com a orientação de seu professor, a Experiência 4 à pág. 299.

APÊNDICE: RESISTORES

No desenvolvimento do texto e do trabalho experimental serão usados dois tipos de resistores:

- tipo carvão depositado
- potenciômetro de fio ou carvão

TIPO CARVÃO DEPOSITADO

É constituído de um cilindro de material isolante (porcelana) sobre o qual é depositada uma camada de carbono. A quantidade de carbono depositada determina a resistência ôhmica. Sua espessura não ultrapassa uma fração de milímetro.

O cilindro é recoberto com uma camada de tinta, sobre a qual é indicado o valor da resistência através de um código de cores. Em geral, a espessura da camada de carbono depositada também limita a potência que o resistor pode dissipar, sem se deteriorar.

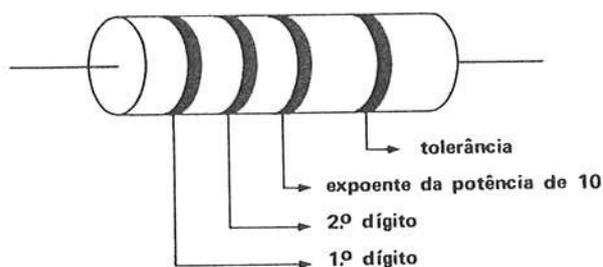
CÓDIGO DE CORES PARA RESISTORES

- 0 – preto
- 1 – marrom
- 2 – vermelho
- 3 – laranja
- 4 – amarelo
- 5 – verde
- 6 – azul
- 7 – violeta
- 8 – cinza
- 9 – branco

Faixa de tolerância:

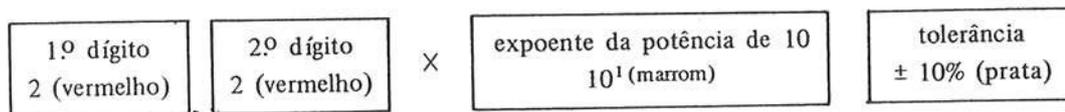
{	Ouro	± 5%
	Prata	± 10%
	Nada	± 20%

Arranjo de cores para resistores:



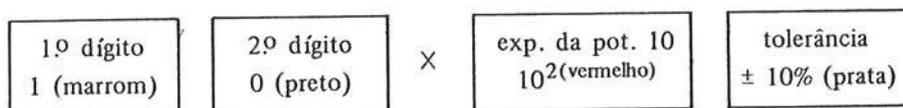
COMO SE FAZ A LEITURA DO VALOR DA RESISTÊNCIA

No resistor desenhado acima:



Logo, $R = 22 \times 10^1 = 220$ ohms.

No resistor ao lado:

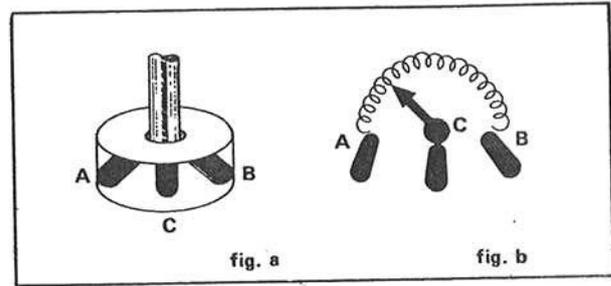


Logo, $R = 10 \times 10^2$ ohms ou 1 000 ohms.

POTENCIÔMETRO

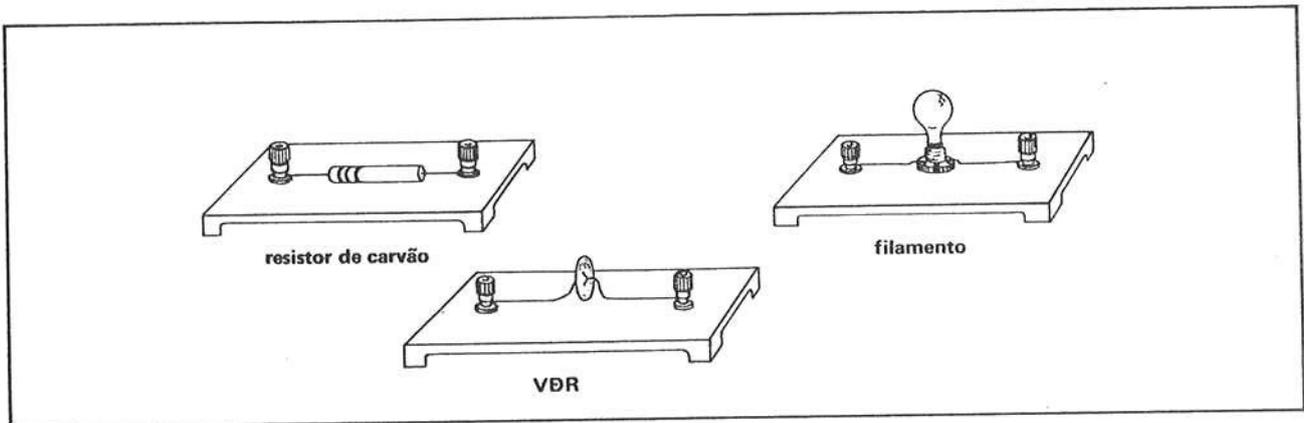
O potenciômetro ou resistor variável (fig. a) consta de um fio enrolado sobre um material isolante. Um cursor comandado por um eixo principal permite variar o comprimento do fio. O comprimento do fio determina o valor da resistência. Existem potenciômetros cuja construção consiste em camadas de carvão no lugar de fios.

Na fig. b, o eixo principal comanda o contato C e pode variar o comprimento entre A e C ou B e C.



RECOMENDAÇÕES

Para o bom manuseio de resistores é conveniente que eles sejam instalados sobre uma prancheta de madeira com bornes, conforme mostra a figura abaixo. O mesmo vale para outros elementos a serem utilizados, como a lâmpada, o VDR, e o próprio potenciômetro.



SEÇÃO 6 – ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS EM SÉRIE E EM PARALELO

A – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ASSOCIAÇÃO

- 1 ■ Já vimos que a função de uma resistência é limitar a corrente elétrica. Se entre dois pontos existir uma diferença de potencial V , quanto maior for a resistência elétrica entre dois pontos, (maior; menor) será a intensidade de corrente entre esses pontos.

menor

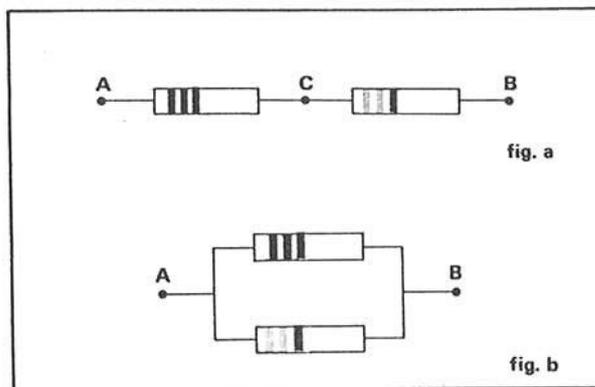
- 2 ■ Se quisermos aumentar a intensidade de corrente entre os dois pontos mencionados no item 1, devemos (aumentar; diminuir) a resistência elétrica entre os dois pontos.

diminuir

- 3 ■ Para uma dada diferença de potencial V , a corrente é (diretamente; inversamente) proporcional a resistência R .

inversamente

4 ■ As resistências limitadoras de corrente usadas comumente na prática são chamadas resistores. Podemos associar dois resistores de dois modos diferentes, como mostram as figuras ao lado. Na fig. a os resistores são ligados em seqüência, isto é, em **série**. Na fig. b os resistores são ligados lado a lado, isto é, em **paralelo**. Logo, a fig. a representa dois resistores ligados ou associados em _____ e a fig. b, em _____.



série; paralelo

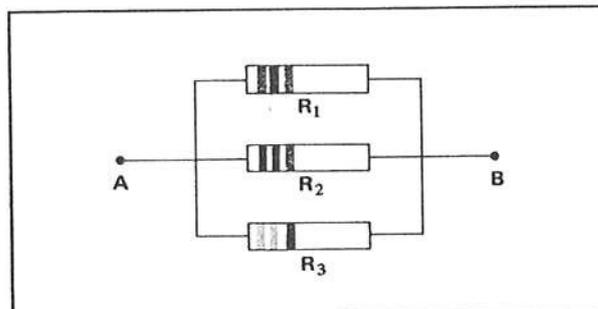
5 ■ Na fig. a do item 4, os resistores estão ligados em _____. Cada resistor (está; não está) ligado aos pontos A e B, pois um deles está ligado aos pontos A e C e o outro, aos pontos _____ e _____.

série; não está; C; B

6 ■ Na fig. b do item 4, os resistores estão ligados em _____. Cada resistor (está; não está) ligado aos pontos A e B.

paralelo; está

7 ■ A figura ao lado representa a associação de três resistores. Eles estão ligados (em série; em paralelo).

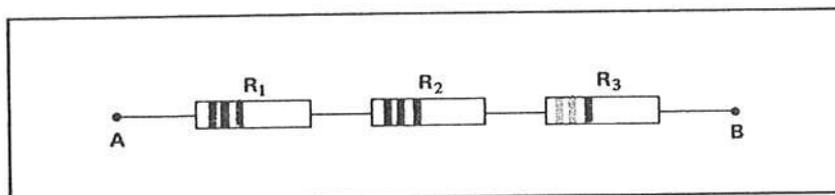


em paralelo

8 ■ No caso acima todos os resistores (estão; não estão) ligados aos pontos A e B, pois R_1 , R_2 e R_3 estão ligados a A e B.

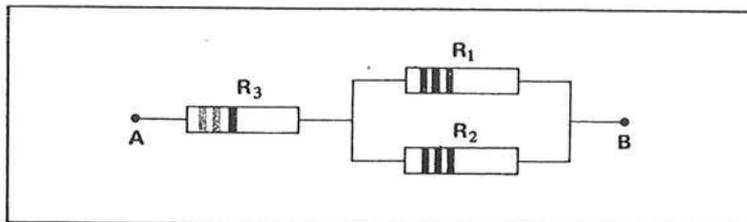
estão

9 ■ Agora, na figura abaixo, os resistores do item 7 estão ligados em _____. Os resistores associados em série (não estão; estão) ligados simultaneamente aos pontos A e B.



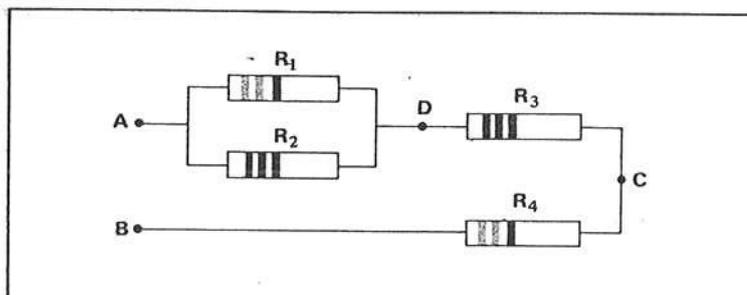
série; não estão

- 10 ■ Na figura ao lado os resistores que estão em paralelo são _____ e _____. O resistor R_3 (está; não está) ligado em série com a associação de R_1 e R_2 .



R_1 ; R_2 ; está

- 11 ■ Na figura ao lado, os resistores R_1 e R_2 estão ligados em _____, pois R_1 e R_2 estão ligados aos mesmos pontos, isto é, A e D.



paralelo

- 12 ■ Os resistores R_3 e R_4 (estão; não estão) associados em paralelo, pois R_3 e R_4 (estão; não estão) ligados aos mesmos pontos. R_3 está ligado aos pontos _____ e _____, enquanto que R_4 está ligado aos pontos C e B. Portanto, R_3 e R_4 estão associados em _____.

não estão; não estão; D; C; série

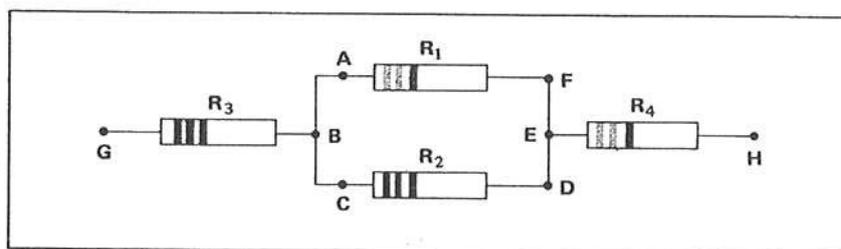
- 13 ■ Podemos identificar uma associação de resistores em paralelo verificando se (todos os; somente um dos; alguns dos) resistores que compõem a associação (estão; não estão) ligados aos mesmos pontos.

todos os; estão

- 14 ■ Na associação em série os resistores da associação (estão; não estão) ligados aos mesmos pontos.

não estão

- 15 ■ A figura abaixo mostra uma associação de 4 resistores. As linhas retas representam fios de ligação. Os resistores R_1 e R_2 (estão; não estão) associados em paralelo. Os pontos A, B e C representam um único ponto da associação. Os pontos D, E e F (representam; não representam) um único ponto da associação. Desta forma, tanto o resistor R_1 como R_2 estão ligados em B e em _____.

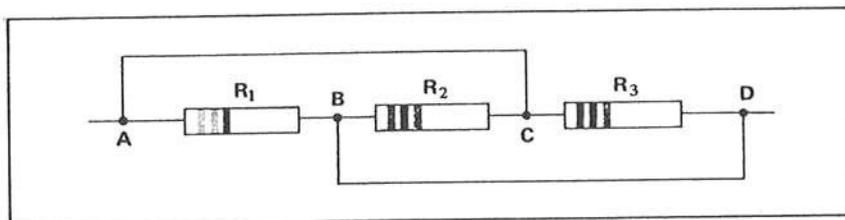


estão; representam; E

- 16 ■ Na associação descrita no item 15, os resistores R_3 e R_4 (estão; não estão) em série com a associação de R_1 e R_2 . Justifique.

estão; pois não estão ligados aos mesmos pontos.

- 17 ■ Na figura abaixo temos uma associação de 3 resistores. Eles estão ligados em série ou em paralelo? Vejamos como analisar. Pela figura podemos verificar que um fio liga diretamente os pontos A e C, e um outro fio, os pontos _____ e _____.

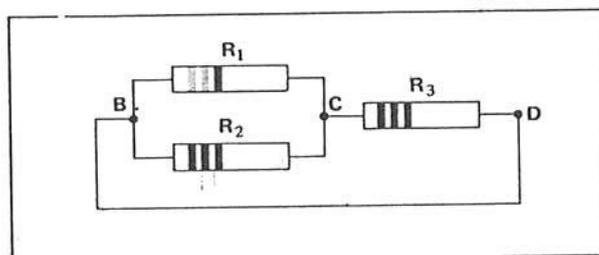


B; D

- 18 ■ Os pontos A e C (representam; não representam) um mesmo ponto da associação, pois estão ligados diretamente por um fio. Portanto, o resistor R_1 está ligado aos pontos B e _____, porque _____.

representam; C; A e C representam um mesmo ponto

- 19 ■ A associação do item 17 pode, portanto, ser esquematizada como na figura ao lado. Conclui-se que R_1 e R_2 (estão; não estão) associados em paralelo.



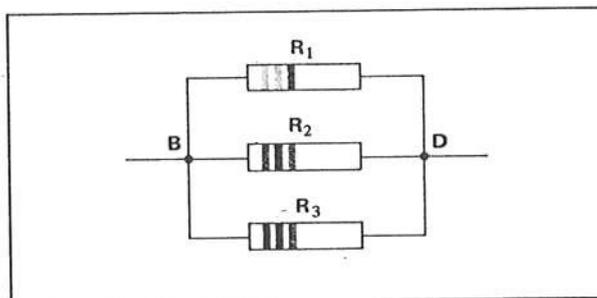
estão

- 20 ■ Na associação do item 17 os pontos B e D (estão; não estão) ligados diretamente por um fio. Logo, B e D (representam; não representam) um único ponto do circuito. Portanto, o resistor R_3 (está; não está) ligado ao ponto B.

estão; representam; está

- 21 ■ Logo, a associação do item 17 pode ser esquematizada conforme o desenho ao lado.

Conclusão: R_1 , R_2 e R_3 estão associados (em série; em paralelo), pois todos eles estão ligados _____.

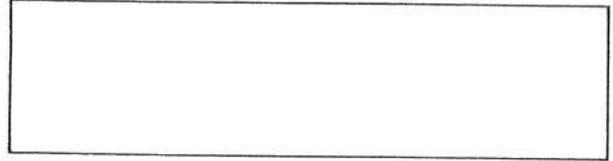
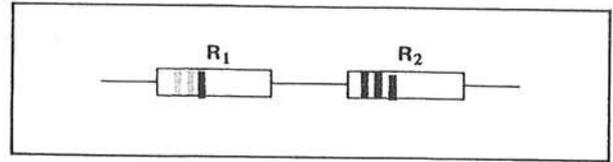


em paralelo; aos mesmos pontos (B e D)

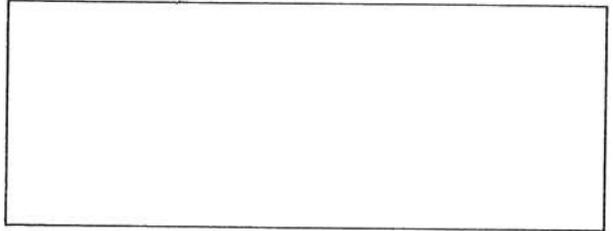
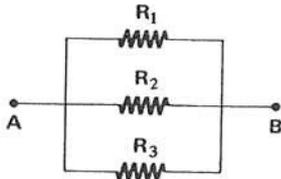
- 22 ■ Representaremos esquematicamente a resistência elétrica de um resistor pelo símbolo



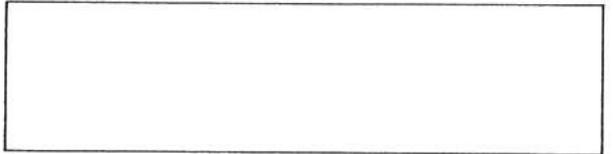
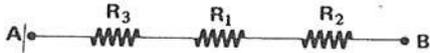
Simbolize esquematicamente, no espaço reservado, a associação de resistores da figura ao lado.



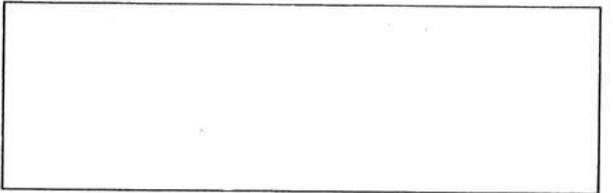
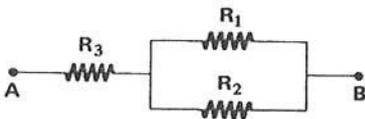
- 23 ■ Esquematize ao lado os três resistores em paralelo do item 7.



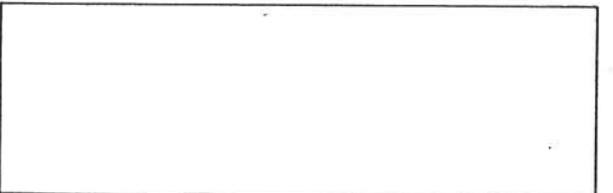
- 24 ■ Esquematize ao lado os três resistores em série do item 9.

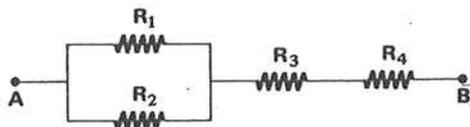


- 25 ■ Esquematize a ligação dos resistores do item 10.

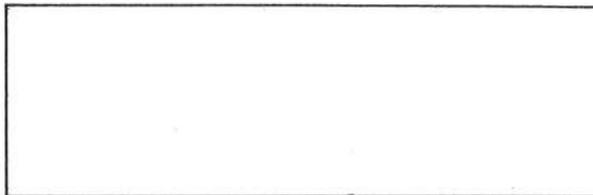


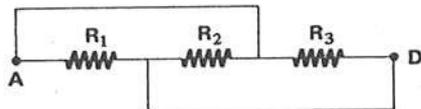
- 26 ■ Esquematize a associação dos resistores do item 11.



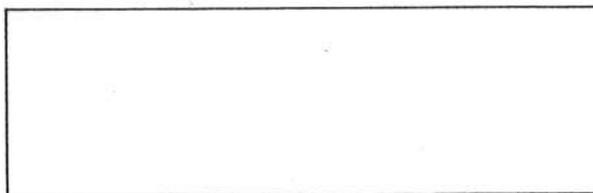


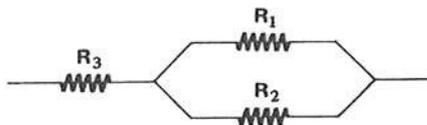
27 ■ Esquematize a associação de resistores do item 17.



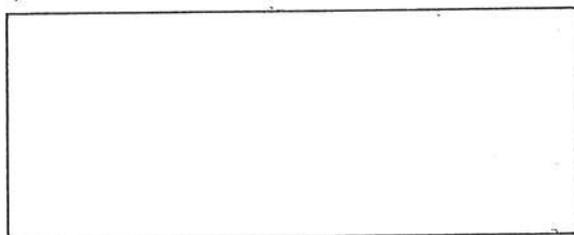


28 ■ Dois resistores, R_1 e R_2 , estão em paralelo, e R_3 está em série com a associação de R_1 e R_2 . Esquematize ao lado.

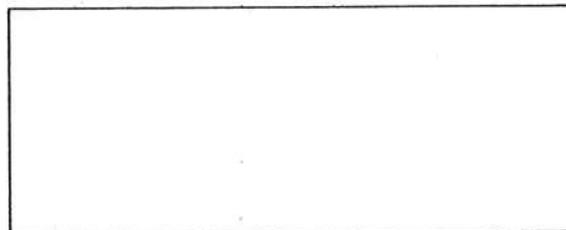




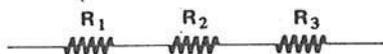
29 ■ Você possui três resistores: R_1 , R_2 e R_3 . Associe-os:
a) em série.



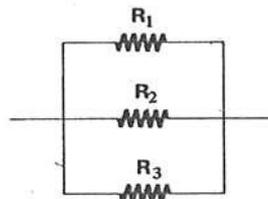
b) em paralelo.



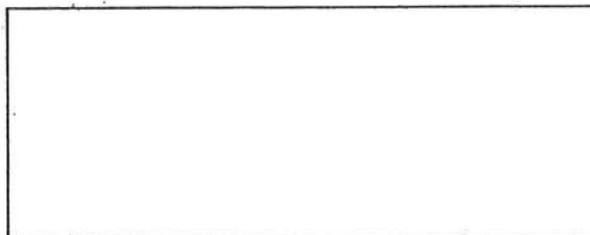
a)

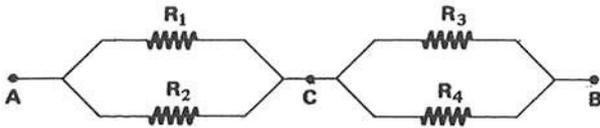


b)



30 ■ Você possui 4 resistores: R_1 , R_2 , R_3 e R_4 . Associe R_1 e R_2 em paralelo e R_3 e R_4 também em paralelo. Depois ligue as duas associações em série.

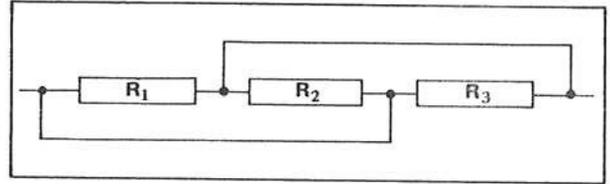




QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Para uma dada diferença de potencial, a corrente é inversamente proporcional à resistência. Certo ou errado?
- 2 ■ Qual é a função de resistores?
- 3 ■ O que significa resistores em série?
- 4 ■ E em paralelo?
- 5 ■ Como você pode identificar uma ligação em série e uma ligação em paralelo? Cite características.
- 6 ■ No esquema ao lado os resistores estão associados em _____.
- 7 ■ Desenhe um esquema equivalente ao da questão 6, mostrando cada operação de transformação intermediária.
- 8 ■ Desenhe o símbolo que representa a resistência elétrica de resistores.
- 9 ■ Desenhe simbolicamente 3 resistores em série e em paralelo.
- 10 ■ R_1 e R_2 estão em paralelo, bem como R_3 e R_4 . As duas associações estão em série. Esquematize o enunciado.

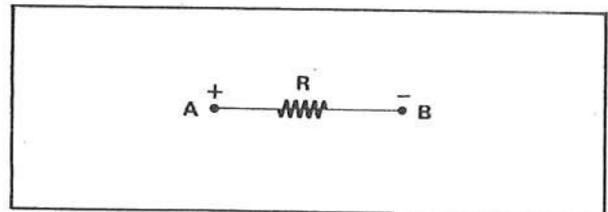


Após isso, você deve estar apto para:

- a. definir resistor.
- b. identificar associação de resistores em série.
- c. identificar associação de resistores em paralelo.
- d. identificar resistores em série e em paralelo.
- e. representar associação de resistores, simbolicamente.

B – CARACTERÍSTICAS DA ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE DOIS OU MAIS RESISTORES EM SÉRIE

- 1 ■ Considere a resistência ao lado. Se entre os pontos A e B existir uma diferença de potencial positiva $V_{AB} = V_A - V_B$, isto é, $V_A > V_B$, (existirá; não existirá) corrente elétrica através da resistência R.



existirá

2 ■ Num resistor, a corrente elétrica é constituída de movimento de (elétrons; prótons; íons).

elétrons

3 ■ Os elétrons se movimentam, sob a ação da força do campo elétrico, de pontos de potencial elétrico (maior para menor; menor para maior).

menor para maior

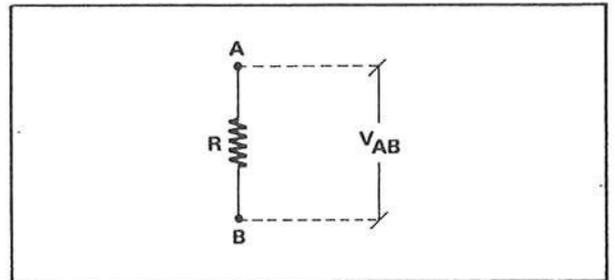
4 ■ No resistor esquematizado no item 1, o potencial do ponto A é (maior; menor) que o do ponto B.

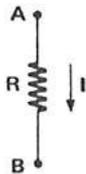
maior

5 ■ Sendo $V_A > V_B$, os elétrons movimentar-se-ão (de A para B; de B para A). Como a corrente elétrica tem sentido convencional oposto ao movimento dos elétrons, a corrente será de _____ para _____.

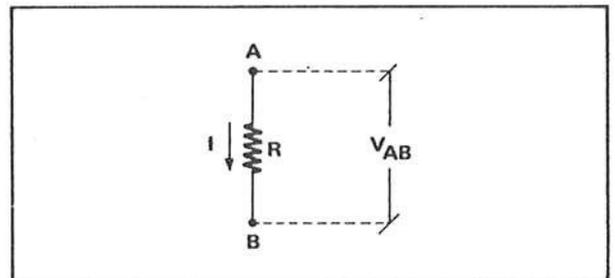
de B para A; A; B

6 ■ A corrente elétrica convencional tem sentido do potencial maior para o menor. Simbolize na figura ao lado a corrente I que flui no resistor do item 1.



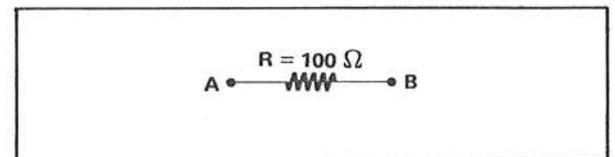


7 ■ No resistor R flui então uma corrente I de A para B, isto é, do potencial maior para o menor, sob uma diferença de potencial ou voltagem _____. Pela Lei de Ohm, $R =$ _____.



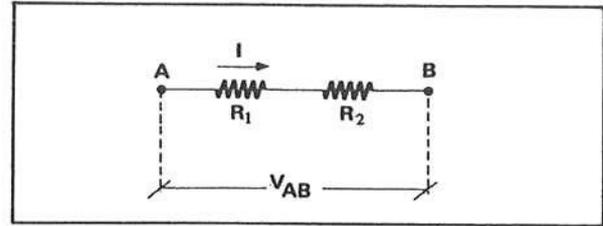
$$V_{AB}; \frac{V_{AB}}{I}$$

8 ■ Uma resistência $R = 100 \Omega$ suporta uma voltagem $V_{AB} = 10$ volts. A corrente no resistor é _____ e flui no sentido (A para B; B para A).



$I = 0,10$ A; A para B

- 9 ■ No esquema ao lado, a corrente que passa por R_1 tem intensidade I . Por R_2 (passa; não passa) a mesma corrente I , pois a mesma quantidade de elétrons que entra em B deve sair em A pela lei da conservação das cargas elétricas.



passa

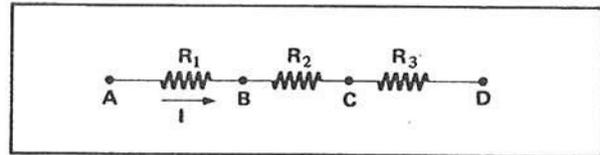
- 10 ■ Portanto, uma das características da associação de resistores em série é o fato de que a corrente que passa por um resistor (deve; não deve) passar por todos os outros.

deve

- 11 ■ Em outras palavras, a corrente possui (só um; mais de um) caminho para passar através dos resistores em série para, de um ponto A, atingir um ponto B.

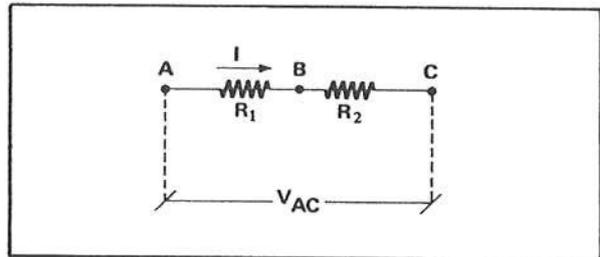
só um

- 12 ■ A corrente que passa por R_1 na associação ao lado é $I = 10 \text{ mA}$. No resistor R_3 a corrente $I = \underline{\hspace{2cm}}$.



10 mA

- 13 ■ Neste esquema, entre os pontos A e C existem dois resistores associados em . Já sabemos que a corrente I que flui por R_1 também flui por . A diferença de potencial entre A e C é e ela é medida em (volts; joules; newtons; quilogramas).



série; R_2 ; V_{AC} ; volts

- 14 ■ Volt é o nome que se dá a (C/J; J/C; N/C; N/J).

J/C

- 15 ■ $1 \text{ volt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ coulomb}} = 1 \text{ J/C}$. Portanto, volt (é; não é) energia por unidade de carga elétrica.

é

- 16 ■ Portanto, se a energia é conservada, a diferença de potencial (se conserva; não se conserva).

se conserva

- 17 ■ No esquema do item 13, a voltagem em R_1 é $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$ e em R_2 é $V_{BC} = \underline{\hspace{2cm}}$ (Lei de Ohm).

$R_1 \cdot I$; $R_2 \cdot I$

18 ■ Como a diferença de potencial se conserva, então:

$$V_{AC} = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} \text{ (em termos de } V_{AB} \text{ e } V_{BC}\text{)}$$

$$V_{AB}; V_{BC}$$

19 ■ $V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$ na associação do item 13. Com $V_{AB} = R_1 \cdot I$ e $V_{BC} = \underline{\hspace{2cm}}$, então $V_{AC} = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de corrente e resistência).

$$R_2 \cdot I; R_1 \cdot I; R_2 \cdot I$$

20 ■ $V_{AC} = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I$

$$V_{AC} = (\underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}}) \cdot I$$

$$R_1; R_2$$

21 ■ $V_{AC} = (R_1 + R_2) I$. A soma $R_1 + R_2$ (corresponde; não corresponde) ao valor da resistência de um único resistor que colocado entre os pontos A e C do esquema do item 13 (deixa; não deixa) passar a mesma corrente I.

corresponde; deixa

22 ■ Este resistor único que colocado entre A e C deixa passar a mesma corrente I é chamado de resistor equivalente e o valor da resistência de resistência equivalente. Simbolizaremos a resistência equivalente por R_{eq} . Portanto, no caso dos resistores em série do item 13, $R_{eq} = \underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}}$.

$$R_1; R_2$$

23 ■ Se $R_1 = 10 \Omega$ e $R_2 = 20 \Omega$, no caso do item 13, qual é a resistência equivalente?

$$R_{eq} = R_1 + R_2 = 30 \Omega$$

24 ■ No caso do item 13, se $V_{AC} = 3,0$ volts, qual é a corrente em R_1 ?

$$I = \frac{V_{AC}}{R_1 + R_2} = \frac{3,0}{30} = 0,10 \text{ A (tanto em } R_1 \text{ como em } R_2\text{)}$$

25 ■ Qual é a voltagem V_{AC} ?

$$V_{AC} = R_{eq} \cdot I = 30 \Omega \times 0,10 \text{ A} = 3,0 \text{ volts}$$

26 ■ Qual é a voltagem em R_1 ?

$$V_{AB} = R_1 \cdot I = 10 \Omega \times 0,10 \text{ A} = 1,0 \text{ volt}$$

27 ■ Qual é a voltagem em R_2 ?

$$V_{BC} = R_2 \cdot I = 20 \Omega \times 0,10 \text{ A} = 2,0 \text{ volts}$$

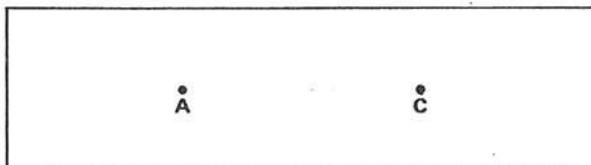
- 28 ■ Pelos resultados dos itens 25, 26 e 27 podemos verificar que ($V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$; $V_{AC} \neq V_{AB} + V_{BC}$). Substitua os valores e verifique.

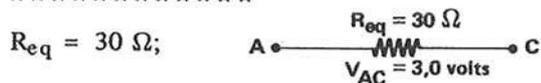
$$V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$$

- 29 ■ A voltagem no resistor R_1 é também chamada de queda de tensão em R_1 . Podemos dizer então que a soma das quedas de tensão ou _____ nos resistores associados em série (é; não é) igual à voltagem fornecida à associação.

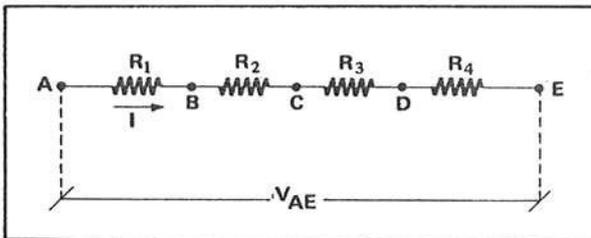
voltagens; é

- 30 ■ No caso da associação do item 13, qual é o valor da resistência única que colocada entre A e C, sob a mesma diferença de potencial $V_{AC} = 3,0$ volts, deixa passar a corrente $I = 0,10$ A? Faça o esquema ao lado.





- 31 ■ Podemos fazer então uma generalização para a associação de resistores em série. Considere a associação ao lado.



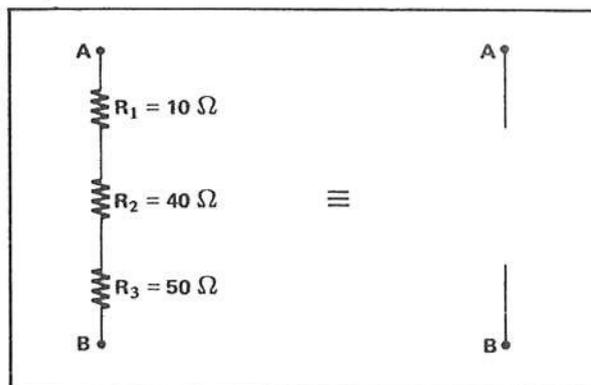
- a) A corrente que passa por R_1 (é; não é) igual a que passa pelos resistores restantes.
 b) $V_{AE} =$ _____ (em termos de quedas de tensão nos resistores).
 c) $R_{eq} =$ _____.

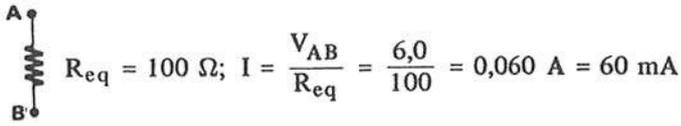
é; $V_{AB} + V_{BC} + V_{CD} + V_{DE}$; $R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

- 32 ■ A corrente na associação do item 31 é calculada pela expressão: $I =$ _____.

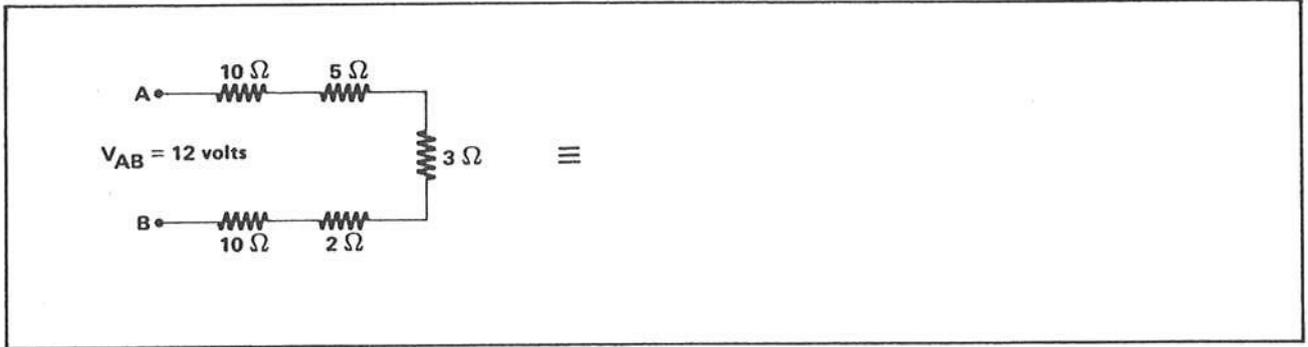
$$\frac{V_{AE}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{V_{AE}}{R_{eq}}$$

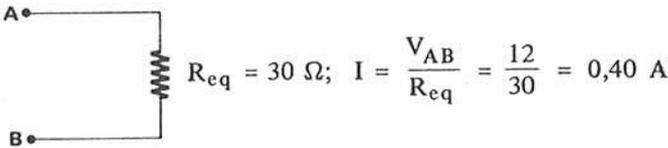
- 33 ■ Coloque entre os pontos A e B uma resistência única equivalente à associação das três resistências e determine a corrente na associação para $V_{AB} = 6,0$ volts.





34 ■ Construa o esquema equivalente à associação abaixo e determine a corrente.

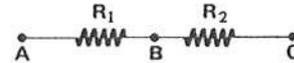




PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

No esquema ao lado, $R_1 = 50 \Omega$, $R_2 = 100 \Omega$ e $V_{AC} = 15 \text{ volts}$. Determinar a resistência equivalente e a corrente que passa por R_2 .



- 1 ■ A resistência equivalente de duas ou mais resistências em série (é; não é) a resistência única que as substitui fazendo o mesmo papel, isto é, deixando passar a mesma corrente sob a mesma voltagem.

é

- 2 ■ $R_{eq} =$ _____ (em termos de R_1 e R_2).

$R_1 + R_2$

- 3 ■ Logo, $R_{eq} =$ _____ (valor).

150Ω

4 ■ A corrente na resistência R_2 (é; não é) a mesma que em R_1 e é calculada utilizando-se da Lei de Ohm aplicada à associação.

é

5 ■ $I = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos V_{AC} e R_{eq}).

$$\frac{V_{AC}}{R_{eq}}$$

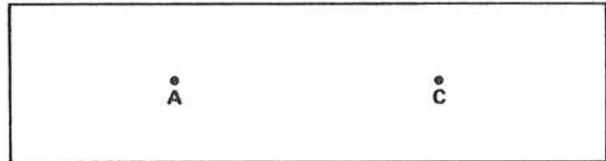
6 ■ Logo, $I = \underline{\hspace{2cm}}$ (valor).

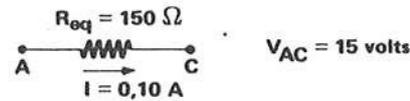
$$I = \frac{15}{150} = 0,10 \text{ A}$$

7 ■ Portanto, a resistência equivalente é $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$ e a corrente, tanto em R_1 como em R_2 , tem intensidade $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

150 Ω ; 0,10 A

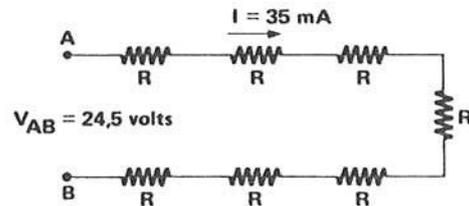
8 ■ Desenhe o esquema equivalente, com todos os dados.





PROBLEMA 2

No esquema ao lado, determine o valor da resistência R .



1 ■ As resistências estão associadas em (série; paralelo).

série

2 ■ As resistências (têm; não têm) o mesmo valor.

têm

3 ■ Portanto, $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de R).

7 R

4 ■ $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de V_{AB} e I).

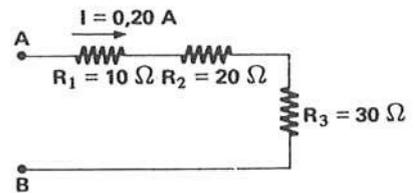
$$\frac{V_{AB}}{I}$$

5 ■ $R_{eq} = \frac{V_{AB}}{I}$. Substitua os valores e determine R .

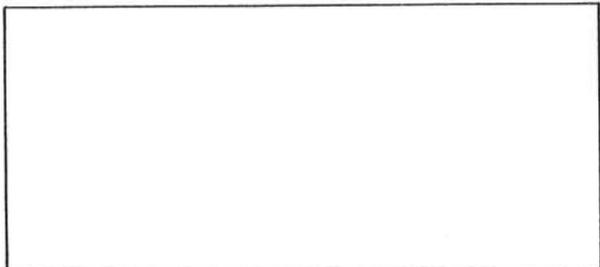
$$7 R = \frac{24,5 \text{ volts}}{0,035 \text{ A}} \Rightarrow R = 100 \Omega$$

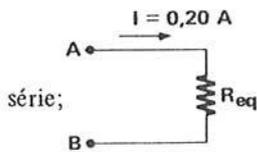
PROBLEMA 3

No esquema ao lado, determine V_{AB} e a queda de tensão em cada resistor. Mostre que V_{AB} é igual à soma das quedas de tensão.



1 ■ Os resistores estão em . Desenhe ao lado um esquema equivalente indicando a resistência equivalente.





2 ■ $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$
 $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ volts}$

$$60; R_{eq} \cdot I = 12$$

3 ■ Para cada resistor, conforme a Lei de Ohm, podemos escrever:

$$V_{R_1} = R_1 \cdot I$$

$$V_{R_2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_{R_3} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_2 \cdot I; R_3 \cdot I$$

4 ■ V_{R_1} , V_{R_2} e V_{R_3} representam as quedas de tensão nos respectivos resistores. Logo, as quedas de tensão em R_1 , R_2 e R_3 valem respectivamente, , e .

$$2,0 \text{ volts}; 4,0 \text{ volts}; 6,0 \text{ volts}$$

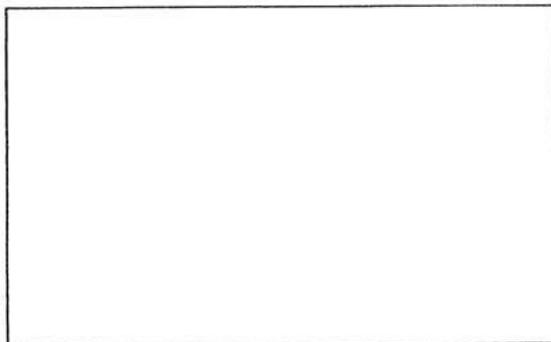
5 ■ Comparando os resultados obtidos nos itens 2 e 4, podemos concluir que _____.

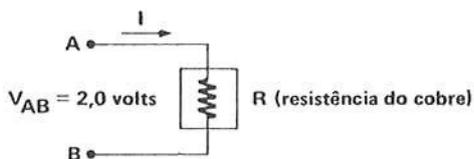
$$V_{AB} = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3}$$

PROBLEMA 4

Um condutor de cobre tem seção transversal igual a $1,70 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$ e comprimento de 1,0 km. Ele é recoberto por uma tinta isolante e enrolado num carretel. Suas extremidades são ligadas a uma fonte de 2,0 volts. Determine a corrente que flui através do condutor de cobre. (resistividade do cobre = $1,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$)

1 ■ Desenhe ao lado o esquema, identificando os elementos.





2 ■ $I =$ _____ (em termos de V_{AB} e R).

$$\frac{V_{AB}}{R}$$

3 ■ Devemos calcular o valor de R .

De acordo com a definição da resistividade ρ (parte C da seção 5), podemos escrever: $R =$ _____ (analiticamente).

$$\rho \frac{\ell}{S}, \text{ onde } \ell = \text{comprimento do condutor e } S = \text{seção transversal}$$

4 ■ Logo, substituindo os valores, tem-se $R =$ _____.

$$\frac{(1,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m})(1,0 \times 10^3 \text{ m})}{1,70 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 100 \Omega$$

5 ■ Portanto, conhecidos os valores de V_{AB} e R , de acordo com o item 2, $I =$ _____.

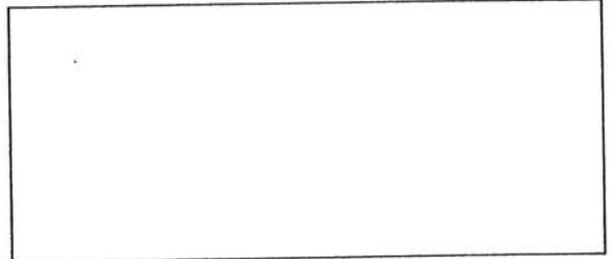
20 mA

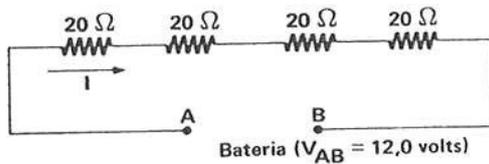
PROBLEMA 5

Quatro lâmpadas de 20Ω de resistência cada uma são ligadas em série. Uma bateria fornece aos extremos da associação uma voltagem de 12 volts.

- Qual é a corrente que flui através das lâmpadas?
- Qual é a queda de tensão em cada lâmpada?
- Se num determinado instante uma lâmpada se "queima", isto é, se o filamento é rompido, o que acontece com a associação?

1 ■ Desenhe ao lado o esquema, conforme o enunciado.





2 ■ Para determinarmos a corrente devemos calcular a resistência equivalente.

Ela vale $R_{eq} =$ _____ .

$$4 \times 20 \Omega = 80 \Omega$$

3 ■ Logo, $I =$ _____ .

$$\frac{V_{AB}}{R_{eq}} = 0,15 \text{ A}$$

4 ■ A queda de tensão em uma lâmpada é dada pelo produto da sua resistência pela _____

_____ .

corrente que flui através dela

5 ■ Logo, a queda de tensão em cada lâmpada é _____ .

$$20 \Omega \times 0,15 \text{ A} = 3,0 \text{ volts}$$

6 ■ A soma das quedas de tensão das lâmpadas é então _____ . Ela (equivale; não equivale) à voltagem fornecida pela bateria.

12,0 volts; equivale

7 ■ Se o filamento (resistor) é rompido, a associação (é; não é) interrompida. Logo, cessará a passagem da _____ pelas lâmpadas. (Se as lâmpadas emitiam luz, deixarão de fazê-lo, isto é, apagar-se-ão.)

é; corrente

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Num resistor, a corrente elétrica é constituída pelo movimento de _____.
- 2 ■ Os elétrons se movimentam de pontos de potenciais (maiores; menores) para pontos de potenciais _____.
- 3 ■ Qual é o sentido convencional da corrente que flui através de um resistor?
- 4 ■ Numa associação de resistores em série, a corrente que flui através deles é a mesma. Certo ou errado?
- 5 ■ Justifique a sua resposta anterior.
- 6 ■ Entre dois pontos existe uma diferença de potencial V e resistências R_1 e R_2 . Através dos mesmos flui uma corrente I . Escreva a expressão de V , em função de I , R_1 e R_2 .
- 7 ■ Defina resistor equivalente e resistência equivalente.
- 8 ■ O que significa queda de tensão?
- 9 ■ O que representa a soma das quedas de tensão nos resistores associados em série?
- 10 ■ Numa associação de resistores em série, como você obtém a corrente que flui através deles?

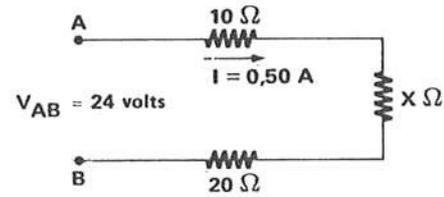
Após isso, você deve estar apto para:

- a. caracterizar associação de resistores em série.
- b. determinar resistência equivalente.
- c. definir queda de tensão.
- d. aplicar Lei de Ohm sobre associação de resistências em série.
- e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Dois resistores de $6,0 \Omega$ e $4,0 \Omega$ são ligados em série. Uma bateria fornece aos extremos da associação uma voltagem de 12 volts.
 - a) Qual é a corrente que flui na associação?
 - b) Qual é a queda de tensão no resistor de $6,0 \Omega$?
- 2 ■ Resistores de $5,0 \Omega$ e $7,0 \Omega$ são ligados em série. A corrente no resistor de $5,0 \Omega$ é 0,50 A. Determine:
 - a) a corrente no resistor de $7,0 \Omega$.
 - b) a voltagem (queda de tensão) em cada resistor.
 - c) a voltagem fornecida nos extremos da associação.

- 3 ■ Dois condutores de mesmo material têm o mesmo comprimento ℓ e são associados em série. Às extremidades da associação é aplicada uma voltagem V . A seção transversal de um condutor é duas vezes maior que a do outro.
- Determine a resistência de cada condutor.
 - Determine a resistência equivalente.
 - Determine a corrente da associação.
- 4 ■ No problema 3, se as seções dos condutores forem iguais e o comprimento de um deles for o dobro do outro, qual é a razão entre as suas resistências?
- 5 ■ Dada a associação de resistores conforme o esquema ao lado, calcule a resistência equivalente.

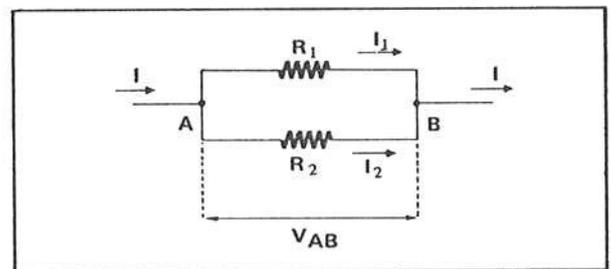


RESPOSTAS

- 1 ■ a) $I = 1,2 \text{ A}$; b) $V_6 = 6,0 \times 1,2 = 7,2 \text{ volts}$
- 2 ■ a) $0,50 \text{ A}$; b) $V_5 = 5,0 \times 0,50 = 2,5 \text{ volts}$; $V_7 = 7,0 \times 0,50 = 3,5 \text{ volts}$; c) $V = 6,0 \text{ volts}$
- 3 ■ a) $R_1 = \rho \frac{\ell}{S}$; $R_2 = \rho \frac{\ell}{2S}$; b) $R_{eq} = \frac{3}{2} \rho \frac{\ell}{S}$; c) $I = \frac{2SV}{3\rho\ell}$
- 4 ■ $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2}$
- 5 ■ $R = 48 \Omega$

C – CARACTERÍSTICAS DE UMA ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES LIGADOS EM PARALELO RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DE UMA ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES LIGADOS EM PARALELO

- 1 ■ Considere a associação ao lado. As resistências R_1 e R_2 estão ligadas em _____ entre A e B.



paralelo

- 2 ■ A corrente I que entra em A tem (um; dois) caminhos a seguir. Ela passa pelos resistores e atinge o ponto B. Portanto, ela se subdivide em duas partes: I_1 passando por R_1 e I_2 passando por R_2 . A soma de I_1 com I_2 (é; não é) igual a I . Logo, $I =$ _____.

dois; é; $I_1 + I_2$

- 3 ■ No caso da associação do item 1, a queda de tensão ou _____ no resistor R_1 (é; não é) igual a V_{AB} , pois ele está ligado entre A e B.

voltagem; é

4 ■ A queda de tensão no resistor R_2 também é _____, pois ele está ligado entre _____.

V_{AB} ; A e B

5 ■ R_1 e R_2 estão em paralelo entre A e B. R_1 e R_2 (estão; não estão) submetidos a uma mesma diferença de potencial.

estão

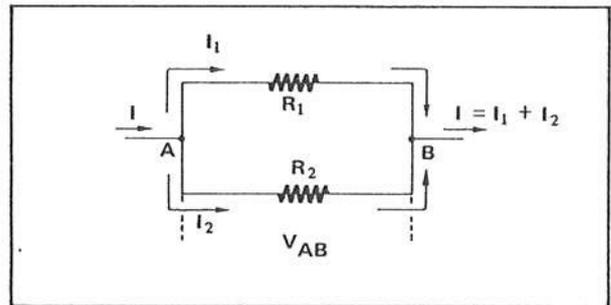
6 ■ A soma das correntes que passam por R_1 e por R_2 (corresponde; não corresponde) à corrente total que entra na associação.

corresponde

7 ■ Vejamos agora se podemos substituir, na associação do item 1, as duas resistências por uma única, de modo que continue deixando passar a mesma corrente I. Esta resistência única é chamada de _____

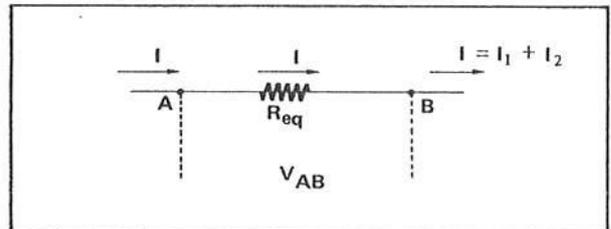
resistência equivalente

8 ■ A associação ao lado é a mesma do item 1. Pela Lei de Ohm a voltagem ou queda de tensão em R_1 é $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$ e em R_2 é $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.



$R_1 \cdot I_1$; $R_2 \cdot I_2$

9 ■ Ao lado, R_1 e R_2 foram substituídas pela resistência _____ R_{eq} . A corrente (continua; não continua) a mesma que a anterior.



equivalente; continua

10 ■ No caso do item 9, pela Lei de Ohm, $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

$R_{eq} \cdot I$

11 ■ Vimos que:

a) $I = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de I_1 e I_2).

b) voltagem em R_1 é $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

c) voltagem em R_2 é $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

d) voltagem em R_{eq} é $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

$I_1 + I_2$; $R_1 \cdot I_1$; $R_2 \cdot I_2$; $R_{eq} \cdot I$

- 12 ■ Do item 11 b podemos determinar a corrente I_1 , isto é, $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de V_{AB} e R_1).
Da mesma forma, de 11 c $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ e, de 11 d, $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$\frac{V_{AB}}{R_1} ; \frac{V_{AB}}{R_2} ; \frac{V_{AB}}{R_{eq}}$$

- 13 ■ $I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1}$; $I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2}$; $I = \frac{V_{AB}}{R_{eq}}$. Do item 11 a $I = I_1 + I_2$. Substituindo-se os valores de I , I_1 e I_2 , resulta:
 $\underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}$.

$$\frac{V_{AB}}{R_{eq}} ; \frac{V_{AB}}{R_1} ; \frac{V_{AB}}{R_2}$$

- 14 ■ $\frac{V_{AB}}{R_{eq}} = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2}$. Podemos cancelar o termo V_{AB} pois ele aparece em todos os termos. Logo, após o cancelamento:
 $\underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}$.

$$\frac{1}{R_{eq}} ; \frac{1}{R_1} ; \frac{1}{R_2}$$

- 15 ■ Temos, então, $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. Esta equação (permite; não permite) calcular a resistência equivalente de R_1 e R_2 ligados em paralelo.

permite

- 16 ■ Se R_1 e R_2 estiverem ligados em paralelo entre A e B (assinale as verdadeiras):
a. a resistência equivalente é a soma de R_1 e R_2 .
b. $R_{eq} = R_1 + R_2$.
c. o inverso da resistência equivalente é igual à soma dos inversos de R_1 e R_2 .
d. $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

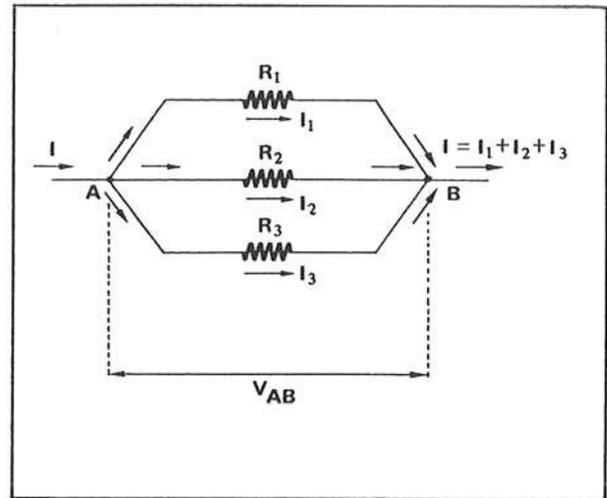
c; d

- 17 ■ Se R_1 e R_2 estiverem ligados em paralelo entre A e B (assinale as verdadeiras):
a. a corrente total que entra em A e sai em B é igual à soma das correntes que passam por cada resistência.
b. a voltagem em R_1 é diferente da voltagem em R_2 .
c. tanto R_1 como R_2 estão a uma mesma voltagem.
d. a voltagem em R_1 é igual à voltagem em R_2 e vale V_{AB} .
e. $I = I_1 + I_2$.
f. $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

a; c; d; e; f

- 18 ■ No esquema ao lado temos 3 resistores ligados em paralelo entre A e B. A corrente I que entra em A (e sai em B) possui agora 3 caminhos para percorrer até chegar em B. Por cada um dos resistores (passa; não passa) parte da corrente. Portanto,

$I = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}$,
 sendo que I_1 é a corrente em R_1 , I_2 em $\underline{\hspace{2cm}}$ e I_3 em $\underline{\hspace{2cm}}$.



passa; I_1 ; I_2 ; I_3 ; R_2 ; R_3

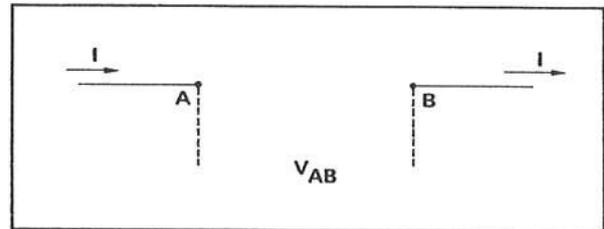
- 19 ■ Os 3 resistores (estão; não estão) sob uma mesma diferença de potencial. Pela Lei de Ohm, a corrente $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$.

estão; $\frac{V_{AB}}{R_1}$

- 20 ■ Analogamente, $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ e $I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\frac{V_{AB}}{R_2}$; $\frac{V_{AB}}{R_3}$

- 21 ■ Esquematize, entre A e B, a resistência equivalente que deixa passar a mesma corrente.



R_{eq}

- 22 ■ A corrente total I (pode; não pode) ser determinada pela resistência equivalente. Portanto, $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

pode; $\frac{V_{AB}}{R_{eq}}$

- 23 ■ $I = I_1 + I_2 + I_3$ e $I = \frac{V_{AB}}{R_{eq}}$, $I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1}$, $I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2}$ e $I_3 = \frac{V_{AB}}{R_3}$.

Efetuada as substituições você obterá a equação que permite calcular a resistência equivalente:

$\underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}$.

$\frac{1}{R_{eq}}$; $\frac{1}{R_1}$; $\frac{1}{R_2}$; $\frac{1}{R_3}$

24 ■ Generalizando: Se tivermos $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ resistências ligadas em paralelo entre A e B:

a) $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$.

b) $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$.

c) A voltagem em um dos resistores (é; não é) igual à voltagem em cada um dos outros restantes.

a) $\frac{1}{R_1}; \frac{1}{R_2}; \frac{1}{R_3}; \frac{1}{R_n}$; b) $I_1; I_2; I_3; I_n$; c) é

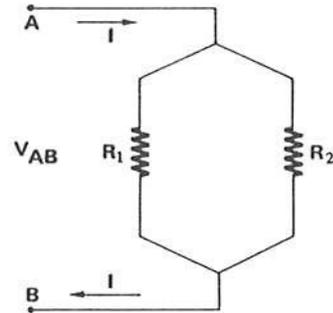
PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

No esquema ao lado, $R_1 = 20 \Omega$; $R_2 = 80 \Omega$ e $V_{AB} = 8,0$ volts.

Determine:

- a resistência equivalente.
- a corrente total I .
- a corrente em R_1 e em R_2 .



1 ■ As resistências R_1 e R_2 estão ligadas em _____ entre A e B. Portanto,

$$(R_{eq} = R_1 + R_2; \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}).$$

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

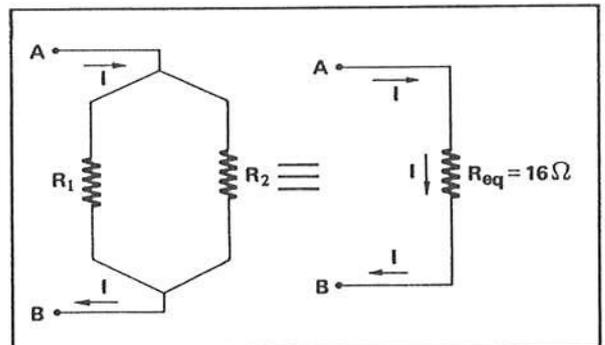
2 ■ $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. Determinando o mínimo múltiplo comum das frações do membro direito da equação e resolvendo, teremos: $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

3 ■ Substituindo os valores de R_1 e R_2 , $R_{eq} = 16 \Omega$.

16 Ω

4 ■ Portanto, a associação de R_1 e R_2 ligadas em paralelo entre A e B equivale a uma única resistência de 16Ω ligada em A e B.



16

- 5 ■ A corrente total que flui através de R_1 e R_2 , entre A e B, pode ser determinada após o conhecimento da resistência equivalente. A corrente é dada por $I = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de V_{AB} e R_{eq}).

$$\frac{V_{AB}}{R_{eq}}$$

- 6 ■ Como $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$ e $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$, $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

8,0 volts; 16 Ω ; 0,50 A

- 7 ■ Portanto, a corrente total que entra na associação é $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

0,50 A = $5,0 \times 10^{-1}$ A

- 8 ■ Tanto R_1 como R_2 (estão; não estão) sob a mesma diferença de potencial $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

estão; 8,0 volts

- 9 ■ Logo, aplicando a Lei de Ohm, para R_1 teremos $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1} = \frac{8,0}{20} = 4,0 \times 10^{-1} \text{ A}$$

- 10 ■ Analogamente, $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2} = \frac{8,0}{80} = 1,0 \times 10^{-1} \text{ A}$$

- 11 ■ Podemos verificar que $I = I_1 + I_2$, isto é $0,50 \text{ A} = \underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}}$.

0,40 A; 0,10 A

- 12 ■ Resumindo:

a) Resistência equivalente = $\underline{\hspace{2cm}}$;

b) $I = \underline{\hspace{2cm}}$;

c) $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ e $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

16 Ω ; 0,50 A; 0,40 A; 0,10 A

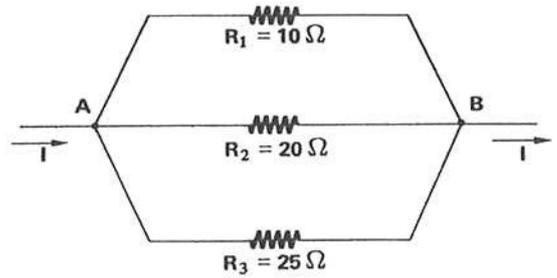
- 13 ■ $R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$; $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ e $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$.

Observe: $R_{eq} < R_1$ e $R_{eq} < R_2$

20 Ω ; 80 Ω ; 16 Ω

PROBLEMA 2

No esquema ao lado, a corrente que passa por R_1 é de 0,20 A. Determinar a corrente total I que entra na associação e a corrente em R_2 e em R_3 .



- 1 ■ Os resistores R_1 , R_2 e R_3 estão ligados em (série; paralelo) entre os pontos A e B. A resistência equivalente da associação é calculada pela expressão: _____.

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

- 2 ■ $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$. O mínimo múltiplo comum entre R_1 , R_2 e R_3 é _____.

$R_1 R_2 R_3$

- 3 ■ Portanto, $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1 R_2 R_3}$.

$R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2$

- 4 ■ $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 R_2 R_3}$. Portanto, $R_{eq} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$.

$\frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$

- 5 ■ Substitua os valores e calcule R_{eq} . $R_{eq} = \frac{5000}{95} = \frac{100}{19} \Omega$.

$\frac{5000}{95} = \frac{100}{19} \Omega$

- 6 ■ A corrente total da associação é dada por $I = \frac{V_{AB}}{R_{eq}}$.

$\frac{V_{AB}}{R_{eq}}$

- 7 ■ $I = \frac{V_{AB}}{R_{eq}}$. Para determinarmos a corrente total devemos conhecer a voltagem entre os terminais A e B da associação e a resistência equivalente. (Podemos; Não podemos) determinar V_{AB} , pois $V_{AB} = \frac{I_1 R_1}{R_{eq}}$ e nós conhecemos o valor de R_1 e da corrente I_1 que passa por ele.

Podemos; $R_1 I_1$

8 ■ $R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ e $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$; então, $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

10 Ω ; 0,20 A; 2,0 volts

9 ■ $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$ e $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$; logo, $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

2,0 volts; $\frac{100 \Omega}{19}$; 0,38 A

10 ■ A corrente total da associação é então $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

0,38 A

11 ■ A corrente em R_2 (pode; não pode) ser determinada aplicando-se a Lei de Ohm neste resistor. A Lei de Ohm aplicada neste resistor é $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

pode; $R_2 \cdot I_2$

12 ■ Logo, $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de voltagem e resistência).

$\frac{V_{AB}}{R_2}$

13 ■ Como conhecemos V_{AB} e R_2 , após as substituições, $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

0,10 A

14 ■ Já sabemos que, numa associação de resistores em paralelo, a corrente total (é; não é) a soma das correntes em cada resistor, isto é, no problema em questão, $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

é; $I_1 + I_2 + I_3$

15 ■ $I = \underline{\hspace{2cm}}$; $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ e $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$. Portanto, $I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$.

0,38 A; 0,20 A; 0,10 A; 0,08 A

16 ■ A corrente em R_1 é então $\underline{\hspace{2cm}}$; em R_2 é $\underline{\hspace{2cm}}$ e em R_3 é $\underline{\hspace{2cm}}$.

0,20 A; 0,10 A; 0,08 A

17 ■ A corrente em R_1 é maior porque a sua resistência é (maior; menor) e a diferença de potencial é a mesma. A menor corrente corresponde à resistência (maior; menor).

menor; maior

18 ■ $R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$; $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$; $R_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ e $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$.

Observe: $R_{eq} < R_1$

$R_{eq} \underline{\hspace{2cm}}$

$R_{eq} \underline{\hspace{2cm}}$

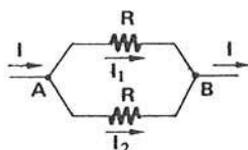
10 Ω ; 20 Ω ; 25 Ω ; $\sim 5,2 \Omega$; $< R_2$; $< R_3$

PROBLEMA 3

Entre dois pontos A e B é mantida uma diferença de potencial constante de 24 volts. Duas lâmpadas, cada uma com resistência 10 Ω , são ligadas em paralelo entre esses pontos. Determine a corrente em cada lâmpada e a corrente total.



- 1 ■ Esquematize a ligação das lâmpadas, representando-as pelo símbolo de resistência. Utilize a figura do enunciado.



- 2 ■ Calcule a resistência equivalente da associação: $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{R + R}{R^2} \therefore R_{eq} = \frac{R}{2} = 5,0 \Omega$$

- 3 ■ Duas resistências de valores iguais ligadas em paralelo (equivalem; não equivalem) a uma de valor igual à metade de cada uma.

equivale

- 4 ■ A diferença de potencial entre A e B é $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$ e $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$. Portanto, $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

24 volts; 5,0 Ω ; 4,8 A

- 5 ■ Como as lâmpadas possuem resistências iguais e estão sob uma mesma diferença de potencial, a corrente que passa em uma lâmpada (é igual à; é diferente da) que passa na outra lâmpada. Portanto, $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

é igual à; $I = \frac{V_{AB}}{R} = \frac{24}{10} = 2,4 \text{ A}$

- 6 ■ Portanto, por cada lâmpada irá passar uma corrente de $\underline{\hspace{2cm}}$.

2,4 A

7 ■ $R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$; $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ e $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$. Observe: R_{eq} é (maior; menor) que R_1 e R_2 .

10 Ω ; 10 Ω ; 5 Ω ; menor

8 ■ Dos resultados obtidos nos problemas podemos afirmar que: a resistência equivalente de resistências em paralelo (é; não é) sempre menor que a menor resistência da associação.

é

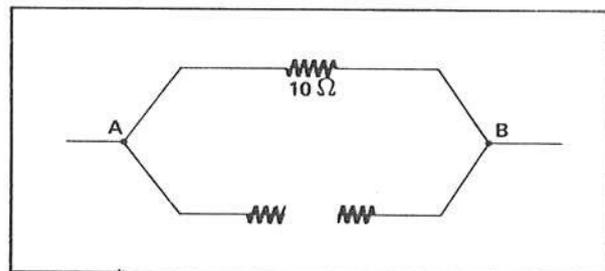
PROBLEMA 4

No problema 3, admita que uma das lâmpadas “queime” Determine a corrente total do circuito.

1 ■ Quando uma lâmpada se “queima” a sua resistência se rompe e (deixa; não deixa) passar corrente através dela.

não deixa

2 ■ O esquema da associação ficará conforme ilustra a figura ao lado. A corrente (passará; não passará) pela outra lâmpada.



passará

3 ■ A voltagem entre A e B é de 24 volts. A corrente só tem um caminho a seguir entre A e B, através da resistência de $\underline{\hspace{2cm}}$. Logo, a corrente $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$10 \Omega; I = \frac{V_{AB}}{R} = \frac{24}{10} = 2,4 \text{ A}$$

4 ■ A corrente do circuito diminui para $I = 2,4 \text{ A}$, mas a corrente na lâmpada boa (permaneceu; não permaneceu) a mesma. O fato de uma lâmpada se “queimar” (influi; não influi) no funcionamento da outra.

permaneceu; não influi

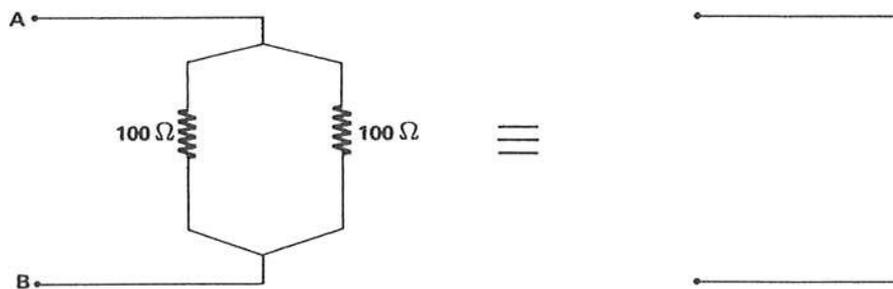
5 ■ A ligação das lâmpadas em uma residência é em (série; paralelo). Se as lâmpadas forem ligadas em série e uma delas se “queimar”, o que acontece?

paralelo; as outras lâmpadas não acenderão, pois a corrente será interrompida, isto é, não chegará até elas.

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ A corrente que passa através de duas resistências em paralelo é igual àquela que entra na associação. Certo ou errado?
- 2 ■ A soma das correntes que fluem nas resistências em paralelo corresponde à corrente que entra na associação. Certo ou errado?
- 3 ■ Comente acerca da queda de tensão em cada um dos resistores colocados em paralelo.
- 4 ■ Deduza a expressão para resistência equivalente de duas resistências em paralelo.
- 5 ■ A resistência equivalente de duas resistências em paralelo é a soma delas. Certo ou errado?
- 6 ■ Duas resistências em paralelo têm valores iguais a 10Ω . Quanto vale a resistência equivalente?
- 7 ■ Escreva as equações para a corrente e para a resistência equivalente quando são ligadas n resistências em paralelo.
- 8 ■ Compare as equações que você obteve no item 7 com aquelas obtidas para resistores ligados em série na parte B da seção 6.
- 9 ■ Mostre que $R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ para R_1 e R_2 ligadas em paralelo.
- 10 ■ Desenhe no esquema equivalente a resistência equivalente e coloque o seu valor.



- 11 ■ Qual é a expressão para a resistência equivalente de três resistores ligados em paralelo?
- 12 ■ Duas resistências iguais a R cada uma, ligadas em paralelo, equivalem a uma resistência com valor ($2R$; $R/2$; R^2).
- 13 ■ Como são ligadas as lâmpadas em uma residência? Por que elas não são ligadas em série?
- 14 ■ A resistência equivalente de resistências em paralelo é sempre (maior; menor) que _____
_____.

Após isso, você deve estar apto para:

- a. caracterizar em termos de corrente uma associação de resistências em paralelo.
- b. caracterizar em termos de voltagem uma associação de resistências em paralelo.
- c. determinar resistência equivalente de duas ou mais resistências em paralelo.
- d. aplicar a Lei de Ohm para resistências em paralelo.
- e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Três resistores de 15Ω cada um são ligados em paralelo. Qual é a resistência equivalente?
- 2 ■ Resistores de $60, 40$ e 120Ω são ligados em paralelo. A associação é submetida a uma voltagem de 12 volts.
 - a) Qual é a resistência equivalente?
 - b) Qual é a corrente total?
 - c) Qual é a corrente em cada resistor?
- 3 ■ Dois resistores de $4,0 \Omega$ e $6,0 \Omega$ são ligados em paralelo a uma bateria de $6,0$ volts.
 - a) Qual é a corrente total?
 - b) Qual é a corrente em cada resistor?
- 4 ■ Resistores de $600 \Omega, 900 \Omega$ e $1\ 800 \Omega$ são ligados em paralelo. Entre os extremos da associação a voltagem é de $6,0$ volts.
 - a) Calcule a corrente total.
 - b) Calcule a corrente nos três resistores.

- 5 ■ No esquema ao lado calcule os valores das resistências

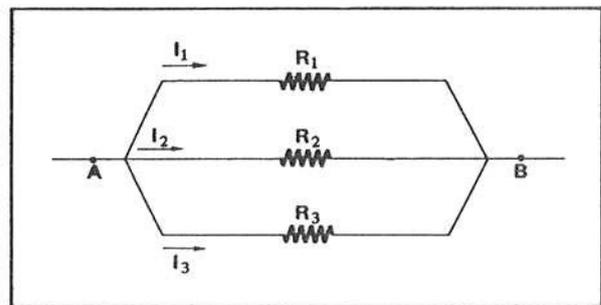
R_1, R_2 e R_3 .

São dados: $I_1 = 0,1$ A

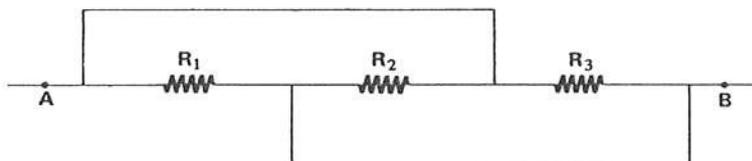
$I_2 = 0,2$ A

$I_3 = 0,3$ A

$V_{AB} = 12$ volts



- 6 ■ Dois resistores de 120Ω e 40Ω são ligados em paralelo. Uma bateria fornece aos extremos da associação uma voltagem de 12 volts.
 - a) Calcule a resistência equivalente.
 - b) A corrente que entra na associação.
 - c) As correntes em cada resistor.
- 7 ■ Resistores de 200Ω e 50Ω são ligados em paralelo. A corrente no resistor de 200Ω é $0,50$ A.
 - Determine: a) a voltagem entre os extremos da associação.
 - b) a corrente no resistor de 50Ω .
 - c) a corrente que entra na associação.
 - d) a resistência equivalente e compare-a com as da associação.
- 8 ■ O esquema anexo representa 3 resistores em associação. $R_1 = R_2 = R_3 = 120 \Omega$.
A voltagem entre A e B é de 24 volts.



- a) Os resistores estão em série ou em paralelo?
- b) Desenhe o esquema representando a resistência equivalente.
- c) Calcule a resistência equivalente.
- d) Calcule a corrente em cada resistor e a corrente total.

RESPOSTAS

1 ■ $R = 5 \Omega$

2 ■ a) 20Ω

b) $0,6 \text{ A}$

c) $I_{60} = \frac{12}{60} = 0,2 \text{ A}$; $I_{40} = 0,3 \text{ A}$; $I_{120} = 0,1 \text{ A}$

3 ■ a) $I = 2,5 \text{ A}$

b) $I_4 = \frac{6,0}{4,0} = 1,5 \text{ A}$; $I_6 = 1,0 \text{ A}$

4 ■ a) $I = \frac{6,0}{300} = 0,02 \text{ A}$

b) $I_{600} = \frac{6,0}{600} = 0,01 \text{ A}$; $I_{900} = \frac{2}{3} \times 10^{-2} \text{ A}$; $I_{1800} = \frac{1}{3} \times 10^{-2} \text{ A}$

5 ■ $R_1 = \frac{12}{0,1} = 120 \Omega$; $R_2 = 60 \Omega$; $R_3 = 40 \Omega$

6 ■ a) $R = 30 \Omega$

b) $I = 0,4 \text{ A}$

c) $I_{120} = 0,1 \text{ A}$; $I_{40} = 0,3 \text{ A}$

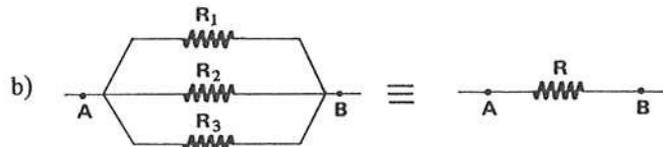
7 ■ a) $V = 200 \times 0,50 = 100 \text{ volts}$

b) $I_{50} = 2,0 \text{ A}$

c) $I = 2,5 \text{ A}$

d) $R = 40 \Omega$; a resistência equivalente é menor que a resistência de menor valor da associação (50Ω).

8 ■ a) Os resistores estão em paralelo.

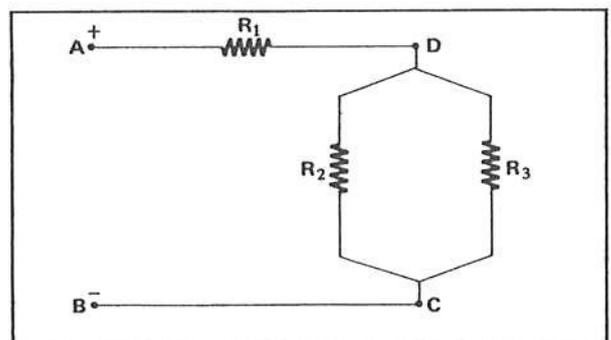


c) $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{3}{120} \Rightarrow R = 40 \Omega$

d) $I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = 0,20 \text{ A}$; $I = 0,60 \text{ A}$

D – ASSOCIAÇÃO (MISTA) DE RESISTORES EM SÉRIE E EM PARALELO

- 1 ■ O esquema ao lado simboliza uma associação de resistores. Os resistores que estão ligados em paralelo são: _____ .



R_2 e R_3

2 ■ A e B (representam; não representam) os terminais da associação. A corrente total I entra em A e sai em _____.

representam; B

3 ■ A corrente que passa pelo resistor R_1 é _____, que é a corrente total. Portanto, pela Lei de Ohm, a voltagem ou a queda de tensão em R_1 é $V_{AD} =$ _____.

I_1 ; $R_1 \cdot I_1$

4 ■ Ao atingir o ponto D, a corrente total I_1 (se subdivide; não se subdivide). O ponto D é também chamado de nó. Quando a corrente atinge um nó, ela se _____.

se subdivide; subdivide

5 ■ O ponto C (é; não é) um nó.

é

6 ■ Quando a corrente total I_1 atinge o nó D, ela se subdivide em I_2 que passa por _____ e I_3 que passa por _____. Já sabemos que $I_1 =$ _____.

R_2 ; R_3 ; $I_2 + I_3$

7 ■ As correntes I_2 e I_3 atingem o nó _____ e ao saírem deste nó elas (compõem; não compõem) novamente a corrente total, que atinge B.

C; compõem

8 ■ A corrente que passa por R_2 é _____. Pela Lei de Ohm a queda de tensão ou _____ em R_2 é $V_{DC} =$ _____. Como R_2 e R_3 estão ligados em paralelo aos nós D e C, $R_3 I_3$ (é; não é) igual a V_{DC} .

I_2 ; voltagem (ou diferença de potencial); $R_2 I_2$; é

9 ■ Se V_{AB} é a diferença de potencial fornecida aos terminais da associação, podemos escrever $V_{AB} =$ _____ + _____ (em termos das quedas de tensão em R_1 e em R_2 ou R_3).

V_{AD} ; V_{DC} (ou $R_1 \cdot I_1$; $R_2 \cdot I_2$)

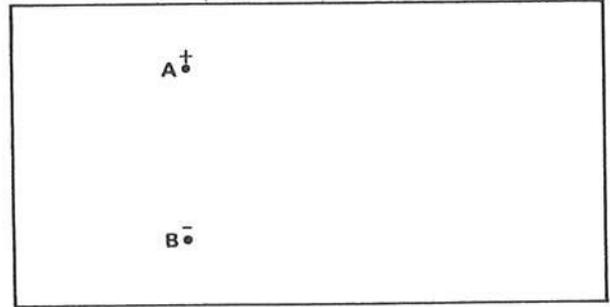
10 ■ Vamos calcular qual é a resistência equivalente da associação, isto é, qual é a resistência única que ligada entre os terminais A e B (deixa; não deixa) passar a mesma corrente total I_1 .

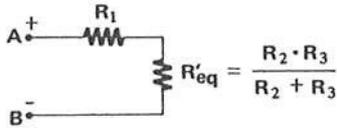
deixa

11 ■ Os resistores R_2 e R_3 estão em _____. Eles (aditem; não aditem) uma resistência equivalente. Para R_2 e R_3 a resistência equivalente é $R'_{eq} =$ _____.

paralelo; admitem; $\frac{R_3 \cdot R_2}{R_2 + R_3}$

- 12 ■ Portanto, a associação pode ser esquematizada substituindo-se R_2 e R_3 pela resistência equivalente. Esquematize ao lado.





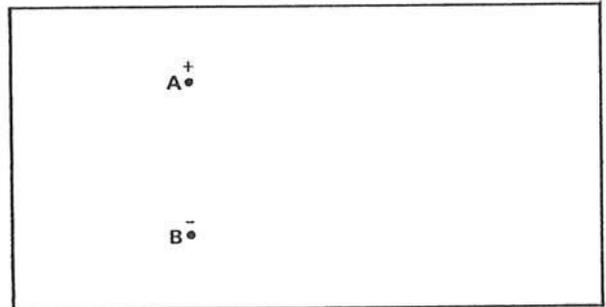
- 13 ■ Agora que R_2 e R_3 foram substituídos pela resistência equivalente, a corrente total I_1 que penetra em A tem (um só; mais de um) caminho para percorrer até sair por B. Portanto, R_1 e R'_{eq} (estão; não estão) em série.

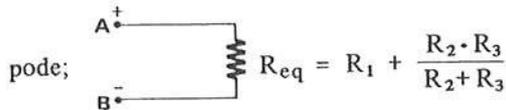
um só; estão

- 14 ■ Se R_1 e $R'_{eq} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$ estão em _____, então elas (admitem; não admitem) uma só resistência equivalente. Portanto, sua resistência equivalente é $R_{eq} =$ _____.

série; admitem; $R_1 + R'_{eq} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$

- 15 ■ Logo, a associação inicial (pode; não pode) ser esquematizada em termos de uma só resistência equivalente total. Esquematize ao lado.





- 16 ■ Agora que determinamos a resistência equivalente total da associação (podemos; não podemos) determinar a corrente total I_1 .

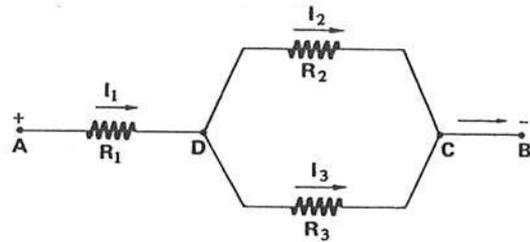
$$I_1 = \underline{\hspace{10em}}$$

podemos; $I_1 = \frac{V_{AB}}{R_{eq}} = \frac{V_{AB}}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}}$

RESOLVA:

1 ■ Na associação esquematizada ao lado, determine:

- a resistência equivalente entre C e D.
- a resistência equivalente entre A e B.
- a corrente total.
- a voltagem em R_1 .
- a voltagem entre C e D.
- a corrente em cada resistência.

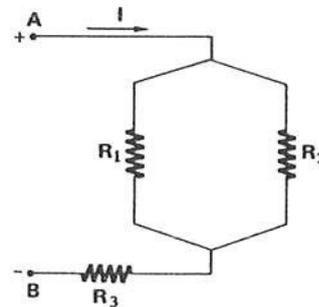


$$\begin{aligned} V_{AB} &= 12 \text{ volts} \\ R_1 &= 4 \Omega \\ R_2 &= 6 \Omega \\ R_3 &= 3 \Omega \end{aligned}$$

2 ■ Na associação ao lado a corrente que entra em A é $I = 0,50 \text{ A}$.

Determine:

- a resistência equivalente total.
- a voltagem aplicada entre A e B.
- a queda de tensão em R_3 .
- a queda de tensão em R_1 e em R_2 .
- a corrente em R_1 e em R_2 .



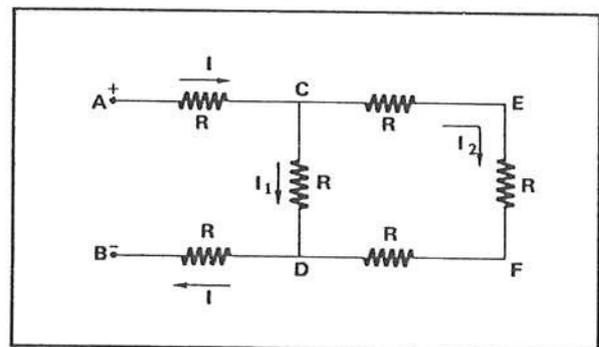
$$\begin{aligned} R_1 &= 12 \Omega \\ R_2 &= 6 \Omega \\ R_3 &= 4 \Omega \end{aligned}$$

RESPOSTAS:

- 1 ■ a) 2Ω ;
 b) 6Ω ;
 c) 2 A ;
 d) 8 volts ;
 e) $V_{DC} = V_{AB} - V_{AD} = 4 \text{ volts}$;
 f) $I_1 = 2 \text{ A}$; $I_2 = \frac{2}{3} \text{ A}$; $I_3 = \frac{4}{3} \text{ A}$.

- 2 ■ a) 8Ω ;
 b) $V_{AB} = R_{eq} \cdot I = 4 \text{ volts}$;
 c) 2 volts ;
 d) 2 volts ;
 e) $I_1 = \frac{1}{6} \text{ A}$; $I_2 = \frac{1}{3} \text{ A}$.

17 ■ Vamos analisar outra associação de resistências. No esquema ao lado todas as resistências são iguais. A corrente I penetra em A e sai em _____. Os pontos que são denominados nós são _____.



B; C e D

18 ■ Os pontos E e F (são; não são) nós, porque neles a corrente (se subdivide; não se subdivide).

não são; não se subdivide

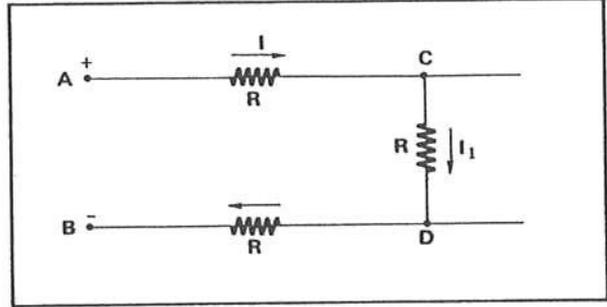
19 ■ A corrente I ao atingir o nó C se subdivide em I_1 e I_2 . I_1 dirige-se para o ramo CD e I_2 para o ramo _____ .

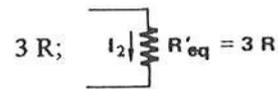
CEFD

20 ■ A corrente I_2 possui (um só; mais de um) caminho para percorrer até atingir D. Logo, todas as resistências do ramo CEFD (estão; não estão) em série.

um só; estão

21 ■ Logo, as resistências do ramo CEFD admitem uma resistência equivalente dada por $R'_{eq} =$ _____. Esquematize-a ao lado, completando o esquema.





22 ■ A voltagem entre C e D pode ser dada em termos de I_1 ou I_2 . $V_{CD} =$ _____ (em termos de I_1) e $V_{CD} =$ _____ (em termos de I_2).

$R \cdot I_1$; $R'_{eq} \cdot I_2$

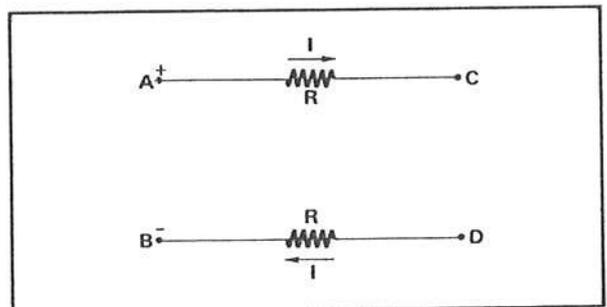
23 ■ Pela substituição das resistências do ramo CEFD pela equivalente, (simplificamos; não simplificamos) a associação. Entre C e D estão ligadas agora (em paralelo; em série) as resistências R e R'_{eq} . Estas (admitem; não admitem) uma equivalente R''_{eq} . Como $R'_{eq} =$ _____, $R''_{eq} =$ _____.

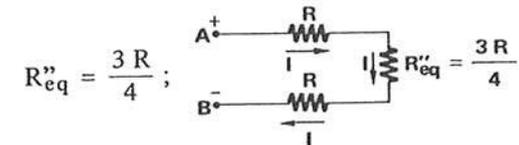
simplificamos; em paralelo; admitem; $3R$; $\frac{3R}{4}$

24 ■ $R''_{eq} = \frac{3R}{4}$ (é; não é) equivalente a todas as resistências ligadas entre os nós C e D.

é

25 ■ A associação inicial pode então ser simplificada demais ainda. Entre C e D existe agora só uma resistência. Esta é a _____. Esquematize a associação.

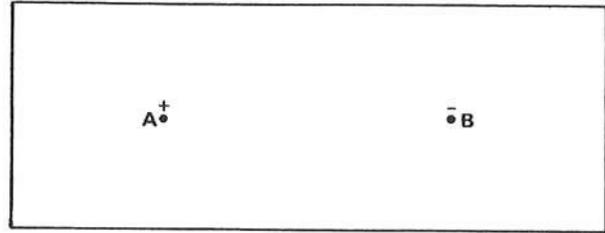


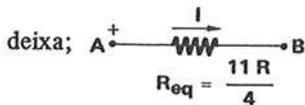


26 ■ Finalmente, se analisarmos o percurso da corrente, veremos que a corrente I tem agora (um só; mais de um) caminho a percorrer até atingir B. Portanto, todas as resistências (estão; não estão) em série. A resistência equivalente final é $R_{eq} =$ _____.

um só; estão; $R + R_{eq}'' + R = R + \frac{3R}{4} + R = \frac{11R}{4}$

27 ■ Portanto, a associação inicial poderá ficar reduzida a uma só resistência de $\frac{11R}{4}$ ligada entre A e B e que (deixa; não deixa) passar a mesma corrente I . Faça o esquema ao lado.





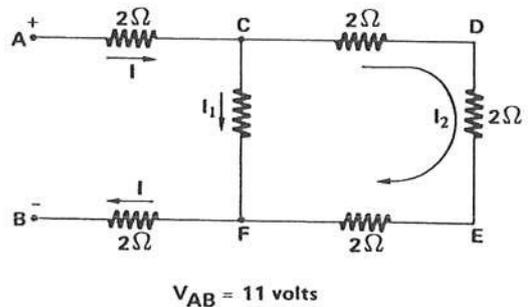
28 ■ Se V_{AB} é a voltagem entre A e B, a corrente I é dada por $I =$ _____.

$$\frac{V_{AB}}{R_{eq}} = \frac{V_{AB}}{\frac{11R}{4}}$$

RESOLVA:

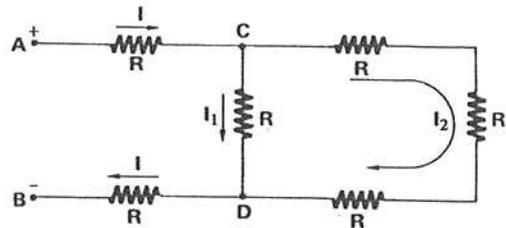
1 ■ Na associação esquematizada ao lado determine:

- a resistência única que ligada entre A e B substitua todas as resistências e que deixe "entrar" a mesma corrente I por A.
- a corrente I .
- a voltagem em AC e em FB.
- a voltagem entre C e F.
- as correntes I_1 e I_2 .
- a voltagem entre C e D.



2 ■ Na associação ao lado, os terminais A e B estão ligados a uma bateria de 55 volts. A corrente que "penetra" em A é de 0,20 A. Determine:

- o valor de R .
- o valor de I_1 .
- o valor de I_2 .



RESPOSTAS:

1 ■ a) $R_{eq} = \frac{11 \Omega}{2}$;

b) $I = 2$ A;

c) $V_{AC} = 4$ volts; $V_{FB} = 4$ volts;

d) $V_{CF} = 3$ volts;

e) $I_1 = 1,5$ A; $I_2 = 0,5$ A;

f) $V_{CD} = 1,0$ volt.

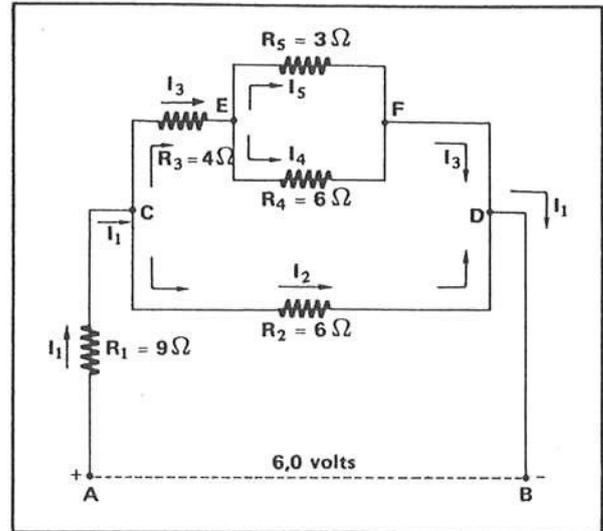
2 ■ a) $R = 100 \Omega$;

b) $I_1 = 0,15$ A;

c) $I_2 = 0,05$ A.

29 ■ Veja a associação esquematizada ao lado. Iremos determinar todos os valores da corrente em cada resistência.

No nó C chega a corrente _____ e saem _____ e _____.
 No nó D chegam as correntes _____ e _____ e sai a corrente _____.

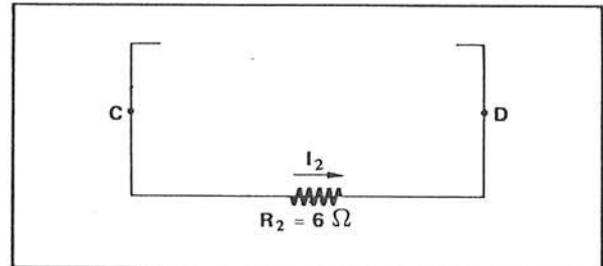


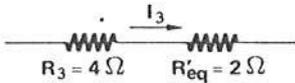
$I_1; I_2; I_3; I_3; I_2; I_1$

30 ■ Devemos primeiramente determinar a resistência equivalente total da associação. Entre E e F, R_5 e R_4 (estão; não estão) em paralelo. A sua equivalente é: $R'_{eq} =$ _____.

estão; 2Ω

31 ■ Portanto, complete o esquema ao lado com o ramo CEFD simplificado.





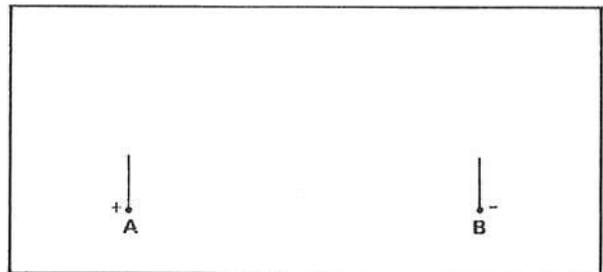
32 ■ As resistências R_3 e R'_{eq} (estão; não estão) em série. A sua equivalente é $R''_{eq} =$ _____.

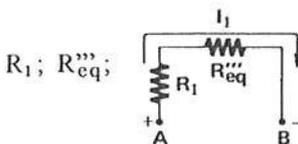
6Ω

33 ■ R''_{eq} e R_2 estão ligadas em _____ entre C e D. A sua equivalente é $R'''_{eq} =$ _____.

paralelo; 3Ω

34 ■ A associação pode portanto ser esquematizada em termos de _____ e _____. Esquematize-a ao lado.

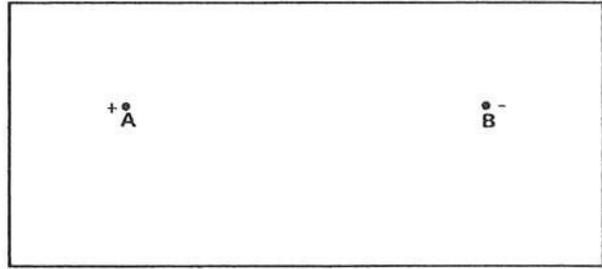


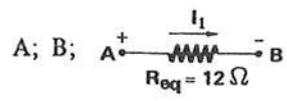


35 ■ R''_{eq} e R_1 estão em _____ entre A e B. Portanto, a sua equivalente é $R_{eq} =$ _____.

série; 12Ω

36 ■ Portanto, a associação fica simplificada para uma só resistência equivalente entre _____ e _____. Esquematize-a ao lado.





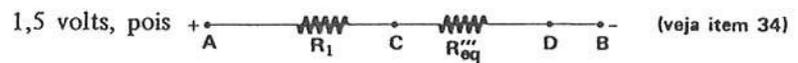
37 ■ A corrente $I_1 =$ _____ (em termos de V_{AB} e R_{eq}) e vale $I_1 =$ _____. (indique no esquema do item 29)

$\frac{V_{AB}}{R_{eq}}$; 0,5 A

38 ■ A voltagem em R_1 é dada pela Lei de Ohm: $V_{AC} =$ _____.

$R_1 \cdot I_1 = 4,5$ volts

39 ■ Já sabemos que $V_{AB} = V_{AC} + V_{CD}$; portanto, como $V_{AB} = 6,0$ volts e $V_{AC} = 4,5$ volts, $V_{CD} =$ _____.



40 ■ A resistência R_2 está ligada entre _____ e _____. Portanto, está sujeita a uma voltagem $V_{CD} =$ _____. Pela Lei de Ohm, $I_2 =$ _____ (indique no esquema do item 29).

C; D; 1,5 volts; 0,25 A

41 ■ A corrente $I_1 = 0,5$ A atinge o nó C e se subdivide em _____ e _____. Logo, $I_1 =$ _____ + _____. Portanto, como $I_2 = 0,25$ A, $I_3 =$ _____. (indique no esquema do item 29)

I_2 ; I_3 ; I_2 ; I_3 ; 0,25 A

42 ■ O ramo CEFD está sob uma voltagem igual a _____.

1,5 volts (igual a V_{CD})

43 ■ No ramo CEFD, $V_{CD} =$ _____ + _____.

V_{CE} ; V_{EF}

44 ■ $V_{CE} =$ _____ (em termos de R_3 e I_3). Logo, $V_{CE} =$ _____ volts.

$R_3 \cdot I_3$; 1,0

45 ■ Portanto, $V_{EF} =$ _____ volts.

$V_{EF} = V_{CD} - V_{CE} = 1,5 - 1,0 = 0,5$

46 ■ R_5 está ligado entre _____ e _____ e está sob uma voltagem $V_{EF} =$ _____ volts. Portanto, $I_5 =$ _____ . (indique no esquema do item 29)

E; F; 0,5; $\frac{0,5}{3}$ A

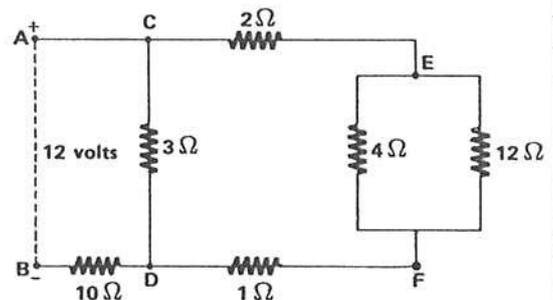
47 ■ No nó E, $I_3 =$ _____ + _____ . Como $I_3 = 0,25$ A e $I_5 = \frac{0,5}{3}$ A, então $I_4 =$ _____ . (indique no esquema do item 29)

I_5 ; I_4 ; $\frac{0,25}{3}$ A

RESOLVA:

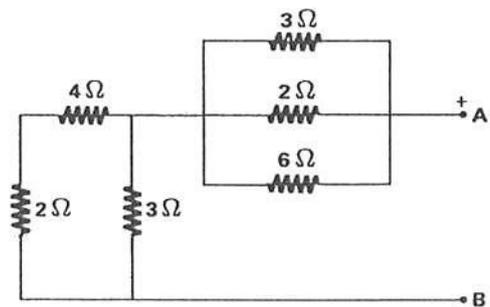
1 ■ Na associação esquematizada, determine:

- a) a corrente que entra no terminal A.
- b) a corrente no resistor de 12 Ω .



2 ■ Os terminais A e B da associação ao lado estão sob uma diferença de potencial de 12 volts.

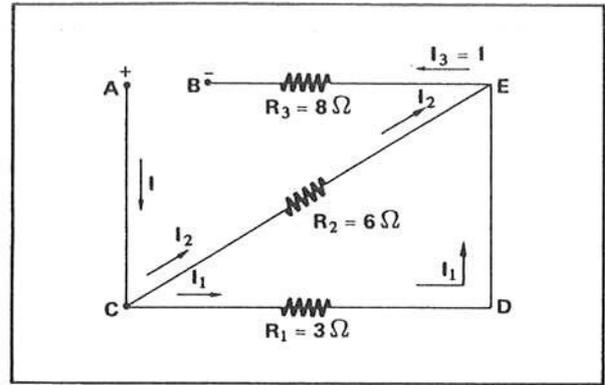
- Calcule:
- a) a corrente que entra em A.
 - b) a corrente na resistência de 4 Ω .



RESPOSTAS:

- 1 ■ a) $I = 1,0$ A;
 b) $I_{12} = \frac{1}{12}$ A.
- 2 ■ a) $I = 4$ A;
 b) $I_4 = \frac{8}{6}$ A.

- 48 ■ Veja a associação ao lado. O resistor $R_1 = 3 \Omega$ está ligado entre os pontos _____ e _____. Entre E e D (existe; não existe) resistência.



C; D; não existe

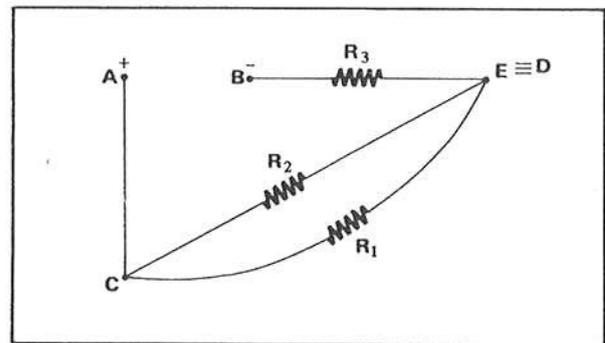
- 49 ■ Aplicando a Lei de Ohm entre D e E, teremos $V_{DE} = R \cdot I_1$. Como (existe; não existe) resistência entre D e E, então $R = \underline{\hspace{2cm}}$ e, portanto, $V_{DE} = \underline{\hspace{2cm}}$.

não existe; 0; 0

- 50 ■ $V_{DE} = V_D - V_E$. Como $V_{DE} = 0$, então $V_D = V_E$, isto é, o potencial no ponto D (é; não é) igual ao potencial no ponto E.

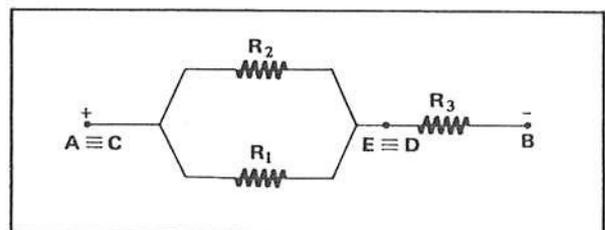
é

- 51 ■ Logo, a associação pode ser esquematizada como está ao lado. Os pontos D e E representam o mesmo ponto, eletricamente falando. Os pontos A e C (representam; não representam) o mesmo ponto.



representam

- 52 ■ Logo, a associação inicial pode ser esquematizada como está ao lado. R_1 e R_2 estão ligados em _____ entre _____ e _____.



paralelo; A; E (ou C; D)

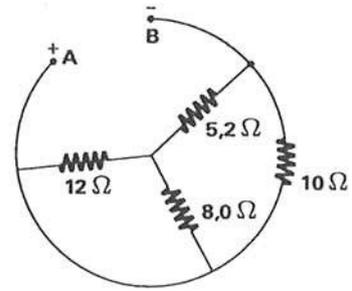
RESOLVA:

- 1 ■ Na associação do item 48, se $V_{AB} = 12$ volts, determine:
 a) a corrente total. b) a corrente I_1 . c) a corrente I_2 .

- 2 ■ Entre os pontos A e B da associação ao lado existe uma diferença de potencial de 10 volts.

Determine:

- a corrente total e o seu sentido.
- a voltagem na resistência de $5,2 \Omega$.
- a voltagem na resistência de $8,0 \Omega$.
- a corrente pelo resistor de 12Ω .



RESPOSTAS:

- | | |
|------------------------------|--|
| 1 ■ a) $I = 1,2 \text{ A}$; | 2 ■ a) $I = 2 \text{ A}$ (anti-horário); |
| b) $I_1 = 0,8 \text{ A}$; | b) $5,2 \text{ volts}$; |
| c) $I_2 = 0,4 \text{ A}$. | c) $4,8 \text{ volts}$; |
| | d) $I_{12} = 0,4 \text{ A}$. |

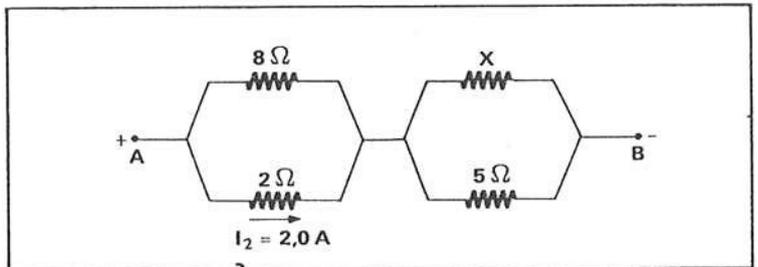
Após isso, você deve estar apto para:

- identificar, numa associação, os pontos que são denominados nós.
- explicar o que ocorre com uma corrente que chega em um nó.
- explicar o que ocorre com uma corrente que sai de um nó.
- identificar e calcular a resistência equivalente de duas ou mais resistências que se encontram em paralelo numa associação.
- identificar, numa associação, os resistores que estão em série e calcular a sua resistência equivalente.
- calcular a resistência equivalente total de uma associação mista de resistores.
- identificar os ramos em uma associação de resistores.
- aplicar a Lei de Ohm e calcular a voltagem e a corrente em diversos resistores ou ramos de uma associação.
- resolver corretamente os problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

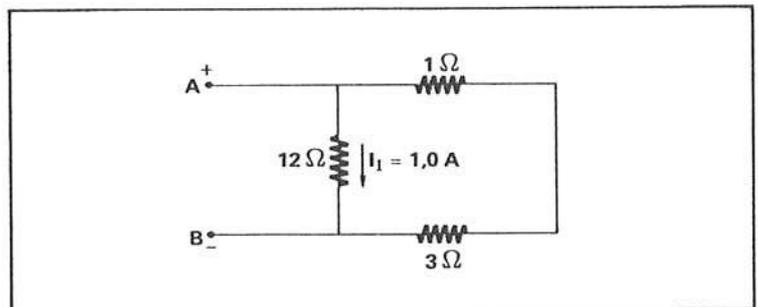
- 1 ■ Entre os terminais A e B da associação ao lado existe uma diferença de potencial $V_{AB} = 12 \text{ volts}$. Determine:

- a corrente total.
- a voltagem em $R = 5 \Omega$.
- o valor de X.
- a resistência equivalente final.

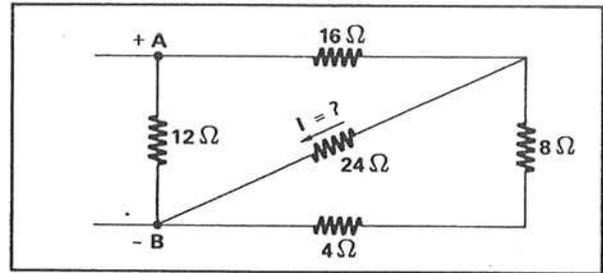


- 2 ■ No esquema ao lado determine:

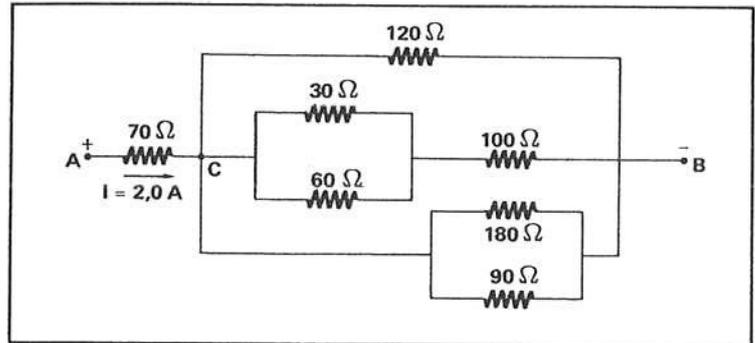
- a diferença de potencial V_{AB} .
- a corrente total.
- a voltagem em $R = 3 \Omega$.



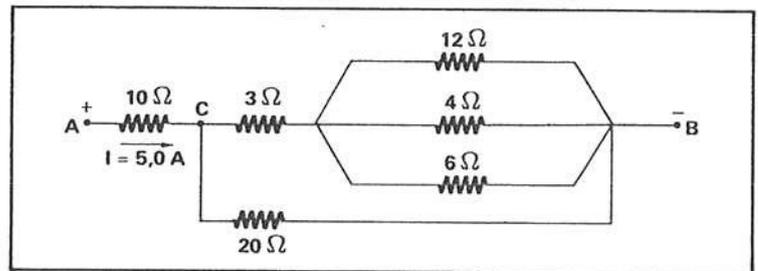
- 3 ■ Na associação ao lado, nos terminais A e B existe uma diferença de potencial de 24 volts. Determine a corrente que passa por $R = 24 \Omega$.



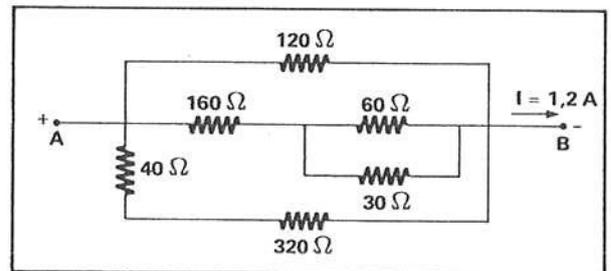
- 4 ■ Na associação ao lado,
 a) qual é a voltagem entre C e B?
 b) qual é a corrente na resistência de 60Ω ?



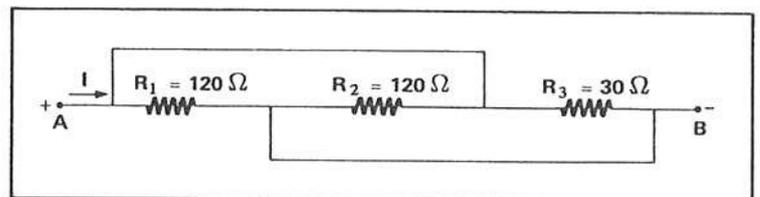
- 5 ■ Na associação ao lado, determinar:
 a) a diferença de potencial entre os terminais A e B.
 b) a corrente que passa no resistor de 6Ω .



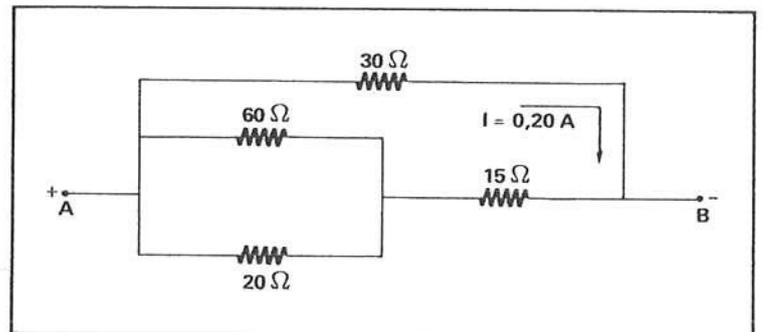
- 6 ■ Na associação esquematizada ao lado, determine:
 a) a diferença de potencial entre os terminais A e B.
 b) a voltagem na resistência $R = 60 \Omega$.



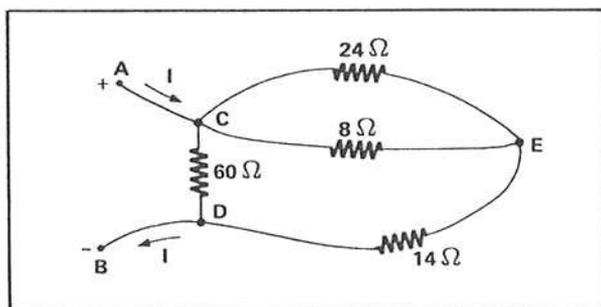
- 7 ■ Calcule a resistência equivalente e a corrente total na associação esquematizada. $V_{AB} = 12$ volts.



- 8 ■ No esquema ao lado, calcule:
 a) a diferença de potencial V_{AB} .
 b) a corrente em $R = 60 \Omega$.
 c) a corrente em $R = 20 \Omega$.
 d) a corrente em $R = 15 \Omega$.
 e) a resistência equivalente total.



- 9 ■ Três resistores, $R_1 = 15 \Omega$; $R_2 = 9 \Omega$ e $R_3 = 8 \Omega$, são associados em série. A associação é ligada a uma fonte de FEM que fornece nos terminais uma diferença de potencial de 6,4 volts. Faça o esquema e calcule:
- a corrente em cada resistor.
 - a queda de tensão em cada resistor.
 - a resistência equivalente.
- 10 ■ Os três resistores do problema 9 são agora ligados em paralelo e submetidos à mesma diferença de potencial. Faça o esquema e calcule:
- a corrente em cada resistor.
 - a queda de tensão em cada resistor.
 - a resistência equivalente.
- 11 ■ Os três resistores do problema 9 são associados da seguinte forma: R_1 e R_2 são ligados em série entre si e esta associação é ligada em paralelo com R_3 . Os terminais da associação são submetidos a uma diferença de potencial de 6,0 volts. Faça um esquema e calcule:
- a corrente em cada resistor.
 - a queda de tensão em cada resistor.
 - a resistência equivalente.
- 12 ■ Os terminais da associação esquematizada ao lado são submetidos a uma diferença de potencial constante de 150 volts. Calcule:
- a corrente total.
 - a diferença de potencial entre C e D.
 - a corrente em $R = 14 \Omega$.
 - a corrente em $R = 8 \Omega$.



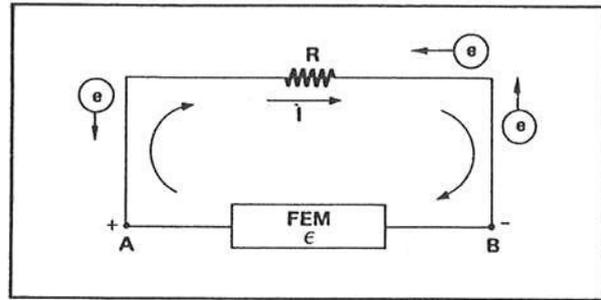
RESPOSTAS

- 1 ■ a) $I = 2,5 \text{ A}$; b) $V = 8,0 \text{ volts}$; c) $X = \frac{80}{9} \Omega$; d) $R_{eq} = \frac{V_{AB}}{I} = 4,8 \Omega$.
- 2 ■ a) $V_{AB} = 12 \text{ volts}$; b) $I = 4 \text{ A}$; c) $V_3 = 9 \text{ volts}$.
- 3 ■ $I = \frac{1}{3} \text{ A}$.
- 4 ■ a) $V_{CD} = 60 \text{ volts}$; b) $I_{60} = \frac{1}{6} \text{ A}$.
- 5 ■ a) $V_{AB} = 70 \text{ volts}$; b) $I_6 = \frac{4}{3} \text{ A}$.
- 6 ■ a) $V_{AB} = 72 \text{ volts}$; b) $V_{60} = 8 \text{ volts}$.
- 7 ■ a) $R_{eq} = 20 \Omega$; b) $I = 0,60 \text{ A}$.
- 8 ■ a) $V_{AB} = 6,0 \text{ volts}$; b) $0,05 \text{ A}$; c) $0,15 \text{ A}$; d) $0,20 \text{ A}$; e) 15Ω .
- 9 ■ a) $I_1 = I_2 = I_3 = 0,20 \text{ A}$; b) $V_1 = 3,0 \text{ volts}$; $V_2 = 1,8 \text{ volts}$; $V_3 = 1,6 \text{ volts}$; c) $R_{eq} = 32 \Omega$.
- 10 ■ a) $I_1 \cong 0,43 \text{ A}$; $I_2 \cong 0,71 \text{ A}$; $I_3 \cong 0,80 \text{ A}$; b) $V_1 = V_2 = V_3 = V = 6,4 \text{ volts}$; c) $R_{eq} \cong 3,3 \Omega$.
- 11 ■ a) $I_1 = I_2 = 0,25 \text{ A}$; $I_3 = 0,75 \text{ A}$; b) $V_1 \cong 3,8 \text{ volts}$; $V_2 \cong 2,2 \text{ volts}$; $V_3 = 6,0 \text{ volts}$; c) 6Ω .
- 12 ■ a) $I = 10 \text{ A}$; b) $V_{CD} = 150 \text{ V}$; c) $I_{14} = 7,5 \text{ A}$; d) $I_8 \cong 5,6 \text{ A}$.

SEÇÃO 7 – ENERGIA E POTÊNCIA ELÉTRICA

A – TRABALHO E POTÊNCIA DE UMA FONTE DE FEM

- 1 ■ Considere a fonte de FEM igual a ϵ da figura ao lado. Ela está ligada aos pontos A e B. A sua função é manter uma _____ de _____ elétrico entre estes dois pontos. Seja A o terminal positivo e B o negativo. Pelo resistor R (irá; não irá) passar uma corrente elétrica I.



diferença; potencial; irá

- 2 ■ A corrente elétrica, pela resistência R, é de (A para B; B para A). No resistor a corrente elétrica é constituída pelo movimento de (elétrons; prótons; íons).

A para B; elétrons

- 3 ■ Os elétrons fluem, na resistência R, de (A para B; B para A), portanto no sentido contrário ao da corrente elétrica convencional I.

B para A

- 4 ■ No terminal negativo B os elétrons possuem (maior; menor) energia potencial elétrica do que no terminal positivo A.

maior

- 5 ■ Uma carga positiva teria maior energia potencial elétrica no terminal _____.

positivo A

- 6 ■ Os elétrons ao se movimentarem, sob a ação da força do campo elétrico, de B para A passando pela resistência R (perdem; ganham) energia potencial elétrica.

perdem

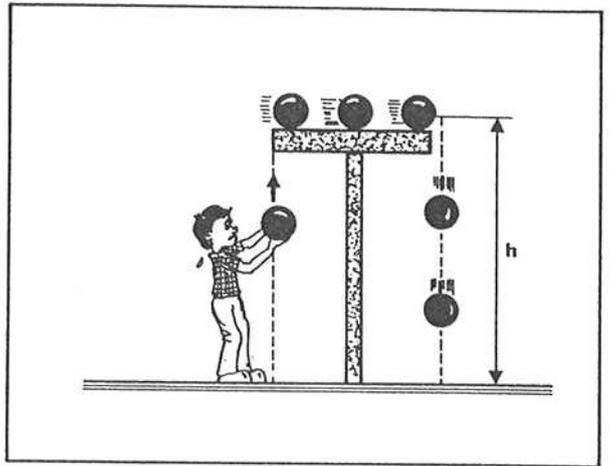
- 7 ■ A fonte de FEM “pega” cada elétron que atinge o terminal positivo A e leva-o novamente ao terminal negativo B. Neste processo, cada elétron (recebe; não recebe) energia e desta forma (aumenta; não aumenta) novamente a sua energia potencial elétrica.

recebe; aumenta

- 8 ■ Se ao serem enviados de A para B os elétrons ganham energia, a fonte de FEM ϵ (realiza; não realiza) trabalho sobre cada elétron. Em outras palavras dizemos que a fonte (fornece; não fornece) energia às cargas transportadas.

realiza; fornece

- 9 ■ Uma analogia gravitacional seria a de uma pessoa erguer, novamente, até a uma altura h , as pedras que caem desta altura até o solo, sob a ação do campo gravitacional. A pessoa, neste caso, (realiza; não realiza) trabalho sobre cada pedra erguida. O trabalho realizado por esta pessoa (corresponde; não corresponde) ao trabalho da fonte de FEM. Desta forma, a pessoa (fornece; não fornece) energia às pedras, aumentando a energia potencial gravitacional de cada uma.



realiza; corresponde; fornece

- 10 ■ Seja q a quantidade total de cargas que atingem o terminal positivo A num intervalo de tempo Δt . O trabalho da fonte de FEM para enviá-las de volta ao terminal negativo B é $W = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de ϵ e q).

$\epsilon \cdot q$

- 11 ■ $W = \epsilon \cdot q$. Esta expressão permite calcular o trabalho de uma fonte de FEM ϵ para deslocar uma carga q (contra a; a favor da) força do campo elétrico, aumentando desta forma a energia potencial da carga q .

contra a

- 12 ■ No caso do item 1, a corrente $I = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de q , e Δt).

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

- 13 ■ Portanto, $q = \underline{\hspace{2cm}}$.

$I \cdot \Delta t$

- 14 ■ Logo, o trabalho da fonte de FEM será $W = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\epsilon \cdot I \cdot \Delta t$

- 15 ■ $W = \epsilon \cdot I \cdot \Delta t$. Esta expressão permite calcular o trabalho realizado ou a energia fornecida pela fonte de FEM durante o intervalo de tempo $\underline{\hspace{2cm}}$ quando a corrente que flui é $\underline{\hspace{2cm}}$.

Δt ; I

- 16 ■ A energia fornecida por uma fonte de FEM ϵ durante um tempo Δt , quando a corrente é I , é dada por $W = \underline{\hspace{2cm}}$. No Sistema Internacional de Unidades, o trabalho W é dado em $\underline{\hspace{2cm}}$, a FEM é dada em $\underline{\hspace{2cm}}$, a corrente em $\underline{\hspace{2cm}}$ e o intervalo de tempo Δt é dado em $\underline{\hspace{2cm}}$.

$\epsilon \cdot I \cdot \Delta t$; joules; volts; ampères; segundos

17 ■ Uma fonte de FEM $\epsilon = 1,5$ volts mantém uma corrente $I = 0,20$ A durante 10 s. O trabalho desta fonte é $W =$ _____ . A energia que ela fornece é de _____ .

$$1,5 \text{ volts} \times 0,20 \text{ A} \times 10 \text{ s} = 3,0 \text{ volts} \times \text{A} \times \text{s} = 3,0 \frac{\text{J}}{\cancel{\text{C}}} \cdot \frac{\cancel{\text{C}}}{\cancel{\text{s}}} = 3,0 \text{ J}; 3,0 \text{ J}$$

18 ■ Já vimos, quando estudamos energia mecânica, que a potência é a rapidez com que um determinado trabalho W é realizado. Matematicamente é definida por:

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

No SI de Unidades, o trabalho W é dado em _____ e o intervalo de tempo Δt é medido em _____ . Portanto, a potência P é medida em _____ .

joules; segundos; $\frac{\text{J}}{\text{s}}$

19 ■ 1 J/s mede então a potência com que um trabalho é realizado ou a potência com que a energia é transformada. Watt foi o nome dado a esta unidade derivada. Portanto, se a potência for de 2 watts, então a potência será de _____ J/s.

2

20 ■ Se a potência de uma pilha é de 5 watts, isto significa que ela pode fornecer _____ joules de energia ou trabalho em um intervalo de tempo igual a 1,0 s.

5,0

21 ■ A potência de uma fonte de FEM é obtida dividindo-se o _____ pelo _____ . Portanto, a potência fornecida por uma fonte de força eletromotriz ϵ que mantém uma corrente I é dada por $P =$ _____ .

trabalho W ; intervalo de tempo Δt ; $\epsilon \cdot I$

22 ■ Uma pilha de 1,5 volts mantém uma corrente de 0,20 A durante 2,0 s. A sua potência é de $P =$ _____ e no intervalo de tempo considerado esta pilha forneceu _____ joules de energia.

0,30 watts; 0,60

23 ■ Logo, a potência fornecida por uma pilha ou fonte de FEM que mantém uma corrente I é dada por: $P =$ _____, onde ϵ representa o valor da _____ da pilha.

$\epsilon \cdot I$; força eletromotriz

24 ■ Uma pilha de 1,5 volts mantém durante 10,0 s uma corrente $I = 0,40$ A. Esta pilha está fornecendo uma potência $P =$ _____ e neste intervalo de tempo o trabalho realizado foi de $W =$ _____ .

0,60 watts; 6,0 J

25 ■ A potência máxima de uma bateria é de 3,0 watts. Se a força eletromotriz desta bateria é de 6,0 volts, a corrente máxima que ela pode manter é de $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

0,50 A

26 ■ A bateria do item 25, durante 10,0 s, poderá fornecer uma carga total $q = \underline{\hspace{2cm}}$.

$q = I \cdot \Delta t = 5,0 \text{ C}$

27 ■ Uma bateria que fornece uma carga de 10,0 C em 5,0 s mantém uma corrente de $\underline{\hspace{2cm}}$; e se a FEM $\epsilon = 9,0$ volts, então a potência que esta bateria fornece é de $\underline{\hspace{2cm}}$.

$I = 2,0 \text{ A}; P = 18 \text{ watts}$

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ O que significa o símbolo ϵ ?
- 2 ■ Qual é a função de uma pilha ou fonte de FEM?
- 3 ■ Se a corrente elétrica num resistor é de A para B em que sentido se locomovem os elétrons que produzem a corrente?
- 4 ■ Em que terminal, positivo ou negativo, os elétrons ou cargas negativas possuem maior energia potencial elétrica?
- 5 ■ E uma carga positiva, em que terminal possui maior energia elétrica?
- 6 ■ Explique em termos simples o processo de ação da FEM.
- 7 ■ Quando a FEM envia uma carga negativa do terminal positivo para o negativo, ela realiza trabalho?
- 8 ■ Por que dizemos que, no processo da questão anterior, a fonte fornece energia à carga?
- 9 ■ Descreva uma analogia gravitacional da função da força eletromotriz quando atua sobre cargas.
- 10 ■ Quando uma fonte de FEM ϵ realiza trabalho sobre uma quantidade de cargas igual a q , qual é a expressão que permite calcular o trabalho da fonte?
- 11 ■ No SI qual é a unidade de medida de ϵ e de q ?
- 12 ■ Como é definida a corrente elétrica I em função de carga e de tempo?
- 13 ■ Qual é a expressão que permite calcular a carga q quando a corrente é I num intervalo de tempo Δt ?
- 14 ■ Qual é a expressão do trabalho de uma fonte de FEM ϵ em função da corrente e do intervalo de tempo?
- 15 ■ A expressão $\epsilon \cdot I \cdot \Delta t$ mede potência ou energia fornecida?
- 16 ■ O que é potência e qual é a sua unidade de medida?
- 17 ■ O que é watt?

- 18 ■ Qual é o nome que se dá a J/s ?
- 19 ■ Que expressão permite calcular a potência fornecida por uma pilha?
- 20 ■ A expressão $\epsilon \cdot I$ mede potência ou trabalho fornecido?

Após isso, você deve estar apto para:

- calcular o trabalho ou energia fornecida por uma fonte de FEM.
- calcular a potência fornecida por uma fonte de FEM.
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- Durante um certo intervalo de tempo Δt a quantidade de cargas que uma pilha fornece é de 3,2 C. Se a força eletromotriz da pilha é de 1,5 volts, calcule o trabalho realizado pela fonte.
- Uma pilha fornece um trabalho de 9,0 J para movimentar 3,0 C de carga. Qual é a FEM desta pilha?
- Uma pilha de 9,0 volts mantém uma corrente de 0,10 A durante 5,0 s. Qual é o trabalho realizado pela pilha?
- Por quanto tempo deve funcionar uma pilha de 3,0 volts para realizar um trabalho de 12 joules quando mantém uma corrente de 0,10 A?
- Qual é a potência da pilha mencionada no problema 3?
- Qual é a potência fornecida pela pilha mencionada na questão 4?
- Um gerador de FEM de 50 volts mantém uma corrente de 0,50 A durante 20 s. Calcule:
 - a potência que este gerador fornece;
 - o trabalho ou a energia fornecida por este gerador.
- Uma bateria fornece uma potência máxima de 4,0 watts. Se a sua FEM é de 12 volts, qual é a corrente máxima que podemos retirar desta bateria?
- Num amplificador existe a inscrição: saída de 0,40 watts, 2,0 volts. Qual é a corrente máxima de saída deste amplificador?
- A corrente que flui no circuito elétrico de um carro com bateria de 12 volts é de 0,20 A. Qual é a potência fornecida pela bateria?

RESPOSTAS

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 ■ $W = 4,8 \text{ J}$; | 6 ■ $P = 0,30 \text{ watts}$; |
| 2 ■ $\epsilon = 3,0 \text{ volts}$; | 7 ■ a) $P = 25 \text{ watts}$; b) $W = 500 \text{ J}$; |
| 3 ■ $W = 4,5 \text{ J}$; | 8 ■ $I = \frac{1}{3} \text{ A}$; |
| 4 ■ $\Delta t = 40 \text{ s}$; | 9 ■ $I = 2 \times 10^{-1} \text{ A}$; |
| 5 ■ $P = 0,90 \text{ watts}$; | 10 ■ $P = 2,4 \text{ watts}$. |

B – ENERGIA E POTÊNCIA DISSIPADA NUMA RESISTÊNCIA R

- 1 ■ Na figura ao lado está representada uma esfera de massa m caindo com velocidade constante num líquido viscoso (óleo por exemplo). Ao cair, a esfera (perde; ganha) energia potencial gravitacional.

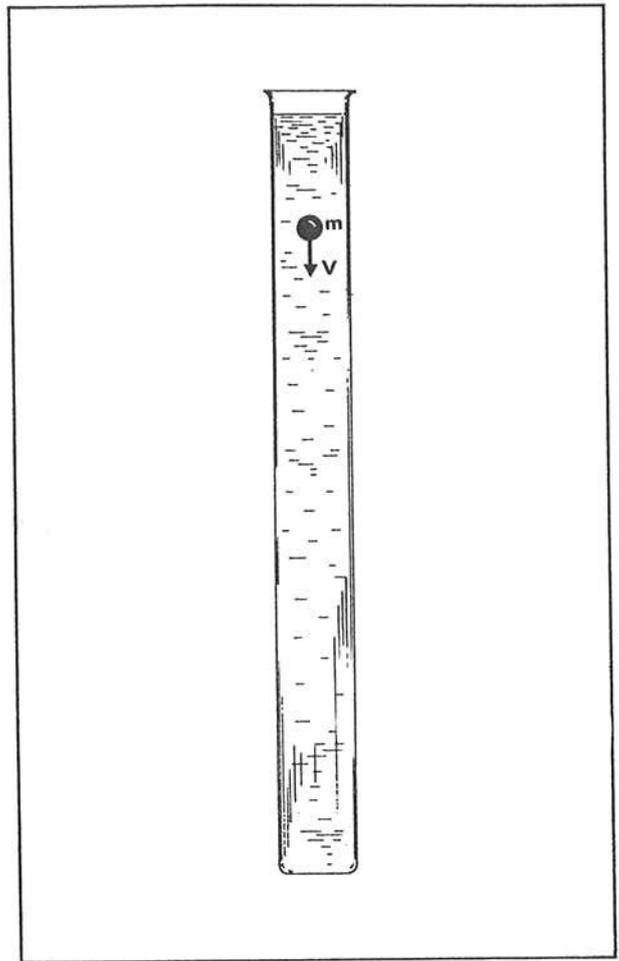
perde

- 2 ■ Como a velocidade da esfera permanece constante, sua energia cinética (aumenta; diminui; permanece constante).

permanece constante

- 3 ■ Neste exemplo, portanto, a diminuição da energia potencial gravitacional da massa m (corresponde; não corresponde) a igual aumento em sua energia cinética. Em outras palavras, a energia mecânica da esfera (é; não é) conservada.

não corresponde; não é



- 4 ■ No caso de uma queda livre, a diminuição na energia potencial (corresponde; não corresponde) a igual aumento na energia cinética, porque na queda livre a velocidade (aumenta; diminui; permanece constante), em virtude do fato de não existir resistência de espécie alguma ao movimento.

corresponde; aumenta

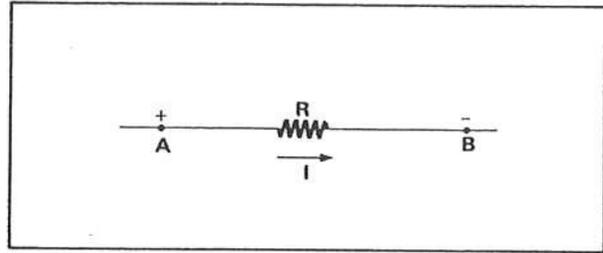
- 5 ■ No caso ilustrado no item 1, a esfera cai com velocidade constante devido à resistência oferecida pelo óleo. A esfera apresenta diminuição em sua energia potencial mas não apresenta aumento em sua energia cinética. A energia potencial “perdida” é convertida em energia interna do sistema durante as colisões da esfera com as partículas componentes do óleo. Dizemos então que a energia potencial gravitacional desta esfera (é; não é) dissipada em forma de calor, aumentando a energia interna do sistema.

é

- 6 ■ Sempre que existe algo que resiste ao movimento de uma partícula, como por exemplo o atrito, haverá conversão de energia mecânica em calor. Dizemos que a energia é dissipada ou “gasta” ou transformada em calor, isto é, converte-se em energia interna do sistema. O termo “dissipação” (corresponde; não corresponde) à transformação ou conversão em calor.

corresponde

- 7 ■ Algo análogo acontece quando uma corrente percorre um resistor de resistência R . No caso ao lado, enquanto a corrente possui sentido convencional de A para B, os elétrons movimentam-se de ____ para ____ . Neste movimento eles (perdem; não perdem) energia potencial elétrica.



B; A; perdem

- 8 ■ Devido à resistência elétrica, da mesma forma que a esfera caindo num meio viscoso, as cargas elétricas movem-se com velocidade constante. Desta forma, as partículas portadoras das cargas elétricas (aumentam; não aumentam) as suas energias cinéticas.

não aumentam

- 9 ■ Dizemos então que as cargas elétricas que constituem uma corrente elétrica, ao passarem por uma resistência elétrica, dissipam energia elétrica, transformando-a em outras formas de energia. Em geral, transformam-na em calor, mas no caso de lâmpadas de filamento, além de ser transformada em calor, a energia elétrica é transformada em energia _____.

luminosa

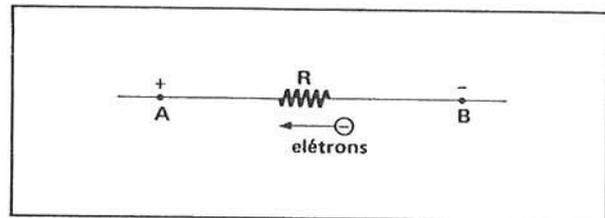
- 10 ■ Portanto, numa resistência R , as cargas apresentam uma variação de energia potencial elétrica ΔE_p que será (negativa; positiva), pois a energia potencial (diminui; aumenta).

negativa; diminui

- 11 ■ Em compensação, toda a energia potencial elétrica “perdida” (é; não é) transformada em outros tipos de energia.

é

- 12 ■ Seja a resistência ao lado, sob uma diferença de potencial $V_A - V_B = V$. Os elétrons movimentam-se, sob a ação do campo elétrico, de B para A, isto é, do potencial (maior; menor) para o potencial _____.



menor; maior

- 13 ■ A variação de energia potencial de uma carga q positiva, que sai de A para B, sendo $V_A > V_B$, é $\Delta E_p = qV_B - qV_A = -q(V_A - V_B)$. Se a carga é negativa, $-q$, fazendo o percurso de B para A, a variação de energia potencial é $\Delta E_p =$ _____.

$-q(V_A - V_B)$

- 14 ■ Quando uma carga elétrica flui por uma resistência, ela (perde; ganha) energia potencial elétrica. Esta energia potencial “perdida” (é; não é) transformada em outras formas de energia. Quando numa resistência a energia elétrica é transformada em energia térmica, o fenômeno é chamado de efeito Joule.

perde; é

- 15 ■ O efeito Joule é o fenômeno pelo qual energia _____ é convertida ou dissipada em energia _____ quando as cargas fluem numa _____.

elétrica; térmica; resistência

- 16 ■ Consideremos então que toda energia seja dissipada em forma de calor, isto é, que somente o efeito _____ seja significativo. Se ΔU representar o aumento de energia térmica e ΔE_p , a diminuição de energia potencial elétrica, então pela Lei da Conservação de Energia ($\Delta E_p + \Delta U = 0$; $\Delta E_p + \Delta U \neq 0$), pois a diminuição de energia elétrica (corresponde; não corresponde) a um igual aumento de energia térmica.

Joule; $\Delta E_p + \Delta U = 0$; corresponde

- 17 ■ $\Delta U + \Delta E_p = 0$; logo, $\Delta U =$ _____.

$-\Delta E_p$

- 18 ■ No item 13 vimos que $\Delta E_p =$ _____. Portanto, $\Delta U =$ _____ (em função de q e V).

$-q \cdot V$; $q \cdot V$

- 19 ■ $\Delta U = q \cdot V$. Esta equação diz então que a variação de energia potencial elétrica da carga q no resistor R que está sob a diferença de potencial V (é; não é) igual ao aumento de energia térmica do resistor, isto é ao calor gerado no resistor.

é

- 20 ■ Portanto, se medirmos o trabalho $W = q \cdot V$, (estaremos; não estaremos) medindo a energia elétrica dissipada na resistência R .

estaremos

- 21 ■ Já vimos que a corrente pode ser dada em função da carga q e do intervalo de tempo Δt , isto é, $I =$ _____.

$q/\Delta t$

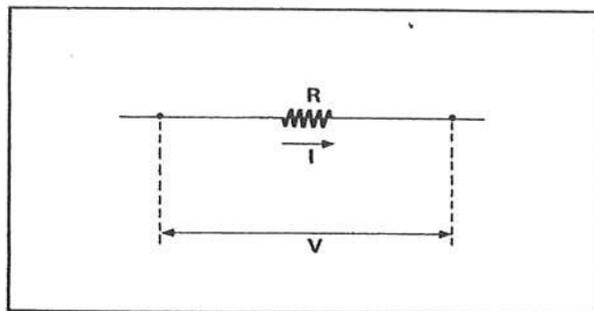
- 22 ■ A energia dissipada na resistência R que está sob uma diferença de potencial V é dada por $W = \frac{q \cdot V}{\Delta t}$, onde q é a carga que flui pela resistência. A potência dissipada nesta resistência é dada por $P = \frac{W}{\Delta t}$. Portanto, $P =$ _____ (em função de q , V e Δt).

$q \cdot V$; $\frac{q \cdot V}{\Delta t}$

- 23 ■ Mas $\frac{q}{\Delta t} = I$. Portanto, a potência dissipada na resistência R é dada por $P =$ _____ (em função da corrente I e da voltagem V).

$V \cdot I$

- 24 ■ Considere a resistência ao lado percorrida por uma corrente I . Esta resistência dissipa energia elétrica, pelo efeito Joule, com potência $P = \underline{\hspace{2cm}}$.



$V \cdot I$

- 25 ■ Pela Lei de Ohm, a corrente I que passa numa resistência R que está sob uma voltagem V é dada por $I = \underline{\hspace{2cm}}$. Portanto, a potência dissipada numa resistência R pode ser dada em função da voltagem V e da resistência R . Para tanto basta substituir em $P = V \cdot I$ o valor da corrente em função de V e R . Então, $P = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de V e R).

$\frac{V}{R}; \frac{V^2}{R}$

- 26 ■ No resistor indicado no item 24 acima, pela aplicação da Lei de Ohm, temos que $V = \underline{\hspace{2cm}}$. Substitua este valor de $V = R \cdot I$ na expressão da potência dissipada $P = V \cdot I$. Então, $P = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de R e I).

$R \cdot I; R \cdot I^2$

- 27 ■ A expressão $P = R \cdot I^2$ (permite; não permite) calcular a potência dissipada pelo efeito Joule numa resistência R percorrida por uma corrente I .

permite

- 28 ■ Uma resistência R está sob uma diferença de potencial V . A potência dissipada pelo efeito Joule nesta resistência pode ser calculada pela expressão: $P = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\frac{V^2}{R}$

- 29 ■ Uma resistência deixa passar uma corrente I quando sob uma diferença de potencial V . Pelo efeito Joule, ela dissipa uma potência de $P = \underline{\hspace{2cm}}$.

$V \cdot I$

- 30 ■ Uma resistência R deixa passar uma corrente I . A expressão $P = \underline{\hspace{2cm}}$ permite calcular a potência dissipada pelo efeito Joule.

$R \cdot I^2$

- 31 ■ Então, a potência dissipada pelo efeito Joule em uma resistência R pela qual passa uma corrente I quando sob uma diferença de potencial V pode ser calculada pelas expressões:

1ª) $P = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de V e I)

2ª) $P = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de V e R)

3ª) $P = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de R e I)

$$V \cdot I; \frac{V^2}{R}; R \cdot I^2$$

- 32 ■ Por definição, a potência $P =$ _____ (em função de W e Δt).

$$\frac{W}{\Delta t}$$

- 33 ■ Portanto, a energia ou trabalho $W =$ _____ (em função de P e Δt).

$$P \cdot \Delta t$$

- 34 ■ Logo, podemos calcular a energia dissipada pelo efeito Joule em uma resistência (multiplicando-se; dividindo-se) a potência dissipada pelo intervalo de tempo em que a corrente flui. Estas expressões são:

1.a) $W =$ _____ (em função de V , I e Δt)

2.a) $W =$ _____ (em função de V , R e Δt)

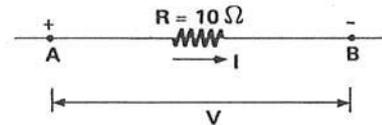
3.a) $W =$ _____ (em função de R , I e Δt)

multiplicando-se; $V \cdot I \cdot \Delta t$; $\frac{V^2}{R} \cdot \Delta t$; $R \cdot I^2 \cdot \Delta t$

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

No resistor da figura ao lado passa uma corrente $I = 0,50$ A. Calcule a potência dissipada e a energia dissipada em 10,0 segundos.



- 1 ■ A potência dissipada na resistência R é dada por: $P =$ _____ (em função de I e V); $P =$ _____ (em função de R e I) e $P =$ _____ (em função de V e R).

$$V \cdot I; R \cdot I^2; \frac{V^2}{R}$$

- 2 ■ O enunciado do problema fornece diretamente os valores de _____ e _____. Logo, a expressão a ser usada é $P =$ _____. Portanto, $P =$ _____ (número e unidade).

$$R; I; R \cdot I^2; 10 \Omega (0,50 \text{ A})^2 = 2,5 \Omega \cdot \text{A}^2 = 2,5 \text{ watts}$$

- 3 ■ O trabalho, ou energia dissipada, é dado por $W =$ _____ (em função de potência e intervalo de tempo). Logo, $W =$ _____ (número e unidade).

$$P \cdot \Delta t; 25 \text{ J}$$

PROBLEMA 2

A voltagem no resistor de $R = 200 \Omega$ é de 12,0 volts. Calcule a potência e a energia transformada em calor em 10,0 s.

- 1 ■ O enunciado nos fornece, diretamente, a _____, a _____ e o _____. Logo, poderemos usar $P =$ _____ para determinar a potência pelo efeito _____. Portanto, $P =$ _____ (número e unidade).

voltagem V ; resistência R ; intervalo de tempo Δt ; $\frac{V^2}{R}$; Joule; $7,2 \times 10^{-1}$ watts

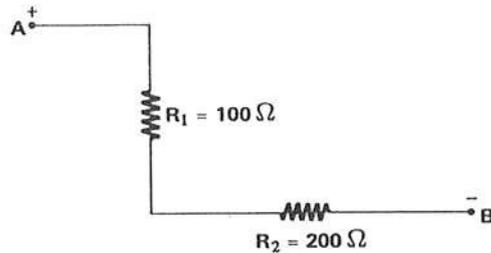
- 2 ■ A energia dissipada é obtida multiplicando-se a _____ pelo _____ em que a corrente flui. Logo, $W =$ _____.

potência; intervalo de tempo; 7,2 J

PROBLEMA 3

Nos terminais A e B da associação ao lado é aplicada uma diferença de potencial de 1,5 volts. Determinar:

- a) a potência fornecida nos terminais A e B;
 b) a potência que cada resistência dissipa;
 c) a energia total dissipada em 20,0 s.



- 1 ■ Na associação, R_1 e R_2 estão ligados em _____. Portanto, a resistência equivalente é $R_{eq} =$ _____.

série; 300Ω

- 2 ■ Portanto, aplicando a Lei de Ohm, a corrente total é $I =$ _____ A.

$$\frac{V}{R_{eq}} = 5,0 \times 10^{-3}$$

- 3 ■ A potência fornecida entre os terminais A e B é dado por $P = V \cdot I$. Portanto, a potência fornecida é $P =$ _____.

$7,5 \times 10^{-3}$ watts = 7,5 mW (miliwatts)

- 4 ■ A corrente na associação é $I =$ _____. Como R_1 e R_2 estão em série, a corrente em cada resistência (é; não é) igual a I . Logo, em cada resistência, a dissipação de energia por efeito Joule é dada por $P =$ _____. Então, $P_{R_1} =$ _____ e $P_{R_2} =$ _____.

$5,0 \times 10^{-3}$ A; é; $R \cdot I^2$; $2,5 \times 10^{-3}$ watts; $5,0 \times 10^{-3}$ watts

- 5 ■ A potência total dissipada por efeito Joule é então $P =$ _____. A potência fornecida aos terminais A e B da associação (é; não é) igual à potência total dissipada.

$P_{R_1} + P_{R_2} = 7,5 \times 10^{-3}$ watts; é

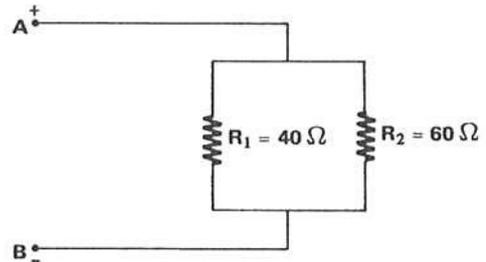
- 6 ■ A potência total dissipada nos resistores é então $7,5 \times 10^{-3}$ watts. Em 20,0 s, a energia dissipada é $W =$ _____.

$P \cdot \Delta t = 1,5 \times 10^{-1}$ J

PROBLEMA 4

Na associação ao lado, a voltagem entre A e B é $V = 12,0$ volts. Determinar:

- a potência fornecida entre A e B;
- a potência dissipada por efeito Joule em cada resistor;
- a energia dissipada em 30 minutos.



- 1 ■ Na associação, R_1 e R_2 estão ligados em _____ entre os pontos A e B. Logo, $R_{eq} =$ _____. Pela Lei de Ohm, a corrente total é $I =$ _____.

paralelo; 24Ω ; $5,0 \times 10^{-1}$ A

- 2 ■ A potência fornecida entre os terminais A e B é $P =$ _____.

6,0 watts

- 3 ■ Como R_1 e R_2 estão ligados em paralelo entre A e B, a voltagem em R_1 como em R_2 é $V =$ _____. Logo, pela Lei de Ohm, $I_1 =$ _____ e $I_2 =$ _____.

12,0 volts; $3,0 \times 10^{-1}$ A; $2,0 \times 10^{-1}$ A

- 4 ■ Portanto, por efeito Joule, R_1 dissipa uma potência $P_{R_1} =$ _____ e a resistência R_2 dissipa uma potência $P_{R_2} =$ _____.

3,6 watts; 2,4 watts

- 5 ■ A potência total dissipada na associação é $P =$ _____ e (é; não é) igual à potência fornecida nos terminais da associação.

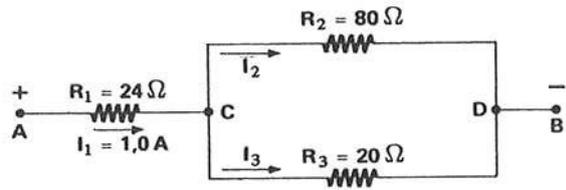
6,0 watts; é

6 ■ Em 30 minutos = _____ s, a energia total dissipada é $W =$ _____.

$1,8 \times 10^3$; $\sim 1,1 \times 10^4$ J

PROBLEMA 5

Na associação ao lado, determinar a potência dissipada em cada resistor. A diferença de potencial entre A e B é $V = 40$ volts.



1 ■ As resistências R_2 e R_3 estão ligadas em _____ entre C e D. A associação de R_2 e R_3 (está; não está) em série com R_1 .

paralelo; está

2 ■ A corrente que passa por R_1 é $I_1 =$ _____ e (constitui; não constitui) a corrente total na associação. Pela Lei de Ohm, a voltagem na resistência R_1 é $V_{R_1} = V_{AC} =$ _____.

1,0 A; constitui; $R_1 \cdot I_1 = 24$ volts

3 ■ Como $V = V_{AC} + V_{CD}$, então $V_{CD} =$ _____.

$V - V_{AC} = 40 - 24 = 16$ volts

4 ■ Sendo $V_{CD} = 16$ volts, e a corrente total da associação $I = I_1 =$ _____, a resistência equivalente entre C e D é $R_{eq} =$ _____.

1,0 A; $\frac{V_{CD}}{I} = 16 \Omega$

5 ■ A potência dissipada em R_1 será então $P_{R_1} =$ _____ e a potência dissipada na associação existente entre C e D é $P_{CD} =$ _____.

24 watts; 16 watts

6 ■ A corrente total I ao atingir o nó C se subdivide em I_2 e I_3 . Pela Lei de Ohm, $I_2 =$ _____ e $I_3 =$ _____.

0,20 A; 0,80 A

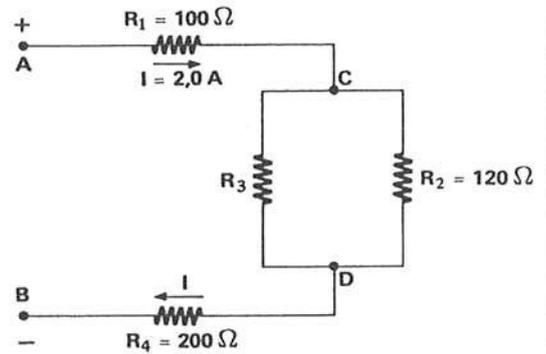
7 ■ Portanto, em R_2 a potência dissipada é $P_{R_2} =$ _____ e em R_3 , $P_{R_3} =$ _____.

3,2 watts; 12,8 watts

PROBLEMA 6

Na associação ao lado, a potência dissipada por efeito Joule entre C e D é 192 watts. Determinar:

- o valor de R_3 ;
- a potência dissipada em cada resistência;
- a potência total fornecida entre A e B;
- a energia gasta pela associação em 20 minutos.



- 1 ■ A potência dissipada entre C e D é $P_{CD} = \underline{\hspace{2cm}}$ watts. A corrente total que passa por C e D é $I = \underline{\hspace{2cm}}$ A. Portanto, podemos determinar a resistência equivalente entre C e D aplicando a expressão $P_{CD} = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de resistência equivalente e corrente).

192; 2,0; $R_{eq} \cdot I^2$

- 2 ■ $P_{CD} = R_{eq} \cdot I^2$. Logo, $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$\frac{P_{CD}}{I^2} = 48 \Omega$$

- 3 ■ A expressão que permite calcular a resistência equivalente entre C e D é $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de R_2 e R_3).

$$\frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

- 4 ■ Como $R_{eq} = 48 \Omega$ e $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$, então $R_3 = \underline{\hspace{2cm}}$.

120 Ω ; 80 Ω

- 5 ■ Pela resistência R_1 a corrente é $I = \underline{\hspace{2cm}}$. A potência por ela dissipada é $P_{R_1} = \underline{\hspace{2cm}}$.

2,0 A; 400 watts

- 6 ■ Ao atingir o ponto C, a corrente se subdivide em I_2 e I_3 . Para determinarmos a potência dissipada em R_2 e em R_3 , (devemos; não devemos) primeiramente calcular a corrente que passa por eles. Antes, porém, (devemos; não devemos) determinar a voltagem entre C e D.

devemos; devemos

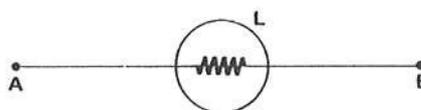
- 7 ■ A voltagem entre C e D (pode; não pode) ser calculada, pois conhecemos a resistência equivalente entre C e D e a corrente total I. Assim, $V_{CD} = \underline{\hspace{2cm}}$.

pode; $R_{eq} \cdot I = 48 \times 2,0 = 96$ volts

- 8 ■ Portanto, $I_2 =$ _____ e $I_3 =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 0,80 A; 1,2 A
- 9 ■ Então, a potência dissipada por R_2 é $P_{R_2} =$ _____ e por R_3 é $P_{R_3} =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 76,8 watts; 115,2 watts
- 10 ■ A corrente que passa por R_4 é $I =$ _____. Portanto, $P_{R_4} =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 2,0 A; 800 watts
- 11 ■ Então, $P_{R_1} =$ _____; $P_{R_2} =$ _____; $P_{R_3} =$ _____
 e $P_{R_4} =$ _____. Logo, a associação dissipa uma potência total $P =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 400 watts; 76,8 watts; 115,2 watts; 800 watts; 1 392 watts
- 12 ■ Finalmente, em 20 minutos = _____ s, a associação dissipa uma energia $W =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 $1,2 \times 10^3$; $\cong 1,7 \times 10^6$ J

PROBLEMA 7

Uma lâmpada possui as seguintes especificações:
 120 volts; 60 watts.
 Quando funcionando normalmente, determinar a
 resistência do filamento.



- 1 ■ O filamento da lâmpada é um condutor metálico, em geral de tungstênio. À temperatura ambiente, isto é, quando está desligada, a sua resistência é pequena. Funcionando normalmente, conforme a especificação, sua resistência aumenta devido ao aumento da temperatura. Quando ligada a 60 volts, a lâmpada mencionada (funciona; não funciona) normalmente.
 ★★★★★★★★★★
 não funciona
- 2 ■ Para que ela funcione normalmente, isto é, dissipando uma potência de 60 watts, é necessário que ela seja ligada a _____. Se ela for ligada a 240 volts, o filamento desta lâmpada irá “queimar-se”, pois ela dissipará potência além da especificação, o que irá ocasionar a fusão (derretimento) do filamento.
 ★★★★★★★★★★
 120 volts
- 3 ■ Quando ligada conforme as especificações, ela funcionará normalmente. Portanto, se esta lâmpada for ligada a 120 volts, ela dissipará _____ de potência. A potência P pode ser dada em função da voltagem e da resistência pela expressão $P =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 60 watts; $\frac{V^2}{R}$

4 ■ $P = \frac{V^2}{R}$. Então, $R =$ _____ e vale $R =$ _____ ohms.

$\frac{V^2}{P}$; 240

PROBLEMA 8

Um chuveiro elétrico possui as seguintes especificações: 240 volts, 2 400 watts. Determinar:

- a) a sua resistência;
- b) a energia dissipada por efeito Joule em 10 minutos;
- c) a quantidade de calor (em calorias) liberada nos 10 minutos.

1 ■ A potência dissipada é $P =$ _____ (em termos de V e R). Portanto, $R =$ _____ e vale $R =$ _____.

$\frac{V^2}{R}$; $\frac{V^2}{P}$; 24 Ω

2 ■ Em 10 min = _____ s, a energia dissipada pelo chuveiro é $W =$ _____.

600; $1,44 \times 10^6$ J

3 ■ Já vimos, no estudo de calor, que existe uma correspondência entre o trabalho ou energia mecânica e a energia térmica (calor). Portanto, existe a possibilidade da conversão de joule (trabalho mecânico) em caloria (medida de quantidade de calor). Esta relação é 1 cal = 4,18 J. Portanto, 1 J \cong _____ cal.

0,24

4 ■ Logo, se em 10 min, isto é, em _____ s, o chuveiro dissipa $1,44 \times 10^6$ J, então, em termos de calorias, dissipará, $W =$ _____.

600; $1,44 \times 10^6 \cdot 0,24$ cal $\cong 3,46 \times 10^5$ cal

5 ■ A quantidade de calor liberada pelo chuveiro em 10 min, por efeito Joule, será $Q =$ _____.
(Q = símbolo de quantidade de calor)

$3,46 \times 10^5$ cal

PROBLEMA 9

Quantas calorias pode produzir uma resistência de 40 Ω , em 5,0 min, se percorrida por uma corrente de 3,0 A?

1 ■ A resistência é $R = \underline{\hspace{2cm}}$ e a corrente é $I = \underline{\hspace{2cm}}$. Então, a potência por ela dissipada será $P = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$40 \Omega; 3,0 \text{ A}; R \cdot I^2 = 3,6 \times 10^2 \text{ watts}$$

2 ■ Em 5,0 min, que é igual a $\underline{\hspace{2cm}}$ s, a energia dissipada é $\underline{\hspace{2cm}}$.

$$3,0 \times 10^2; 1,08 \times 10^5 \text{ J}$$

3 ■ Como $1 \text{ J} = \underline{\hspace{2cm}}$ cal, então a energia dissipada em calorias, por efeito Joule é $\underline{\hspace{2cm}}$.

$$0,24; 2,6 \times 10^4 \text{ cal}$$

PROBLEMA 10

Se a energia dissipada em 5,0 min, na resistência mencionada no problema 9, for utilizada para aquecer 10 litros de água, qual será a sua variação de temperatura?

1 ■ A quantidade de calor Q pode ser dada em função da massa, do calor específico e da variação de temperatura. Esta relação é $Q = \underline{\hspace{2cm}}$, onde m é a massa da substância de calor específico C que sofre uma variação de temperatura Δt .

$$m \cdot c \cdot \Delta t$$

2 ■ No problema 9, a quantidade de calor liberada, em calorias, é $Q = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$2,6 \times 10^4 \text{ cal}$$

3 ■ O calor específico da água é $c = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$. Massa de 10 litros de água corresponde a $\underline{\hspace{2cm}}$ kg.

$$10$$

4 ■ Devido às unidades, devemos transformar kg em g. Logo, $10 \text{ kg} = \underline{\hspace{2cm}}$ g.

$$10 \times 10^3$$

5 ■ $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$ e $\Delta t = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de m , c e Q).

$$\frac{Q}{m \cdot c}$$

6 ■ Logo, $\Delta t = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$\frac{2,6 \times 10^4 \text{ cal}}{10 \times 10^3 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}} = 2,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

PROBLEMA 11

A potência de um televisor é 200 watts. Qual é a energia consumida pelo televisor em 1 hora? (Resposta em quilowatt-hora)

- 1 ■ A potência é $P = 200$ watts e o tempo de funcionamento do televisor é $\Delta t =$ _____ s. Portanto, $W =$ _____.

$$3,6 \times 10^3; P \cdot \Delta t = 7,2 \times 10^5 \text{ J}$$

- 2 ■ Quando efetuamos o pagamento da conta de energia elétrica somos cobrados em termos de quilowatt-horas (kWh). 1 quilowatt = _____ watts. Portanto, 1 kWh corresponde ao trabalho de um dispositivo de potência $P =$ _____ watts que funciona durante o tempo $\Delta t = 1$ hora = _____ s.

$$10^3; 10^3; 3,6 \times 10^3$$

- 3 ■ Portanto, 1 kWh = _____ watts \times _____ s = _____ J.

$$10^3; 3,6 \times 10^3; 3,6 \times 10^6$$

- 4 ■ 1 kWh = _____ J. Logo, em 1 hora, o televisor mencionado consome uma energia de _____ J. Esta energia, em joules, equivale a _____ kWh. (faça uma regra de três simples)

$$3,6 \times 10^6; 7,2 \times 10^5; 2,0 \times 10^{-1}$$

PROBLEMA 12

Um ferro de passar roupa dissipa uma potência de 300 watts. Se ele funcionar durante 10 minutos, qual é a energia consumida em kWh?

- 1 ■ A potência do ferro é $P =$ _____ e o tempo de funcionamento é $\Delta t =$ _____. Portanto, dissipará uma energia de $W =$ _____.

$$300 \text{ watts}; 600 \text{ s}; P \cdot \Delta t = 1,8 \times 10^5 \text{ J}$$

- 2 ■ Como 1 kWh = _____ J, a energia gasta pelo ferro em 10 min será de _____ kWh.

$$3,6 \times 10^6; 5,0 \times 10^{-2}$$

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Um corpo cai livremente no interior de um meio viscoso. É certo que:
 - a. a sua energia mecânica é conservada.
 - b. tanto a sua energia potencial como a cinética variam.
 - c. somente a energia potencial varia.
 - d. a sua energia mecânica não é conservada.
- 2 ■ O que significa o termo “dissipação”?
- 3 ■ Cargas elétricas que constituem uma corrente elétrica, ao passarem por uma resistência, dissipam energia. Certo ou errado?
- 4 ■ O que acontece com a energia perdida pelas cargas elétricas ao passarem por uma resistência? Cite exemplos.
- 5 ■ Descreva o efeito Joule em uma resistência elétrica.
- 6 ■ Explique o significado da função $\Delta U = q \cdot V$.
- 7 ■ Escreva a expressão da potência dissipada numa resistência elétrica em função de:
 - a) V e I ; b) V e R ; c) R e I .
- 8 ■ Uma resistência dissipa potência P durante um intervalo de tempo Δt . Como se obtém a energia dissipada por essa resistência?
- 9 ■ As expressões $V \cdot I \cdot \Delta t$, $\frac{V^2}{R} \cdot \Delta t$ e $R \cdot I^2 \cdot \Delta t$ representam a mesma grandeza física. Certo ou errado?
- 10 ■ A unidade de potência elétrica no SI de unidades é _____.
- 11 ■ A potência dissipada por uma associação de resistores em série é igual à soma das potências dissipadas por cada resistor da associação. Certo ou errado?
- 12 ■ Como você responderia à questão 11, se a associação dos resistores fosse em paralelo?
- 13 ■ Numa associação mista de resistores, como você determinaria a potência total dissipada por efeito Joule, conhecendo-se a potência dissipada por cada resistor da associação?
- 14 ■ O que significam as especificações 120 volts, 60 watts, em uma lâmpada elétrica?
- 15 ■ Pode-se dizer que o filamento de uma lâmpada é um resistor? Ele é geralmente feito de _____.
- 16 ■ Explique o significado de “a lâmpada se queimou”.
- 17 ■ Qual é a ordem de grandeza da potência de um chuveiro elétrico comum?
- 18 ■ Existe ou não uma correspondência entre energia mecânica e energia térmica ou calor?
- 19 ■ Quantos joules é 1 caloria? E 1 joule quantas calorias são?
- 20 ■ Qual é o símbolo utilizado para quantidade de calor?
- 21 ■ O que é watt-hora? E quilowatt-hora? Eles expressam:
 - a. energia elétrica.
 - b. potência elétrica.
 - c. potencial elétrico.

22 ■ Na conta de luz, qual é a unidade de medida usada para cobrar o consumo de energia elétrica?

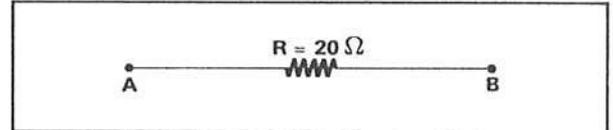
Após isso, você deve estar apto para:

- descrever o efeito Joule em uma resistência elétrica.
- calcular potência elétrica dissipada em uma resistência.
- calcular potência elétrica dissipada em um sistema de associação de resistores.
- efetuar conversão de energia elétrica em energia térmica.
- definir quilowatt-hora.
- resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Calcule a potência dissipada pela resistência desenhada ao lado quando entre os terminais A e B a diferença de potencial for:

- 10 volts;
- 20 volts;
- 30 volts.



2 ■ Analise as suas respostas aos itens a, b e c do problema anterior e responda:

- De quanto aumenta a potência dissipada se a voltagem duplicar? E se triplicar? Explique.
- De quanto aumenta a potência dissipada se a corrente na resistência duplicar? E se triplicar? Explique.

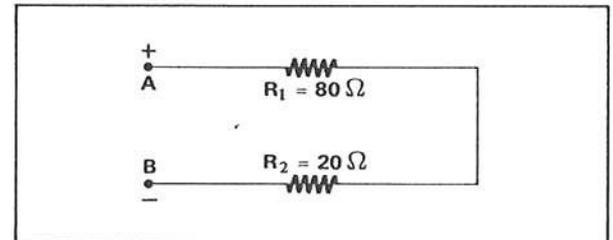
3 ■ Um resistor de 200 ohms dissipa uma potência máxima de 2,0 watts (especificação de fábrica).

- Qual é a corrente máxima que pode fluir pelo resistor sem danificá-lo?
- Qual é a voltagem máxima que ele pode suportar sem se danificar?

4 ■ Qual é a energia dissipada por uma resistência de $5,0 \times 10^2$ ohms, sob uma diferença de potencial de $1,0 \times 10^2$ volts, se ficar ligada durante 10 s? Dê a resposta em joules e em kWh.

5 ■ Na associação ao lado, a resistência R_2 está dissipando uma potência de $2,0 \times 10^{-3}$ watts.

- Qual é a corrente por cada resistência?
- Qual é a potência dissipada em R_1 ?
- Qual é a voltagem em cada resistência?
- Qual é a potência total dissipada?
- Qual é a voltagem nos terminais A e B?



6 ■ Um forno elétrico de resistência 24 ohms é ligado em 120 volts.

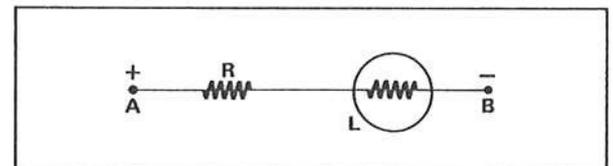
- Determinar a potência consumida pelo forno.
- Determinar a energia consumida pelo forno, em joules e em kWh, se ele ficar ligado durante meia hora.

7 ■ Duas lâmpadas de 40 watts e 200 watts são especificadas para funcionarem sob uma diferença de potencial de 120 volts. Determinar a resistência de cada lâmpada. Por qual das lâmpadas deve fluir mais corrente?

8 ■ Um soldador elétrico de 30 watts funciona a 120 volts. Qual é a energia que ele consome em 20 minutos? Dê a resposta em joules e em kWh.

9 ■ Qual é a quantidade de calor liberada, por efeito Joule, pelo soldador mencionado no problema 8?

10 ■ Na figura ao lado temos uma lâmpada L de 40 watts e 110 volts, em série com uma resistência R. Qual deve ser o valor da resistência R para que a lâmpada funcione normalmente, se entre os pontos A e B existir uma diferença de potencial de 220 volts?

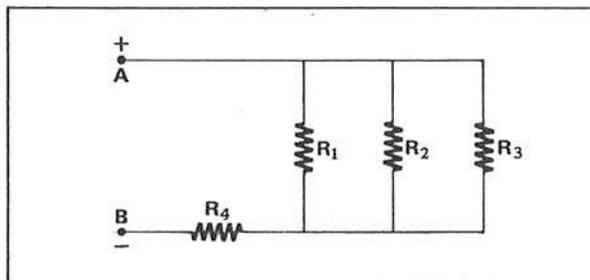


- 11 ■ A diferença de potencial entre dois pontos A e B é de 18 volts. Temos dois condutores cujas respectivas resistências são 6,0 e 3,0 ohms. Determine a quantidade de calor que cada um libera em 10 s, se eles forem ligados entre A e B.

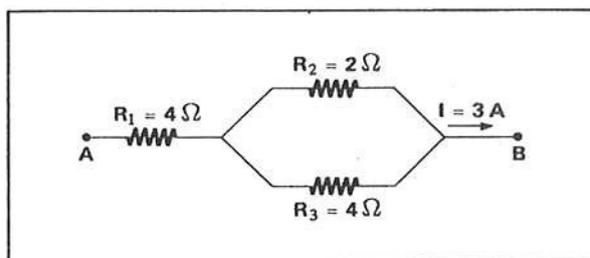
a) em série. b) em paralelo.

- 12 ■ Na associação ao lado, $R_1 = R_2 = 40$ ohms, $R_3 = 80$ ohms e $R_4 = 34$ ohms. Se a resistência R_3 dissipa 3,2 watts, determinar:

- a) a corrente por R_3 ;
 b) a diferença de potencial em R_3 ;
 c) a corrente por R_2 e R_1 ;
 d) a potência dissipada por R_1 e R_2 ;
 e) a corrente por R_4 ;
 f) a voltagem em R_4 ;
 g) a voltagem entre A e B;
 h) a potência total dissipada.



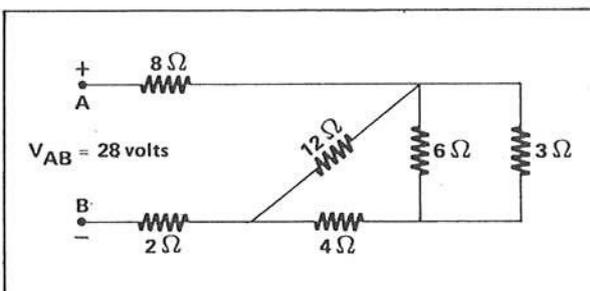
- 13 ■ Na associação ao lado, determinar a potência dissipada em cada resistência.



- 14 ■ À voltagem de 120 volts estão ligados, em paralelo, um torrador de pão de $1,2 \times 10^3$ watts, uma lâmpada de 200 watts e um ferro de soldar de $6,0 \times 10^2$ watts.

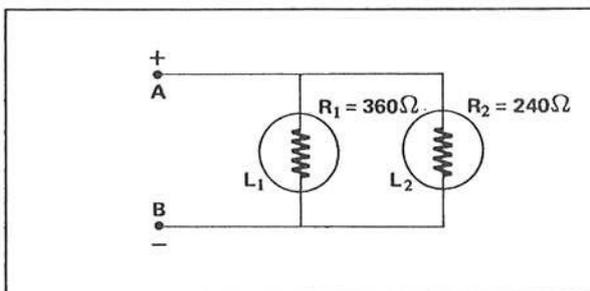
- a) Qual é a potência total dissipada?
 b) Qual é a corrente total fornecida?
 c) Em 10 min, qual é a energia consumida, em joules e em kWh?

- 15 ■ Na associação ao lado, qual é a potência dissipada na resistência de 12 ohms e na de 6 ohms?



- 16 ■ Duas lâmpadas elétricas estão ligadas em paralelo à rede de eletricidade de 120 volts, conforme ilustra o esquema ao lado.

- a) Qual lâmpada absorve mais potência?
 b) Quantas vezes mais?



- 17 ■ Um ebulidor elétrico tem potência de $1,0 \times 10^2$ watts e é ligado a 120 volts.

- a) Qual é a resistência do ebulidor?
 b) Qual é a corrente que passa pelo ebulidor?
 c) Qual é a energia consumida, em joules e em kWh, pelo ebulidor, em 10 minutos?
 d) Qual é a quantidade de calor, em calorias, liberada pelo ebulidor nos 10 minutos?
 e) Qual é a elevação de temperatura que este ebulidor provocaria em 1 litro de água nos 10 minutos, se todo o calor fosse transferido para a massa de água?

- 18 ■ Três lâmpadas elétricas de 100 volts cada e cujas potências são 40, 40 e 80 watts devem ser ligadas a uma fonte de 200 volts.
- a) Faça um esquema da ligação correta de modo que cada uma funcione normalmente.
- b) Qual é a corrente que passa por cada lâmpada?
- 19 ■ Para aquecer 4,8 litros de água desde 25°C até a ebulição (100°C), um ebulidor consome 0,5 kW de potência. Admitindo um rendimento total, por quanto tempo o ebulidor deve ficar ligado?
- 20 ■ Um televisor de 150 watts fica ligado durante 6 horas por dia. Para 30 dias, calcular:
- a) a energia, em kWh, consumida pelo televisor.
- b) quanto deverá ser pago à companhia de eletricidade? Procure numa conta de luz o preço de cada kWh.

RESPOSTAS

- 1 ■ a) $P = \frac{V^2}{R} = 5,0$ watts; b) $P = 20$ watts; c) $P = 45$ watts.
- 2 ■ a) Se a voltagem duplica, a potência quadruplica, pois $P = \frac{V^2}{R}$, isto é, a voltagem está elevada ao quadrado. Se a voltagem triplica, a potência inicial fica multiplicada por 9.
- b) Se a corrente duplica, a potência aumenta 4 vezes; se a corrente triplica, a potência aumenta 9 vezes, pois $P = R \cdot I^2$.
- 3 ■ a) $I = 1,0 \times 10^{-1}$ A; b) $V = 20$ volts.
- 4 ■ $W = \frac{V^2}{R} \cdot \Delta t = 2,0 \times 10^2$ J ou $W \cong 5,5 \times 10^{-5}$ kWh.
- 5 ■ a) $I = 1,0 \times 10^{-2}$ A em cada resistência, pois estão em série.
- b) $P_{R_1} = 8,0 \times 10^{-3}$ watts.
- c) $V_{R_1} = 8,0 \times 10^{-1}$ volts e $V_{R_2} = 2,0 \times 10^{-1}$ volts.
- d) $P = 10 \times 10^{-3}$ watts.
- e) $V_{AB} = 1,0$ volts.
- 6 ■ a) $P = 600$ watts; b) $W \cong 1,1 \times 10^6$ J e $W = 0,30$ kWh.
- 7 ■ A lâmpada de 40 watts tem $R = \frac{V^2}{P} = 360 \Omega$ e a outra $R = 72 \Omega$. Corrente maior deve passar pela resistência menor; logo, a lâmpada de 200 watts consumirá maior corrente.
- 8 ■ $W = 3,6 \times 10^4$ J ou $W = 1,0 \times 10^{-2}$ kWh.
- 9 ■ $Q \cong 8,6 \times 10^3$ cal.
- 10 ■ No funcionamento normal, a corrente na lâmpada é $I = \frac{4}{11}$ A. Como $V_{AB} = V_R + V_L$, então $V_R = V_{AB} - V_L = 110$ volts, pois no funcionamento normal $V_L = 110$ volts. Logo, $110 \text{ volts} = R \cdot \frac{4}{11} \therefore R = 302,5 \Omega \cong 3,0 \times 10^2 \Omega$.

11 ■ a)

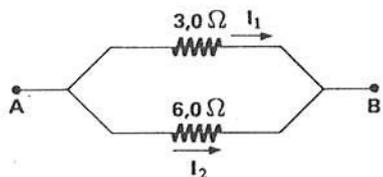


$$I = 2,0 \text{ A};$$

$$P = 120 \text{ J (em } R = 3,0 \Omega \text{) e}$$

$$P = 240 \text{ J (em } R = 6,0 \Omega \text{)}$$

b)



$$I_1 = 6,0 \text{ A} \rightarrow P = 1080 \text{ J (em } R = 3,0 \Omega \text{)}.$$

$$I_2 = 3,0 \text{ A} \rightarrow P = 540 \text{ J (em } R = 6,0 \Omega \text{)}.$$

- 12 ■ a) $I_3 = 2,0 \times 10^{-1} \text{ A}$; b) $V_{R_3} = 16 \text{ volts}$; c) $I_1 = I_2 = 4,0 \times 10^{-1} \text{ A}$; d) $P_{R_1} = P_{R_2} = 6,4 \text{ watts}$;
 e) $I_4 = I = I_1 + I_2 + I_3 = 1,0 \text{ A}$; f) $V_{R_4} = 34 \text{ volts}$; g) $V_{AB} = 50 \text{ volts}$; h) $P = VI = 50 \text{ watts}$.

13 ■ $P_{R_1} = 36 \text{ watts}$; $P_{R_2} = 8 \text{ watts}$; $P_{R_3} = 4 \text{ watts}$.

14 ■ a) $P = 2,0 \times 10^3 \text{ watts}$; b) $I = 16,6 \cong 1,7 \times 10^1 \text{ A}$; c) $W = 1,2 \times 10^6 \text{ J}$ ou $W = \frac{1}{3} \text{ kWh}$.

15 ■ $P \cong 5,3 \text{ watts}$ em $R = 12 \Omega$ e $P \cong 1,2 \text{ watts}$ em $R = 6 \Omega$.

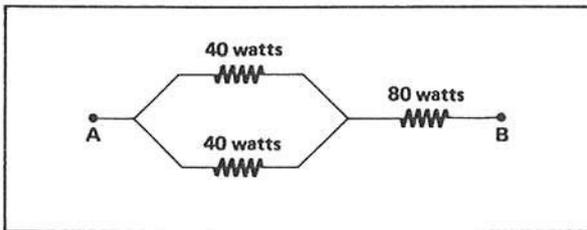
16 ■ a) $P = \frac{V^2}{R}$; como V é a mesma para as duas lâmpadas, aquela que tiver menor resistência dissipará mais potência.

Portanto, L_2 dissipará mais, pois $P_{L_1} = 40 \text{ watts}$ e $P_{L_2} = 60 \text{ watts}$.

b) $P_{L_2} = 1,5 \cdot P_{L_1}$. Observe que $\frac{R_1}{R_2} = 1,5$, isto é, $R_1 = 1,5 R_2$. Como $R_1 = 1,5 R_2$, então R_1 irá dissipar 1,5 vezes menos.

17 ■ a) $R = 144 \Omega$; b) $I \cong 0,8 \text{ A}$; c) $W = 6 \times 10^4 \text{ J}$ ou $W \cong 0,017 \text{ kWh}$;
 d) $Q = 144 \times 10^2 \text{ cal}$; e) $\Delta t \cong 14,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

18 ■ a) Cada lâmpada de 40 watts possui $R = 250 \Omega$ e a de 80 watts possui $R = 12 \Omega$. Logo, as duas de 40 watts devem ser ligadas em paralelo e esta associação em série com a de 80 watts.



b) A corrente por cada lâmpada de 40 watts é de 0,40 A e pela de 80 watts é de 0,80 A.

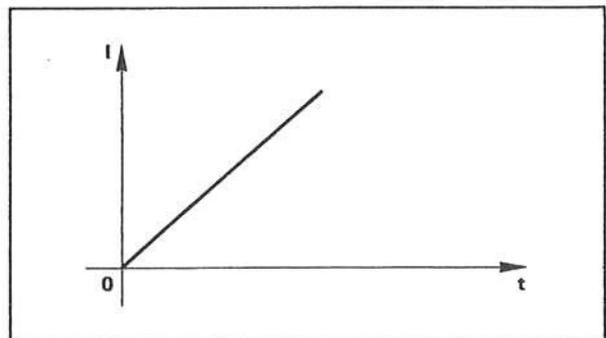
19 ■ $\Delta t = 50 \text{ min}$.

20 ■ a) $W = 97,2 \times 10^6 \text{ J}$ ou $W = 27 \text{ kWh}$.

SEÇÃO 8 – CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA

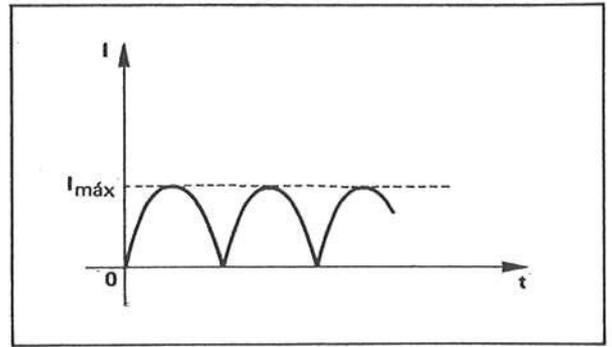
A – CORRENTE CONTÍNUA OU DIRETA E CORRENTE NÃO-CONTÍNUA FONTE DE FEM DE CORRENTE CONTÍNUA

1 ■ Uma corrente elétrica é dita corrente contínua ou direta (DC) se a sua intensidade não se altera no decorrer do tempo. O gráfico ao lado ilustra uma corrente (contínua; não-contínua), pois a sua intensidade aumenta com o tempo.



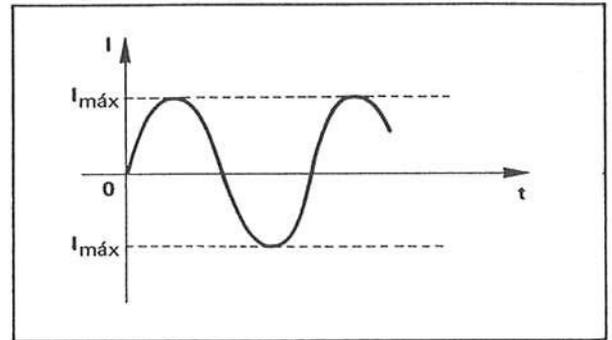
não-contínua

- 2 ■ O gráfico ao lado ilustra a intensidade de uma corrente em função do tempo. Esta corrente (é; não é) contínua ou direta porque a sua intensidade oscila entre 0 e $I_{\text{máx}}$. Apesar de oscilante, a corrente (é; não é) sempre positiva.



não é; é

- 3 ■ O gráfico ao lado representa uma corrente (contínua; não-contínua), pois no decorrer do tempo a corrente oscila entre um valor $I_{\text{máx}}$ positivo e um valor $I_{\text{máx}}$ negativo, passando por zero.

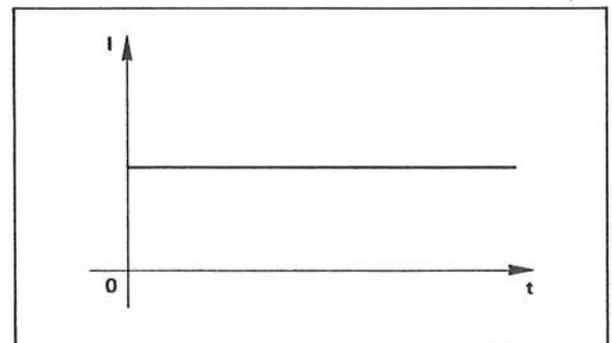


não-contínua

- 4 ■ A corrente ilustrada no gráfico acima representa uma corrente alternada (AC), pois a sua intensidade se alterna entre um valor máximo negativo e um valor máximo positivo, passando por zero. O gráfico do item 2 (representa; não representa) uma corrente alternada.

não representa

- 5 ■ A intensidade da corrente I no gráfico ao lado (se mantém; não se mantém) constante com o passar do tempo. Este gráfico mostra uma corrente _____



se mantém; contínua

- 6 ■ A corrente elétrica ilustrada no gráfico do item 5 é (oscilante; AC; DC).

DC

- 7 ■ Numa corrente elétrica contínua ou direta (DC), a sua _____ se mantém constante no decorrer do tempo. Numa corrente alternada (AC), a sua intensidade _____ no decorrer do tempo.

intensidade; não se mantém constante

8 ■ Uma pilha, como a de lanterna ou de rádio, é uma fonte de FEM que gera corrente contínua. Uma bateria de carro (é; não é) uma fonte de corrente contínua.

é

9 ■ Das tomadas de uma instalação elétrica residencial também sai corrente elétrica. Esta corrente é alternada. Portanto, a corrente que faz com que a televisão funcione (é; não é) contínua. Ela constitui uma corrente (AC; DC).

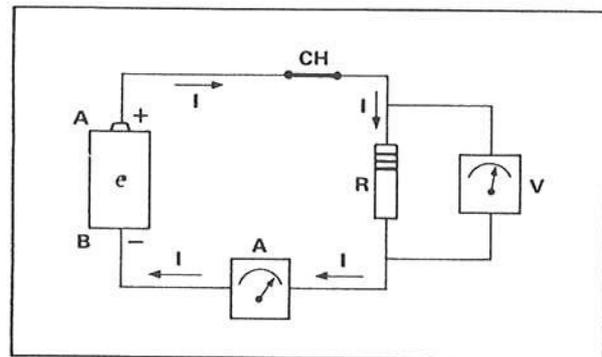
não é; AC

10 ■ Portanto, fontes de FEM DC fornecem _____ e fontes ou geradores de FEM AC fornecem corrente (contínua; alternada).

corrente contínua ou direta (DC); alternada

B – ELEMENTOS DE UM CIRCUITO – ESQUEMATIZAÇÃO

1 ■ A figura ao lado representa um circuito de corrente contínua. A pilha de terminais A e B e força eletromotriz ϵ está ligada a um resistor de resistência R. O instrumento A é um amperímetro, que serve para medir (corrente; voltagem). O instrumento V é um voltímetro, que serve para medir (corrente; voltagem). A chave CH é um interruptor de corrente. Quando ela estiver fechada, como mostra o diagrama acima, (flui; não flui) corrente no circuito.



corrente; voltagem; flui

2 ■ O sentido de percurso da corrente elétrica convencional I, no circuito do item 1, é no sentido (horário; anti-horário). A corrente sai do terminal _____ e chega no terminal _____ da fonte de FEM DC.

horário; A ou +; B ou -

3 ■ Durante o percurso, a corrente (passa; não passa) pelo amperímetro A. O amperímetro é um instrumento que mede _____.

passa; a intensidade da corrente

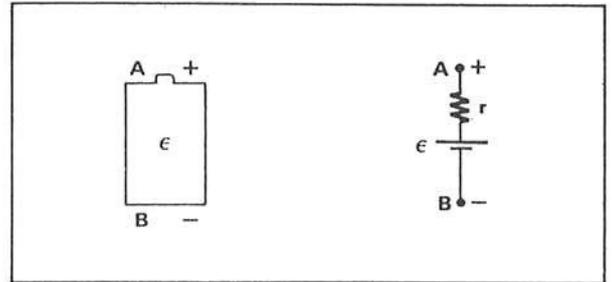
4 ■ O amperímetro está ligado (em série; em paralelo) com o resistor R, pois a corrente que ele mede (é; não é) a mesma que passa pelo resistor.

em série; é

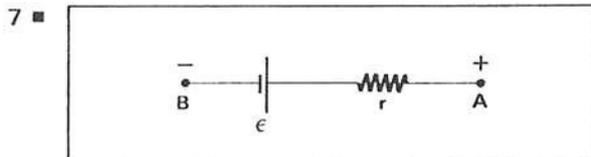
5 ■ O voltímetro V mede a voltagem ou a diferença de potencial ou ainda a queda de tensão nos extremos do resistor. O voltímetro está ligado em _____ com o elemento, e ele mede, entre os extremos desse elemento, a _____.

paralelo; voltagem

6 ■ Para simplificar e tornar prático, os circuitos são esquematizados e seus elementos são representados por símbolos. Ao lado, uma fonte de FEM DC (uma pilha) é representada esquematicamente. O símbolo r representa a resistência interna da fonte. O traço maior (corresponde; não corresponde) ao terminal positivo e o traço menor ao _____.

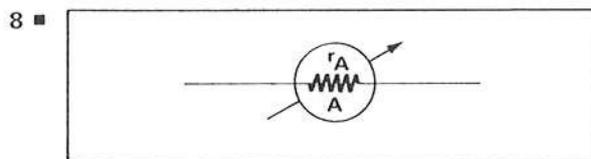


corresponde; terminal negativo



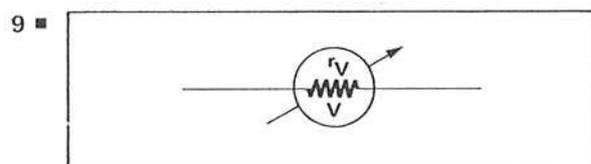
O símbolo ao lado representa uma _____.
Neste esquema r é a _____.
A letra ϵ representa o valor da FEM da fonte, que é medido, no SI de Unidades, em _____.

fonte de FEM DC; resistência interna; volts



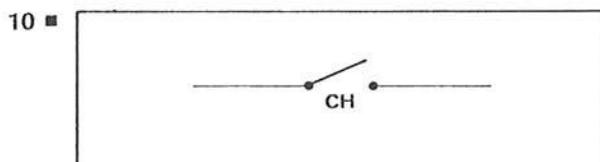
Este símbolo representa um amperímetro. A resistência interna do amperímetro é simbolizada por _____.

r_A



Este símbolo representa um _____. A resistência interna do voltímetro é representada por _____.

voltímetro; r_V



O símbolo ao lado representa um interruptor ou chave. Quando a chave está aberta, como mostra o esquema, (passa; não passa) corrente por ela.

não passa

- 11 ■ O esquema ao lado representa um circuito elétrico. Neste esquema o símbolo

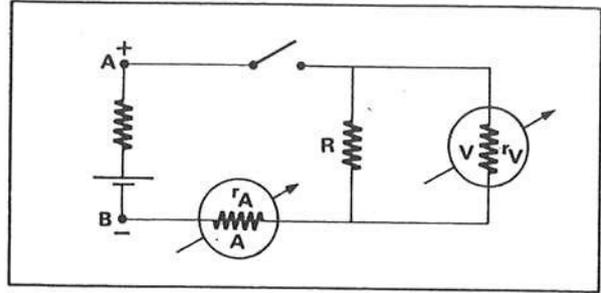


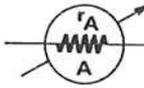
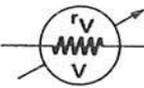
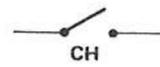
representa a _____;

o amperímetro é simbolizado por

o voltmímetro por

e a chave por

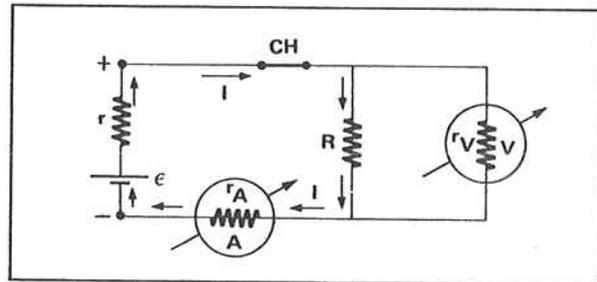


fonte de FEM DC;  ;  ; 

- 12 ■ No esquema do item 11, a chave está (aberta; fechada) e pela resistência R (passa; não passa) corrente elétrica. O amperímetro A mede uma corrente $I = \underline{\hspace{2cm}}$ e o voltmímetro acusa uma voltagem $V = \underline{\hspace{2cm}}$, pois $V = R \cdot I$, e, como a corrente $I = 0$, $V = 0$.

aberta; não passa; 0; 0

- 13 ■ A chave CH é agora fechada. Nesta posição ela (permite; não permite) a passagem de corrente. Como o amperímetro está ligado em (série; paralelo) no circuito, ele (mede; não mede) a mesma corrente que passa pelo resistor R.



permite; série; mede

- 14 ■ Na situação do item 13, o voltmímetro (acusa; não acusa) uma diferença de potencial nos extremos do resistor. O voltmímetro acusa uma voltagem $V = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de R e I).

acusa; $R \cdot I$

- 15 ■ O amperímetro A é ligado em _____ no circuito, pois ele é um instrumento para medir corrente. Por esta razão, ele deve apresentar uma resistência interna (grande; pequena) comparada com a resistência do circuito.

série; pequena

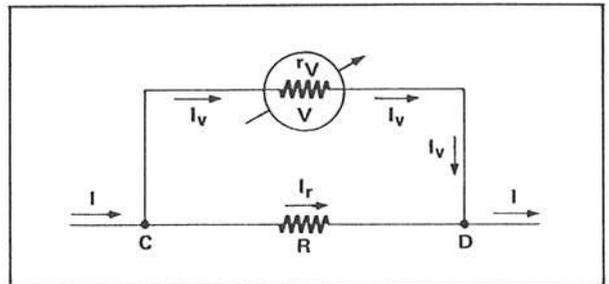
- 16 ■ Se o amperímetro tiver uma resistência interna grande, a sua colocação no circuito (altera; não altera) a corrente no circuito. Um bom amperímetro deve apresentar uma resistência interna (grande; pequena), de modo que a sua inclusão no circuito (influa; não influa) significativamente na corrente do circuito. O amperímetro ideal é aquele que possui uma resistência interna _____.

altera; pequena; não influa; zero

- 17 ■ O voltímetro, assim como o amperímetro, é um sistema eletromecânico, isto é, uma espécie de motor. Portanto, necessita de corrente elétrica para o seu funcionamento. O voltímetro é sempre ligado em _____ ao elemento em cujos extremos se quer medir a diferença de potencial. Ele deve possuir, ao contrário do amperímetro, uma resistência interna muito grande, pois o voltímetro quando ligado no circuito deve retirar uma corrente desprezível do circuito.

paralelo

- 18 ■ Na figura ao lado o voltímetro V está ligado em paralelo ao resistor R. Ele mede a voltagem nos extremos da resistência. A corrente I que chega ao nó C se subdivide em _____ e _____. A corrente I_V passa pelo _____ e a I_R pelo _____. Se a resistência interna do voltímetro é muito grande em relação a R, a corrente I_V deve ser muito (pequena; grande)



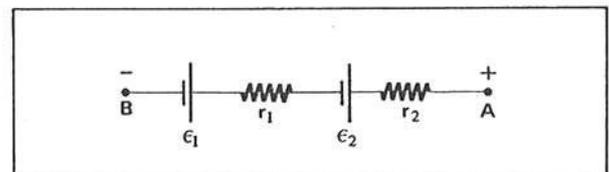
I_V ; I_V ; voltímetro; resistor R; pequena (desprezível)

- 19 ■ No circuito, todos os elementos são ligados entre si por meio de fios. Estes, em geral, possuem resistências elétricas desprezíveis comparadas com outras resistências do circuito. Portanto, os fios utilizados nas ligações possuem, praticamente, resistência $R =$ _____.

0

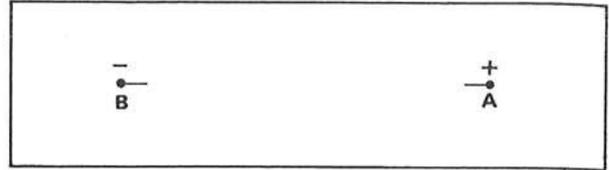
C – ASSOCIAÇÃO DE FONTES DE FEM

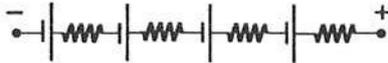
- 1 ■ Em geral, nas lanternas, as pilhas são ligadas uma seguida a outra. O pólo positivo de uma pilha deve estar conectado ao pólo negativo de outra. A figura ao lado ilustra este arranjo. Ela apresenta duas pilhas ligadas ou associadas em _____.



série

2 ■ Esquematize ao lado 4 pilhas associadas em série.





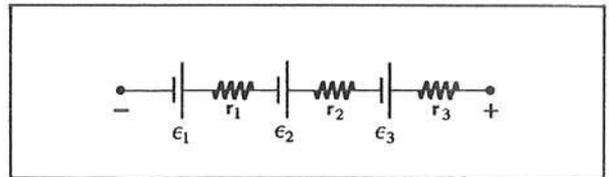
3 ■ No caso do item 1, a FEM resultante da associação é $\epsilon = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}$ e a resistência interna equivalente da associação é $r = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}$.

$\epsilon_1; \epsilon_2; r_1; r_2$

4 ■ Quatro pilhas de FEM 1,5 volts cada uma são ligadas em série. A FEM total da associação é $\epsilon = \underline{\hspace{2cm}}$. Se cada pilha apresentar resistência interna de 0,50 ohms, a resistência interna equivalente será $r = \underline{\hspace{2cm}}$.

6,0 volts; 2,0 ohms

5 ■ Na associação ao lado, determine a FEM total e a resistência interna total da associação:



$\epsilon = \underline{\hspace{2cm}}$.

$r = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3; r_1 + r_2 + r_3$

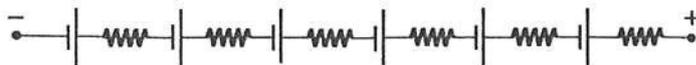
6 ■ Em geral a FEM total da associação de fontes de FEM em série é dada por

$$\epsilon = \underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}} + \dots + \underline{\hspace{1cm}}$$

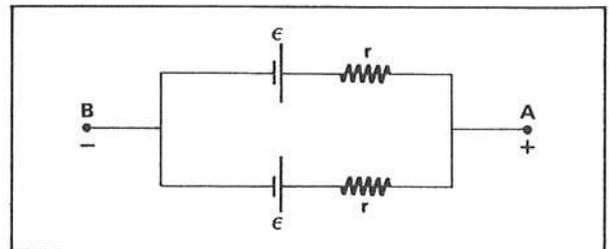
e a resistência interna total da associação por $r = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\epsilon_1; \epsilon_2; \epsilon_3; \epsilon_4; \epsilon_n; r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \dots + r_n$

7 ■ Utilizando-se de pilhas de FEM 1,5 volts cada uma, faça uma associação em série de modo a obter uma FEM de 9,0 volts.



8 ■ As duas pilhas ou fontes de FEM ao lado estão ligadas em (série; paralelo) entre si. A força eletromotriz de cada uma é $\underline{\hspace{2cm}}$. A força eletromotriz resultante da associação é $\underline{\hspace{2cm}}$.



paralelo; $\epsilon; \epsilon$

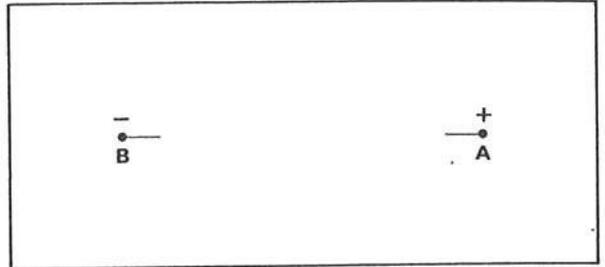
9 ■ Se ligarmos em paralelo três pilhas de 1,5 volts cada uma, a FEM total da associação é _____.

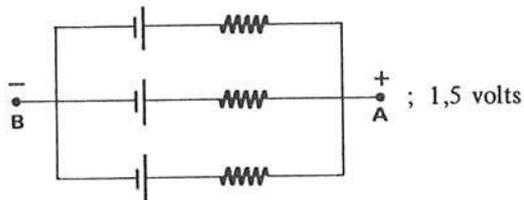
1,5 volts

10 ■ Qual é a FEM total de uma associação de 20 pilhas de 1,5 volts em paralelo? R: _____.

1,5 volts

11 ■ Ligue em paralelo, esquematicamente, três pilhas de 1,5 volts cada uma. A FEM total da associação é _____.





12 ■ Quando ligamos duas ou mais pilhas em paralelo, as suas resistências internas ficam ligadas (em paralelo; em série). Portanto, para saber a resistência equivalente, deve ser feito o cálculo para resistências em _____.

em paralelo; paralelo

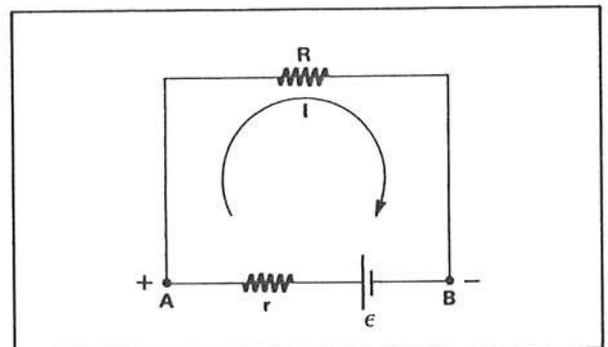
13 ■ Duas pilhas, cada uma com $\epsilon = 1,5$ volts e $r = 1,0$ ohm são ligadas em paralelo. A FEM total da associação é _____ e a resistência interna equivalente da associação é $r =$ _____.

1,5 volts; 0,5 ohms

D – EQUAÇÃO DO CIRCUITO

VOLTAGEM NOS TERMINAIS DE UMA FONTE DE FEM

1 ■ O esquema ao lado representa um circuito elétrico. A e B representam os terminais de uma fonte de FEM igual a _____ e resistência interna _____. Aos terminais desta fonte está ligada uma resistência total externa R. A corrente que circula no circuito é _____.



ϵ ; r ; I

2 ■ No circuito acima, R representa uma resistência externa total, isto é, a resistência equivalente de uma associação ligada externamente à fonte de FEM entre A e B. Se entre A e B estivessem ligadas em série duas resistências de 8 e 10 ohms, então R seria igual a _____ ohms.

18

3 ■ Na seção 7 vimos que, quando uma fonte fornece uma corrente I, a potência fornecida pela fonte é dada por $P_{\text{fom.}} = \text{_____}$ (em termos de ϵ e I).

$\epsilon \cdot I$

4 ■ Vimos também que, se por uma resistência R flui uma corrente I, a potência dissipada é dada por $P_R = \text{_____}$. A resistência interna (dissipa; não dissipa) potência enquanto, pela bateria, passa uma corrente I. Portanto, na resistência interna da fonte, $P_r = \text{_____}$.

$R \cdot I^2$; dissipa; $r \cdot I^2$

5 ■ No circuito do item 1, a potência total dissipada (é; não é) igual à soma das potências dissipadas na resistência interna e na resistência externa total. Portanto, $P_{\text{diss.}} = \text{_____} + \text{_____}$.

é; $R \cdot I^2$; $r \cdot I^2$

6 ■ Pela Lei da Conservação de Energia ou Potência, a potência total fornecida (é; não é) igual à potência total dissipada. Então, teremos: $\epsilon \cdot I = \text{_____} + \text{_____}$.

é; $R \cdot I^2$; $r \cdot I^2$

7 ■ $\epsilon \cdot I = R \cdot I^2 + r \cdot I^2$. Esta equação diz que a _____ pela fonte de FEM _____ e que mantém uma corrente I é igual à soma das _____ na resistência _____ e na resistência _____.

potência fornecida; ϵ ; potências dissipadas; externa R; interna r

8 ■ Podemos simplificar a expressão acima dividindo todos os membros da equação por I. A expressão simplificada é então: _____ = _____ + _____.

ϵ ; $R \cdot I$; $r \cdot I$

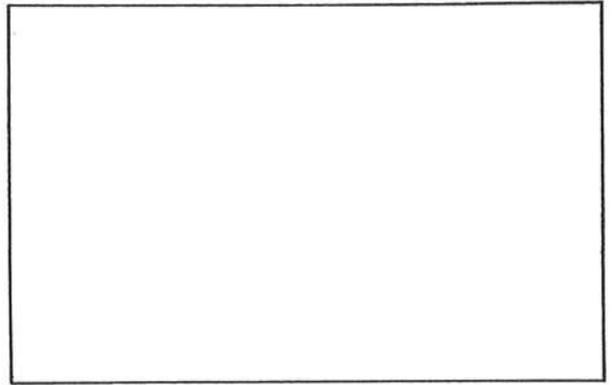
9 ■ $\epsilon = R \cdot I + r \cdot I$. Esta equação representa a equação do circuito. Ela relaciona a força eletromotriz _____ da fonte com as resistências externa R e interna r e com a corrente I que flui no circuito. A resistência externa R representa a resistência _____ ligada entre A e B. I (é; não é) a corrente total do circuito.

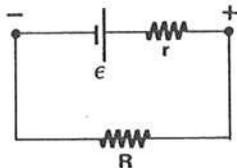
ϵ ; equivalente; é

10 ■ A partir da equação do circuito podemos determinar a corrente total I do circuito. $I = \text{_____}$ (em função de ϵ , R e r).

$\frac{\epsilon}{R + r}$

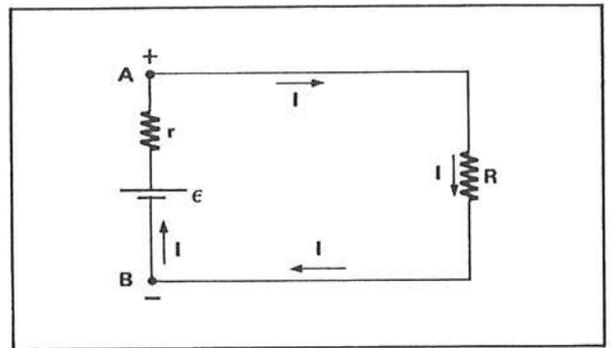
- 11 ■ Uma pilha de FEM 1,5 volts possui resistência interna de 0,20 ohms e está ligada a uma resistência externa de 1,30 ohms. Esquematize ao lado o circuito mencionado e calcule a corrente total do circuito.





$$; I = \frac{\epsilon}{R + r} = \frac{1,50}{1,30 + 0,20} = 1,0 \text{ A}$$

- 12 ■ Vejamos qual é a diferença de potencial ou a voltagem nos terminais de uma fonte de FEM quando percorrida por uma corrente I. Considere o circuito simples ao lado. A resistência externa R está ligada entre os terminais _____ e _____. A corrente que flui por R e pela fonte é _____.



A; B; I

- 13 ■ No circuito acima, a diferença de potencial entre A e B (é; não é) igual à voltagem nos extremos da resistência R. Portanto, $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

é; $R \cdot I$

- 14 ■ A equação do circuito é _____. Portanto, $R \cdot I = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\epsilon = R \cdot I + r \cdot I$; $\epsilon - r \cdot I$

- 15 ■ Mas $R \cdot I = V_{AB}$, isto é, a voltagem entre os terminais A e B da fonte. Logo, a diferença de potencial nos terminais da fonte, quando percorrida por uma corrente I, é $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\epsilon - r \cdot I$

- 16 ■ O termo $r \cdot I$ (é; não é) a voltagem ou a queda de tensão ou a diferença de potencial na resistência interna da fonte. Portanto, nos extremos da fonte, quando percorrida por uma corrente I, a diferença de potencial é igual à força eletromotriz ϵ (mais; menos) a queda de tensão na resistência interna.

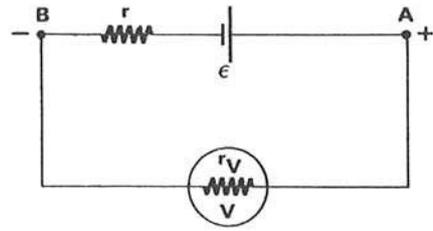
é; menos

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1.

Nos terminais de uma pilha de 1,5 volts e de resistência interna 1,0 ohm é ligado um voltímetro de resistência interna igual a 6 000 ohms. Determinar:

- a) a corrente que passa pelo voltímetro.
- b) a voltagem nos terminais A e B.



1 ■ Pelo circuito irá circular uma corrente total I . Esta (passa; não passa) pelo voltímetro. A equação do circuito é, para este caso, $\epsilon = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}$.

passa, $r \cdot I$; $r_V \cdot I$

2 ■ Portanto, $I = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de r ; r_V ; ϵ).

$$\frac{\epsilon}{r + r_V}$$

3 ■ Logo, $I = \underline{\hspace{2cm}}$ A ou $I = \underline{\hspace{2cm}}$ mA (miliampères).

$$\cong 0,25 \times 10^{-3}; 0,25$$

4 ■ A voltagem nos terminais A e B é dada por $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de ϵ , r e I) ou $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de r_V e I).

$$\epsilon - r \cdot I; r_V \cdot I$$

5 ■ Logo, $V_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$ volts.

$$\cong 1,5$$

6 ■ O voltímetro, devido ao fato de possuir resistência interna (pequena; grande) deixa passar corrente de intensidade (pequena; grande) e quando ligado aos terminais de uma fonte de FEM ele mede uma voltagem V_{AB} praticamente (igual a; maior que; menor que) ϵ .

grande; pequena; igual a

PROBLEMA 2

Se o voltímetro do problema 1 tivesse uma resistência interna de 50 000 Ω , qual seria a corrente I e a voltagem que acusaria?

1 ■ A corrente é $I =$ _____ (equação do circuito).

$$\frac{\epsilon}{r + r_V}$$

2 ■ Logo, $I =$ _____ A ou $I =$ _____ mA.

$$\cong 0,03 \times 10^{-3}; 0,03$$

3 ■ Portanto, a corrente que sai do terminal positivo A é $I =$ _____ e pela Lei de Ohm o voltímetro irá acusar $V_{AB} = r_V \cdot I =$ _____.

$$0,03 \times 10^{-3} \text{ A}; \cong 1,5 \text{ volts}$$

PROBLEMA 3

Se o voltímetro do problema 1 fosse ideal, isto é, tivesse uma resistência interna infinita, qual seria a corrente e que valor de voltagem ele acusaria?

1 ■ O voltímetro ideal (deixa; não deixa) passar corrente por seu interior, pois a sua resistência interna é _____.

não deixa; infinita

2 ■ Portanto, $I = \frac{\epsilon}{r + r_V}$, com $r_V \rightarrow \infty$; então, $I =$ _____.

zero

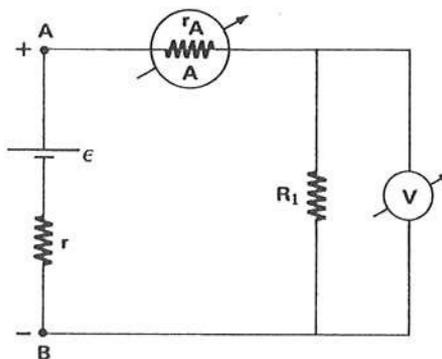
3 ■ A voltagem que ele acusa é $V_{AB} = \epsilon - r \cdot I$; como $I =$ _____, $V_{AB} =$ _____.

zero; $\epsilon = 1,5 \text{ volts}$

PROBLEMA 4

No circuito ao lado o amperímetro possui resistência interna $r_A = 80,0 \Omega$ e o voltímetro é ideal. A FEM é $\epsilon = 3,00 \text{ volts}$ e a resistência interna da fonte é $r = 2,00 \text{ ohms}$. Se $R_1 = 118 \Omega$, determine:

- a corrente que o amperímetro acusa.
- a leitura no voltímetro.
- a diferença de potencial V_{AB} .
- a voltagem nos extremos do amperímetro.



- 1 ■ A corrente total I que sai do terminal _____ e chega no terminal _____ (passa; não passa) pelo amperímetro. Pelo voltímetro a corrente é _____, pois trata-se de um voltímetro ideal.
 ★★★★★★★★★★
 A; B; passa; 0
- 2 ■ Devido ao fato do voltímetro ser ideal, ele não influi na corrente do circuito. A resistência total externa (é; não é) a resistência equivalente entre r_A e R_1 . Como elas estão ligadas em (paralelo; série), $R =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 é; série; $R_1 + r_A = 198$ ohms
- 3 ■ A resistência interna da fonte é $r =$ _____ ohms. Portanto, a corrente I medida no amperímetro é $I =$ _____ A (pela equação do circuito).
 ★★★★★★★★★★
 2,0; 15×10^{-3}
- 4 ■ A corrente que passa pela resistência R_1 é $I =$ _____. Portanto, de acordo com a Lei de Ohm, a voltagem nos extremos da resistência é $V_{R_1} =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 $1,50 \times 10^{-2}$ A; 1,77 volts
- 5 ■ O voltímetro (mede; não mede), no circuito acima, a voltagem na resistência, pois ele está ligado aos seus terminais. Portanto, a leitura no voltímetro é $V =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 mede; 1,77 volts
- 6 ■ Nos extremos da fonte, a diferença de potencial é dada por $V_{AB} =$ _____ - _____ e vale: _____.
 ★★★★★★★★★★
 ϵ ; $r \cdot I$; 2,97 volts
- 7 ■ A resistência interna do amperímetro é $r_A =$ _____. Por ela passa uma corrente $I =$ _____. Pela Lei de Ohm, a voltagem é $V_A =$ _____.
 ★★★★★★★★★★
 80,0 Ω ; $1,50 \times 10^{-2}$ A; 1,20 volts
- 8 ■ Portanto, nos extremos do amperímetro a voltagem é: _____.
 ★★★★★★★★★★
 1,20 volts
- 9 ■ A queda de tensão na resistência interna da fonte é $V_r =$ _____. Podemos verificar que a soma $V_{R_1} + V_A + V_r =$ _____ e (é; não é) igual a ϵ .
 ★★★★★★★★★★
 0,03 volts; 3,00 volts; é

PROBLEMA 5

Se no circuito esquematizado no problema 4 o amperímetro fosse ideal, isto é, com resistência $r_A = 0$, qual seria:

- a) a leitura no amperímetro e no voltímetro?
- b) a voltagem nos extremos do amperímetro?
- c) a voltagem nos extremos da resistência e da fonte?

1 ■ Como o amperímetro e o voltímetro são _____, eles (influem; não influem) na corrente do circuito.

ideais; não influem

2 ■ A resistência externa total é então somente _____ e vale _____.

R_1 ; 118 ohms

3 ■ A corrente total do circuito, pela aplicação da equação do circuito, é $I =$ _____.

$0,025 \text{ A} = 25 \times 10^{-3} \text{ A} = 25 \text{ mA}$

4 ■ Portanto, no amperímetro, a leitura será $I =$ _____ e no voltímetro a leitura será $V =$ _____ (voltagem na resistência).

25 mA; 2,95 volts

5 ■ A voltagem nos extremos do amperímetro é dada por $V_A = r_A \cdot I$; como $r_A =$ _____, $V_A =$ _____.

0; 0

6 ■ Nos extremos da fonte, $V_{AB} =$ _____ e vale _____.

$\mathcal{E} - r \cdot I$; 2,95 volts

7 ■ Na resistência externa R_1 , a voltagem é $V_{R_1} =$ _____ e (é; não é) igual a V_{AB} , pois $V_A = 0$.

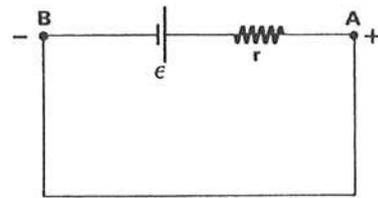
2,95 volts; é

8 ■ Na resistência interna, a queda de tensão ou voltagem será $V_r =$ _____.

0,05 volts

PROBLEMA 6

A fonte de FEM $\epsilon = 3,0$ volts e resistência interna $r = 2,0 \Omega$ é ligada a um fio condutor sem resistência elétrica. Nesta situação dizemos que os pontos A e B estão em curto-circuito. Determine:



- a) a corrente de curto-circuito fornecida pela fonte.
- b) a voltagem entre A e B.
- c) a queda de tensão ou voltagem na resistência interna.

1 ■ Os terminais A e B estão em curto-circuito porque eles estão ligados entre si por um condutor de resistência igual a _____.

zero

2 ■ Portanto, a resistência externa é $R = ______ \Omega$, pela Lei de Ohm, entre os pontos A e B a diferença de potencial é $V_{AB} = R \cdot I$; mas, como $R = 0$, então $V_{AB} = ______ \text{ V}$.

0; 0

3 ■ Pela equação do circuito, a corrente que sai do terminal A e, passando pelo fio condutor sem resistência, chega até B é $I = ______ \text{ A}$.

$$\frac{3,0}{2,0 + 0} = 1,5 \text{ A}$$

4 ■ Portanto, a corrente de curto-circuito é $I = ______ \text{ A}$.

1,5 A

5 ■ A queda de tensão na resistência interna da fonte é $V_r = ______ \text{ V}$.

$$r \cdot I = 3,0 \text{ volts}$$

6 ■ Já vimos que a diferença de potencial nos terminais A e B de uma fonte de FEM é dada por $V_{AB} = \epsilon - r \cdot I$. Como $r \cdot I = 3,0$ volts e $\epsilon = 3,0$ volts, então $V_{AB} = ______ \text{ V}$. Isto significa que toda a FEM é utilizada na resistência interna e desta forma, quando curto-circuitada, a fonte (fornece; não fornece) diferença de potencial ao circuito externo.

0; não fornece

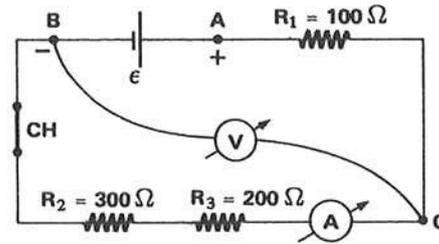
7 ■ Se um voltímetro ideal fosse ligado aos terminais A e B da fonte em curto-circuito, ele acusaria uma voltagem $V = ______ \text{ V}$.

0

PROBLEMA 7

No circuito ao lado temos uma fonte de FEM $\epsilon = 12$ volts e de resistência interna nula, em série com 3 resistores e um amperímetro. Se o amperímetro e o voltímetro forem ideais, determinar:

- a) a corrente medida pelo amperímetro.
- b) a voltagem medida pelo voltímetro.



- 1 ■ Externamente à fonte estão ligadas três resistências em (série; paralelo). Portanto, a corrente medida pelo amperímetro (é; não é) a total fornecida pela fonte.

série; é

- 2 ■ A resistência externa total é $R = \underline{\hspace{2cm}}$, pois $r_A = 0$.

 $R_1 + R_2 + R_3 = 600 \Omega$

- 3 ■ Pela equação do circuito $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

 $0,020 \text{ A} = 20 \text{ mA}$

- 4 ■ Logo, o amperímetro irá medir uma corrente de $\underline{\hspace{2cm}}$.

20 mA

- 5 ■ O voltímetro está ligado entre os pontos $\underline{\hspace{1cm}}$ e $\underline{\hspace{1cm}}$. Entre estes pontos estão ligados em (série; paralelo) as resistências $\underline{\hspace{1cm}}$ e $\underline{\hspace{1cm}}$ e o $\underline{\hspace{1cm}}$. Portanto, o voltímetro irá medir a diferença de potencial nos terminais desta associação, cuja resistência equivalente é $R_{eq} = \underline{\hspace{2cm}}$, pois $r_A = 0$.

B; C; série; R_2 ; R_3 ; amperímetro; $R_2 + R_3 = 500 \Omega$

- 6 ■ Pela Lei de Ohm, a voltagem nesta associação é $V_{BC} = \underline{\hspace{2cm}}$.

 $R_{eq} \cdot I = 500 \times 20 \times 10^{-3} = 10 \text{ volts}$

- 7 ■ Portanto, o voltímetro medirá uma voltagem igual a $\underline{\hspace{2cm}}$.

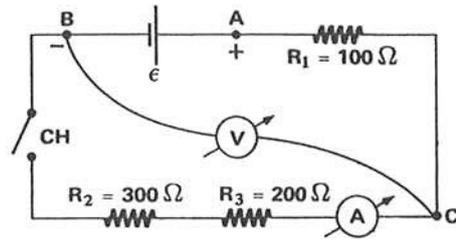
10 volts

- 8 ■ Um outro voltímetro entre C e A medirá uma voltagem $V_{CA} = \underline{\hspace{2cm}}$.

 $R_1 \cdot I = 2,0 \text{ volts}$

PROBLEMA 8

O circuito ao lado é o mesmo do problema 7. A chave CH agora está aberta. Determine:
 a) a leitura no amperímetro.
 b) a leitura no voltímetro.



- 1 ■ Como a chave CH está aberta, (circula; não circula) corrente pelo ramo BC passando pelas resistências R_2 e R_3 e o amperímetro. Portanto, o amperímetro irá acusar uma corrente $I = \underline{\hspace{2cm}}$.
 ★★★★★★★★★★
 não circula; 0

- 2 ■ A única possibilidade de circulação de corrente é sair de A passando por R_1 , atingir o nó C, passar pelo voltímetro e atingir o terminal negativo B. Mas, como o voltímetro é ideal, ele (deixa; não deixa) passar corrente, pois a sua resistência interna é $\underline{\hspace{2cm}}$.
 ★★★★★★★★★★
 não deixa; infinita

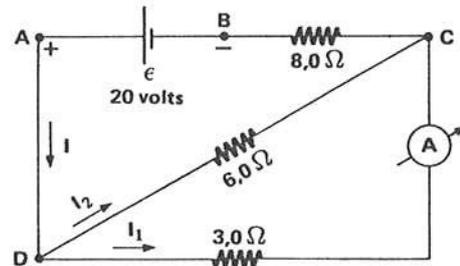
- 3 ■ Logo, a corrente que sai de A é $I = \underline{\hspace{2cm}}$. Então, a voltagem em R_1 , pela Lei de Ohm, é $V_{R_1} = \underline{\hspace{2cm}}$.
 ★★★★★★★★★★
 0; $R_1 \cdot I = 0$

- 4 ■ Portanto, como $V_{CB} + V_{R_1} = \epsilon$, temos que $V_{CB} = \underline{\hspace{2cm}}$ volts.
 ★★★★★★★★★★
 12

- 5 ■ Logo, o voltímetro irá acusar uma voltagem igual à FEM e vale $\underline{\hspace{2cm}}$, pois, como não sai corrente da fonte, a queda de tensão na resistência R_1 é $\underline{\hspace{2cm}}$. Portanto, a situação se assemelha àquela de um voltímetro ideal ligado às extremidades da fonte, diretamente.
 ★★★★★★★★★★
 12 volts; 0

PROBLEMA 9

No circuito ao lado as resistências internas da fonte de FEM e do amperímetro são iguais a zero. Determinar:
 a) a leitura do amperímetro.
 b) a potência dissipada em $R = 6 \Omega$.

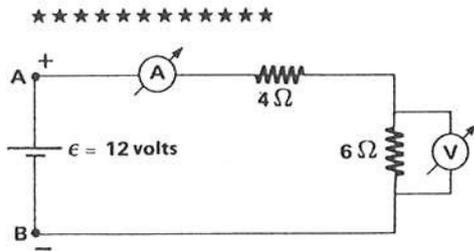
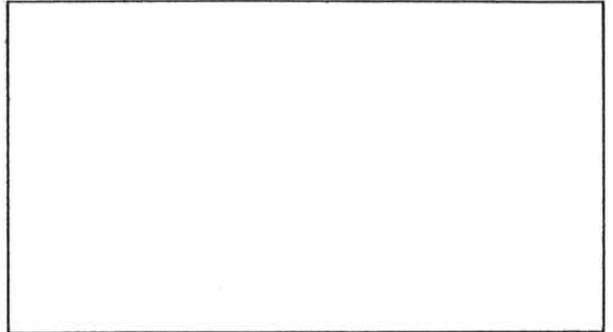


- 1 ■ Nos terminais A e B da fonte estão ligadas resistências cuja associação é (em paralelo; em série; mista). A corrente I que sai do terminal A e atinge o nó D se subdivide em _____ e _____. A corrente que o amperímetro mede é (I; I₁; I₂).
- *****
- mista; I₂; I₁; I₁
- 2 ■ Para determinarmos a corrente I₁, devemos antes determinar a voltagem entre os pontos _____ e _____, a fim de podermos aplicar a Lei de Ohm. Para determinarmos a voltagem entre D e C, necessitamos antes conhecer a corrente total I e para tal devemos calcular a resistência equivalente da associação.
- *****
- D; C
- 3 ■ Entre D e C estão ligadas as resistências de 6 Ω e 3 Ω, que estão em (série; paralelo). Portanto, a resistência equivalente entre D e C é R'_{eq} = _____.
- *****
- paralelo; 2,0 ohms
- 4 ■ A resistência equivalente entre D e C (está; não está) em série com a resistência de 8 ohms. Portanto, a resistência externa total é R = _____.
- *****
- está; 10 ohms
- 5 ■ Pela equação do circuito, I = _____ e a diferença de potencial V_{DC} = R'_{eq} · I = _____.
- *****
- 2,0 A; 4,0 volts
- 6 ■ Portanto, aplicando a Lei de Ohm entre D e C, I₁ = _____ .
- *****
- $$\frac{V_{DC}}{3} = \frac{4,0}{3,0} = \frac{4}{3} \text{ A}$$
- 7 ■ O amperímetro irá então medir uma corrente igual a _____ .
- *****
- $\frac{4}{3}$ ampères
- 8 ■ A potência dissipada na resistência de 6,0 ohms é dada por P = _____ .
- *****
- $$R \cdot I_1^2 \left(\text{ou } \frac{V_{DC}^2}{R} \right)$$
- 9 ■ Como V_{DC} = _____ e R = _____ , P = _____ .
- *****
- 4 volts; 6 Ω; $\frac{8}{3}$ watts

PROBLEMA 10

Dois resistores de 6Ω e 4Ω são ligados em série com uma bateria ideal de 12 volts e um amperímetro ideal, isto é, com resistências internas iguais a zero. Se um voltímetro ideal for ligado aos extremos do resistor de 6 ohms que voltagem acusaria?

- 1 ■ Em primeiro lugar você deverá fazer um esquema do circuito. Esquematize-o ao lado. Coloque todos os dados fornecidos.



- 2 ■ Para determinarmos a voltagem na resistência de 6 ohms, precisamos conhecer a corrente que passa por ela. Pela equação do circuito, $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

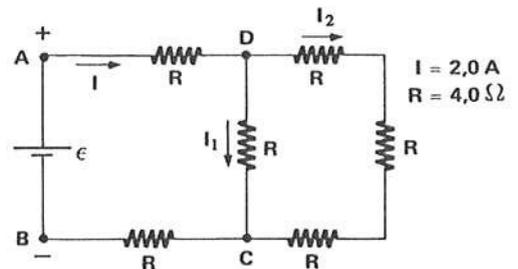
$$\frac{12}{10} = 1,2 \text{ A}$$

- 3 ■ Portanto, pela Lei de Ohm, $V_6 = \underline{\hspace{2cm}}$. Logo, o voltímetro irá acusar uma voltagem de 7,2 volts.

7,2 volts

PROBLEMA 11

No circuito esquematizado ao lado determine a FEM da fonte de resistência interna nula e a corrente I_1 .



1 ■ Nós conhecemos os valores de todas as resistências e a corrente total do circuito. Portanto, (podemos; não podemos) determinar a resistência equivalente do circuito. Se determinarmos a resistência total, pela aplicação da equação do circuito (podemos; não podemos) determinar a FEM ϵ da fonte.

podemos; podemos

2 ■ Portanto, a resistência equivalente é $R_{eq} =$ _____ .

11 ohms

3 ■ A equação do circuito é $\epsilon = R \cdot I + r \cdot I$. Como $r = 0$, então $\epsilon =$ _____ .

22 volts

4 ■ Ao atingir o nó D a corrente I se subdivide em I_1 , que passa pela resistência central, e em I_2 , que passa pelas 3 resistências em série entre D e C. Para se determinar a corrente I_1 , devemos determinar antes a diferença de potencial entre D e C. Pela Lei de Ohm, a voltagem entre D e C é $V_{DC} =$ _____ .

$R'_{eq} \cdot I$ (onde R'_{eq} é a resistência equivalente entre D e C)

5 ■ $R'_{eq} =$ _____ .

$$\frac{3R}{4} = 3 \text{ ohms}$$

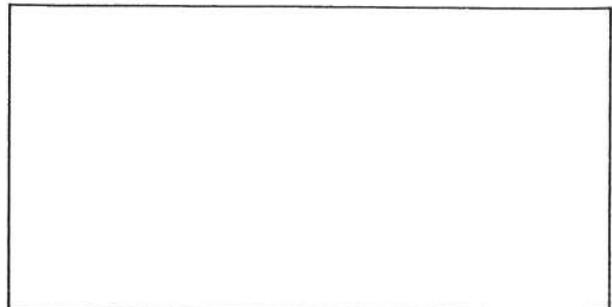
6 ■ Portanto, $V_{DC} =$ _____ e $I_1 =$ _____ .

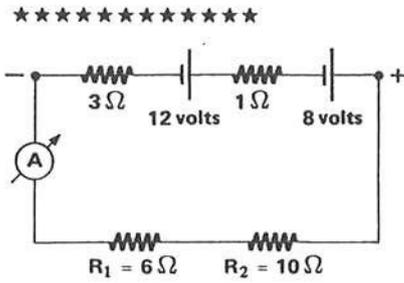
$$3 \times 2,0 = 6,0 \text{ volts; } \frac{V_{DC}}{R} = 1,5 \text{ A}$$

PROBLEMA 12

Duas fontes de 12 e 8 volts cada uma e com resistências internas iguais a 3 e 1 ohms respectivamente são ligadas em série. Nos terminais da associação são ligadas duas resistências e um amperímetro ideal em série. Se as resistências são de 10 e 6 ohms respectivamente, determinar a corrente indicada pelo amperímetro.

1 ■ Esquematize o circuito no espaço ao lado e coloque todos os valores dados.





- 2 ■ As duas fontes estão associadas em série. Portanto, nos extremos da associação, $\epsilon =$ _____ .
As resistências internas das fontes (estão; não estão) em série. Logo, a resistência interna da associação é $r =$ _____ .

20 volts; estão; 4 ohms

- 3 ■ Nos extremos da associação, as duas resistências estão ligadas em _____ e, como $r_A = 0$, então, $R =$ _____ .

série; $R_1 + R_2 = 16$ ohms

- 4 ■ Pela equação do circuito, $I =$ _____ .

1,0 A

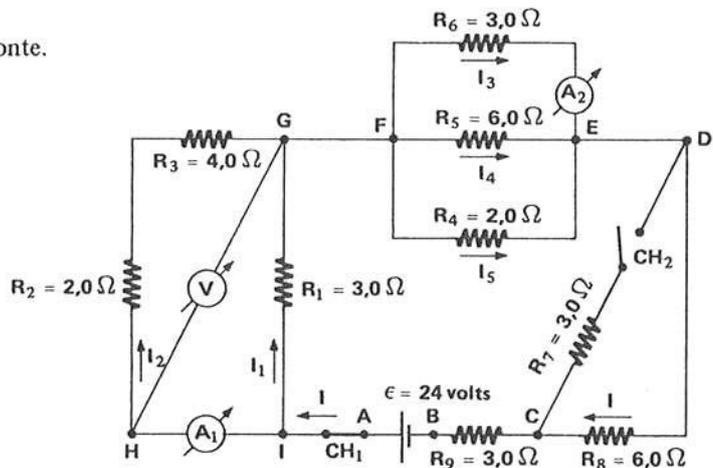
- 5 ■ Portanto, o amperímetro medirá uma corrente $I =$ _____ A.

1,0

PROBLEMA 13

No circuito esquematizado abaixo os amperímetros e o voltímetro são ideais. A fonte de FEM não possui resistência interna. Determine:

- a corrente que sai do terminal da fonte.
- a leitura em A_1 e em A_2 .
- a voltagem medida em V.



1 ■ No circuito, a CH 1 está _____ e a CH 2 está _____. Portanto, a resistência R_7 (está; não está) fora do circuito, pois por ela (passa; não passa) corrente elétrica.

fechada; aberta; está; não passa

2 ■ Para se determinar a corrente total I , (devemos; não devemos) calcular a resistência externa total ligada aos extremos da fonte. Os instrumentos de medidas incluídos no circuito (são; não são) ideais e assim sendo (influem; não influem) na corrente do circuito.

devemos; são; não influem

3 ■ No ramo HG a resistência equivalente é $R_{HG} =$ _____ e está em (série; paralelo) com a resistência R_1 ligada entre IG. O voltímetro e amperímetro, por serem ideais, (são; não são) considerados. Portanto, entre IG a resistência final equivalente é $R_{IG} =$ _____.

$R_2 + R_3 = 6 \Omega$; paralelo; não são; 2Ω

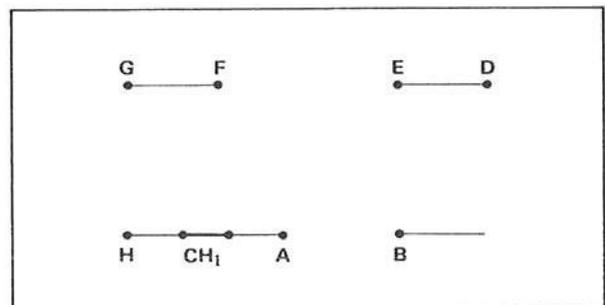
4 ■ Entre os nós F e E as resistências estão ligadas em _____. A resistência equivalente entre estes nós é $R_{FE} =$ _____.

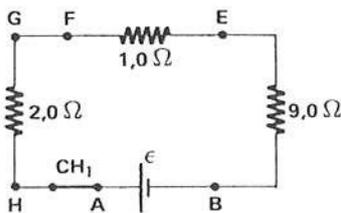
paralelo; $1,0 \Omega$

5 ■ Entre os pontos D e B as resistências R_8 e R_9 estão em _____. Então, a resistência equivalente é $R_{DB} =$ _____. A resistência R_7 não entra no cálculo porque ela (está; não está) fora do circuito.

série; $9,0 \Omega$; está

6 ■ Portanto, o circuito original e sem os medidores é simplificado para: (completar o esquema ao lado).





7 ■ A resistência externa total é então a equivalente das resistências entre HG, FE e DB. Portanto, $R =$ _____.

12 ohms

8 ■ Pela equação do circuito, $I =$ _____.

2,0 A

9 ■ Portanto, a corrente que a fonte fornece ao circuito é $I = \underline{\hspace{2cm}}$.

2,0 A

10 ■ Voltemos ao circuito original. A corrente $I = 2,0$ A sai do terminal positivo da fonte e atinge o nó I. Neste nó ela se subdivide em I_1 , que passa por R_1 , e em I_2 , que passa pelo ramo que contém R_2 e R_3 . O amperímetro A_1 medirá então a corrente (I_1 ; I_2).

I_2

11 ■ No nó I a corrente $I = \underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}}$; portanto, $I_2 = I - \underline{\hspace{1cm}}$. Logo, para determinarmos I_2 necessitamos determinar antes o valor de $\underline{\hspace{1cm}}$. Pela Lei de Ohm, $I_1 = \underline{\hspace{2cm}}$; portanto, (devemos; não devemos) determinar o valor da voltagem entre I e G para calcularmos I_1 .

I_1 ; I_2 ; I_1 ; I_1 ; $\frac{V_{IG}}{R_1}$; devemos

12 ■ A resistência equivalente entre I e G é $R_{IG} = \underline{\hspace{2cm}}$ (calculada no item 3). Portanto, $V_{IG} = \underline{\hspace{2cm}}$.

2,0 Ω ; 4,0 volts

13 ■ Então, como $I_1 = \frac{V_{IG}}{R_1} = \underline{\hspace{2cm}}$, $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\frac{4}{3}$ A; $I - I_1 = \frac{2}{3}$ A

14 ■ Portanto, o amperímetro A_1 medirá uma corrente de $\underline{\hspace{2cm}}$.

$\frac{2}{3}$ A

15 ■ A corrente I que sai do nó G e atinge F se subdivide neste nó em I_3 , I_4 e I_5 , conforme mostra o esquema. O amperímetro A_2 medirá a intensidade da corrente $\underline{\hspace{2cm}}$.

I_3

16 ■ Pela Lei de Ohm, entre os nós F e E e relativamente à resistência R_6 , teremos $I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função da voltagem entre os nós e a resistência).

$\frac{V_{FE}}{R_6}$

17 ■ Devemos então determinar, para calcular I_3 , o valor da diferença de potencial entre os nós F e E. A resistência equivalente entre FE é $R_{FE} = \underline{\hspace{2cm}}$ (calculada no item 4) e a corrente total que passa por ela é $I = \underline{\hspace{2cm}}$. Logo, pela Lei de Ohm, $V_{FE} = \underline{\hspace{2cm}}$.

1,0 Ω ; 2,0 A; 2,0 volts

18 ■ Portanto, $I_3 =$ _____. O amperímetro A_2 medirá _____ ampères de corrente.

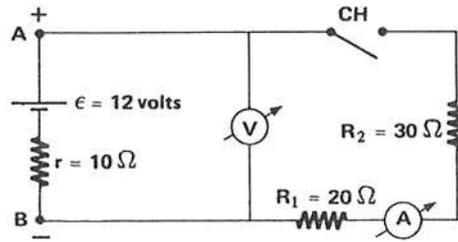
$\frac{2}{3}$ A; $\frac{2}{3}$

19 ■ O voltímetro está ligado entre os pontos _____ e _____. Como o amperímetro é ideal, isto é, $r_A =$ _____, então a diferença de potencial entre H e G (é; não é) igual à diferença de potencial entre os pontos I e G. Portanto, o voltímetro irá medir uma voltagem $V =$ _____.

H; G; 0; é; 4,0 volts

PROBLEMA 14

No circuito ao lado os instrumentos são ideais. Com a chave CH aberta, determine as leituras em cada instrumento de medida.



1 ■ O voltímetro (é; não é) ideal e portanto possui resistência interna _____; desta forma, ele (deixa; não deixa) passar corrente elétrica por seu interior.

é; infinita; não deixa

2 ■ A chave CH está aberta e portanto (deixa; não deixa) fluir corrente pelo circuito das resistências R_1 e R_2 . Logo, o amperímetro irá acusar uma corrente $I =$ _____ A.

não deixa; 0

3 ■ Portanto, pelo terminal A da fonte (sai; não sai) corrente elétrica. Logo, o voltímetro V irá medir $V_{AB} =$ _____ (em função de ϵ , r e I). Como $I = 0$, $V_{AB} =$ _____.

não sai; $\epsilon - r \cdot I$; $\epsilon = 12$ volts

4 ■ Então, o voltímetro medirá $V =$ _____ e o amperímetro $I =$ _____.

12 volts; 0 ampères

PROBLEMA 15

No circuito do problema 14 qual é a leitura de cada instrumento se a chave CH estivesse fechada? Nestas condições, dizemos que o circuito está fechado.

- 1 ■ Como a chave está fechada, (circulará; não circulará) corrente pelos resistores. O amperímetro A irá medir a corrente total I e o voltímetro V a diferença de potencial entre _____ .

circulará; os pontos A e B

- 2 ■ A resistência externa total do circuito será $R =$ _____ , pois o amperímetro, como é ideal, possui resistência interna $r_A = 0$.

$R_1 + R_2 = 50 \Omega$

- 3 ■ Logo, a resistência interna da fonte é $r =$ _____ , a resistência total é $R =$ _____ e a FEM é $\epsilon =$ _____ . Pela equação do circuito, a corrente é $I =$ _____ ampères.

10Ω ; 50Ω ; 12 volts; 0,20

- 4 ■ O voltímetro V está ligado em paralelo com a fonte e também em paralelo com a associação $R_1 + R_2$. Portanto, ele medirá a voltagem nos extremos da associação. Logo, $V =$ _____ (Lei de Ohm).

$R \cdot I = 10$ volts

- 5 ■ O voltímetro mede também a diferença de potencial entre os terminais A e B da fonte. Vimos que entre os terminais A e B da fonte, $V_{AB} =$ _____ (em termos de ϵ e r e I). Logo, $V_{AB} =$ _____ .

$\epsilon - r \cdot I$; 10 volts

- 6 ■ Portanto, quando o circuito está fechado, o amperímetro mede uma corrente $I =$ _____ e o voltímetro, $V =$ _____ .

0,20 A; 10 volts

- 7 ■ Comparando as respostas do problema 15 com as do problema 14, podemos dizer que quando a corrente que sai da fonte é zero o voltímetro mede uma diferença de potencial igual a _____ . Se circula corrente pela fonte, a diferença de potencial medida pelo voltímetro é (maior; menor) que a FEM ϵ . Isto acontece porque quando está passando corrente pela fonte (existe; não existe) uma queda de tensão na resistência interna.

FEM ϵ ; menor; existe

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

- 1 ■ Quando uma corrente é contínua ou direta?
- 2 ■ O que representa o símbolo DC?
- 3 ■ O que é uma corrente alternada? O que significa AC?

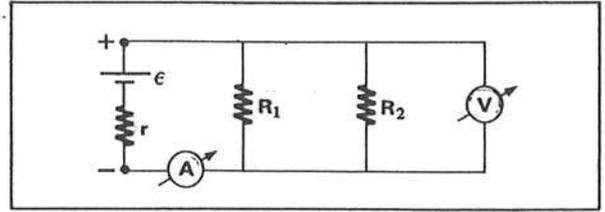
- 4 ■ Uma pilha fornece corrente DC ou AC?
- 5 ■ A rede de eletricidade caseira fornece corrente DC ou AC?
- 6 ■ Para que serve o amperímetro? E o voltímetro? Como eles são ligados em um circuito elétrico?
- 7 ■ Como é esquematizada uma fonte de FEM? E um amperímetro? E um voltímetro? E uma resistência elétrica?
- 8 ■ O que se quer dizer com resistência interna?
- 9 ■ Por que um bom amperímetro deve possuir uma resistência interna pequena?
- 10 ■ Um bom voltímetro deve possuir uma resistência interna grande ou pequena? Por quê?
- 11 ■ 10 pilhas de 1,5 volts associadas em série podem fornecer quantos volts em seus terminais?
- 12 ■ E se as 10 pilhas acima fossem associadas em paralelo?
- 13 ■ Explique como você associa pilhas em série e em paralelo?
- 14 ■ Numa associação de fontes de FEM em série, a resistência interna equivalente aumenta ou diminui? E numa associação em paralelo?
- 15 ■ Se uma fonte fornece uma corrente I , qual é a potência fornecida pela força eletromotriz?
- 16 ■ Se a resistência interna de uma fonte é r , qual é a potência dissipada internamente de uma pilha?
- 17 ■ Qual é a equação que relaciona a potência fornecida pela fonte de força eletromotriz e a potência dissipada nas resistências interna e externa?
- 18 ■ Qual é a equação do circuito? Identifique cada elemento desta equação.
- 19 ■ Qual é a expressão da diferença de potencial nos terminais de uma fonte de FEM? Por que, quando a fonte possui resistência interna, esta diferença de potencial é menor que a força eletromotriz da fonte?
- 20 ■ O que é um voltímetro ideal? E um amperímetro ideal?
- 21 ■ Um voltímetro deixa passar pouca corrente? Por quê?
- 22 ■ Quando um voltímetro é ligado aos terminais de uma pilha de FEM, qual é o valor que ele mede, praticamente?
- 23 ■ Se os terminais de uma fonte de FEM DC for curto-circuitada, qual é a diferença de potencial entre os terminais? Explique.
- 24 ■ Como se faz um curto-circuito entre dois pontos A e B?
- 25 ■ Uma fonte de FEM e resistência interna r é capaz de fornecer que corrente máxima? E isto acontece quando curto-circuitada ou quando ligada a uma resistência externa R ?

Após isso, você deve estar apto para:

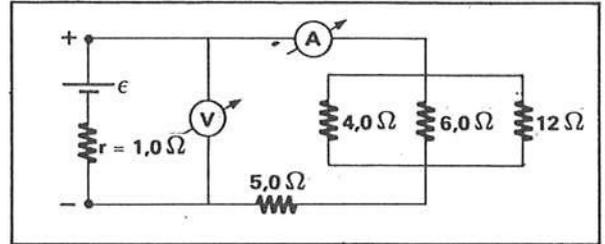
- a. diferenciar corrente contínua e corrente não-contínua.
- b. caracterizar os elementos que compõem um circuito de corrente contínua.
- c. identificar no esquema de um circuito os diversos elementos.
- d. esquematizar circuitos elétricos de corrente contínua.
- e. escrever e utilizar-se da equação do circuito.
- f. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

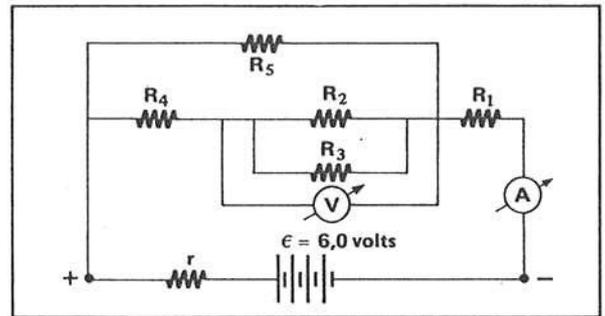
- 1 ■ No circuito ao lado, uma fonte de FEM 3,0 volts e resistência $r = 0,60 \Omega$ está ligada a duas resistências R_1 e R_2 , de 4,0 e 6,0 Ω , respectivamente. Determinar:
- o valor da corrente medida pelo amperímetro A e a voltagem no voltímetro V. (considerá-los ideais)
 - a potência dissipada em cada resistor.



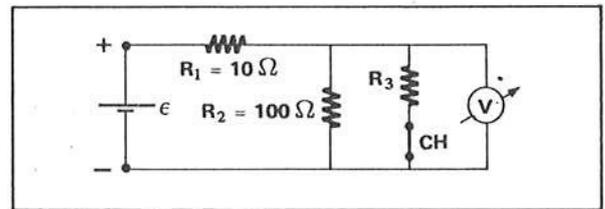
- 2 ■ No circuito esquematizado ao lado, a potência dissipada na resistência de 12 ohms é de 3,0 watts. Determinar:
- a corrente na resistência de 12 Ω .
 - a corrente no amperímetro A.
 - o valor da FEM.
 - a voltagem no voltímetro V.



- 3 ■ No circuito ao lado os valores das resistências são $R_1 = 16 \Omega$, $R_2 = 6,0 \Omega$, $R_3 = 12 \Omega$, $R_4 = 16 \Omega$ e $R_5 = 30 \Omega$. Os amperímetros e voltímetros são ideais. Se o amperímetro acusa uma corrente de 0,20 A, determinar:
- o valor da resistência interna r .
 - a corrente por R_4 .
 - a leitura no voltímetro.
 - a potência dissipada por R_3 .



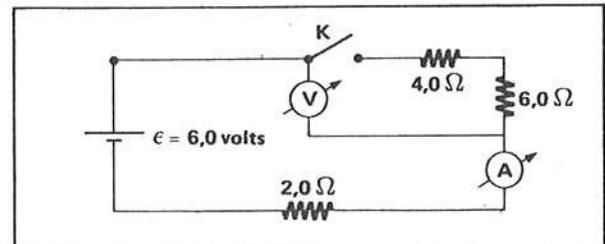
- 4 ■ No circuito ao lado a fonte tem 120 volts de FEM e resistência interna zero. Se o voltímetro V acusar 100 volts, determinar:
- a corrente em R_1 .
 - a corrente em R_2 .
 - a corrente e o valor de R_3 .



- 5 ■ No problema 4, suponha agora que a chave CH esteja aberta.
- Qual é a leitura no voltímetro?
 - Qual é a corrente em R_1 , R_2 e R_3 ?

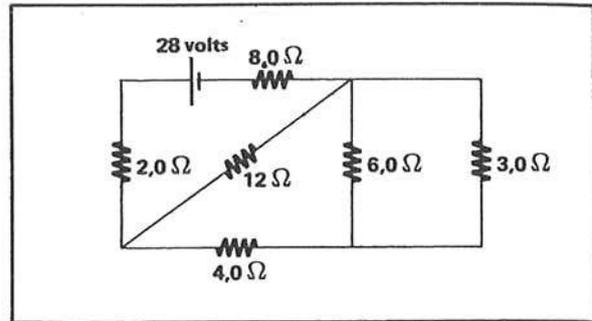
- 6 ■ No problema resolvido 13, admita agora que a chave CH 2 esteja fechada. Determine:
- a corrente total do circuito.
 - a leitura das correntes em A_1 e em A_2 .
 - a leitura da voltagem em V.

- 7 ■ No circuito ao lado, os medidores são ideais e a fonte de FEM não tem resistência interna. Determinar:
- a corrente em A.
 - a voltagem em V.



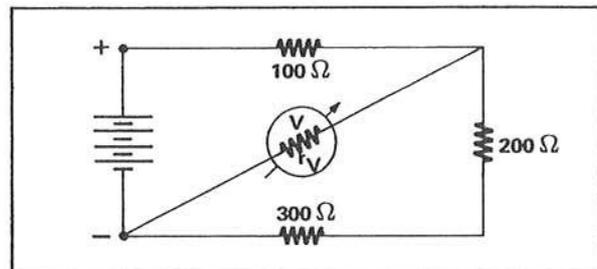
- 8 ■ No problema anterior, admita agora que a chave CH esteja fechada. Calcule:
- as leituras em cada medidor.
 - a potência dissipada em $R = 2,0 \text{ ohm}$.
 - a potência fornecida ao circuito pela fonte de FEM.

- 9 ■ No circuito ao lado, determine:
- a corrente total.
 - a corrente pela resistência de 4,0 ohms.
 - a voltagem em $R = 2,0$ ohms.



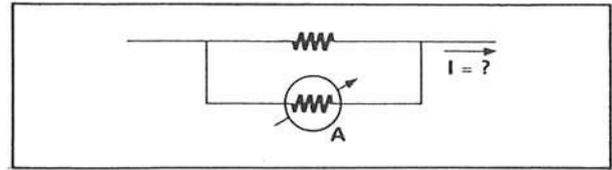
- 10 ■ Uma pilha de 1,5 volts de FEM e resistência interna de 1,0 ohm forma com uma resistência externa de 9,0 ohms um circuito fechado. Determine:
- a intensidade da corrente total
 - a queda de tensão na resistência externa.
 - a queda de tensão na resistência interna.
- 11 ■ Uma pilha de 2,0 volts de FEM tem uma resistência interna de 0,50 ohms. Se a potência fornecida pela FEM da fonte é de 0,50 watts, calcule:
- a corrente fornecida pela fonte.
 - a potência dissipada na resistência interna.
 - o valor da resistência total externa.

- 12 ■ No circuito ao lado, a força eletromotriz da bateria é $\epsilon = 150$ volts e possui resistência interna nula. Que voltagem acusa o voltímetro se a sua resistência interna é de 2 000 ohms?



- 13 ■ Uma bateria cuja FEM é de 100 volts apresenta uma resistência interna de 10 ohms. Um voltímetro é ligado aos seus terminais. Se a resistência interna do voltímetro é de 490 ohms, determine:
- a corrente pelo voltímetro.
 - a voltagem medida pelo voltímetro.
- 14 ■ Três resistências iguais são ligadas em série. Os terminais da associação são ligados aos extremos de uma fonte de FEM de valor ϵ e resistência interna nula. A potência consumida pela resistência total externa é de 10 watts. Qual é a potência consumida pela resistência externa se elas forem associadas em paralelo?
- 15 ■ Duas pilhas de 1,5 volts cada uma e resistências internas iguais a 0,60 Ω e 0,30 Ω são associadas, primeiramente em série e depois em paralelo. Em cada um dos casos, aos terminais da associação é ligada uma resistência externa de 0,4 ohms. Em qual dos casos a corrente é maior?
- 16 ■ Dois resistores, um de 40 ohms e outro de 80 ohms, são ligados aos terminais de uma fonte de FEM de 120 volts. Determine a potência consumida por cada um deles quando:
- são ligados em série.
 - são ligados em paralelo.
- Desprezar a resistência interna da fonte.
- 17 ■ Um amperímetro ideal acusa uma corrente de 0,20 A quando em série com 3 resistores ligados a uma fonte de FEM de 28 volts. Se $R_1 = 25 \Omega$ e $R_2 = 40 \Omega$, qual é a resistência de R_3 ? Desprezar a resistência interna da fonte.

- 18 ■ Uma fonte de FEM de 12 volts e resistência interna desprezível está ligada a uma associação de 4 lâmpadas iguais em paralelo. Se a corrente fornecida pela fonte é de 8,0 A, determine:
- a resistência de cada lâmpada.
 - a potência consumida por cada uma delas.
- 19 ■ Um amperímetro de 0,16 ohms de resistência interna é ligado em paralelo com uma resistência de 0,04 ohms. O amperímetro marca 8,0 A. Qual é a intensidade da corrente total da instalação?
- 20 ■ Uma fonte de FEM de 16 volts possui resistência interna de 4,0 ohms. Quando os seus terminais são curto-circuitados, determinar:
- a corrente de curto-circuito.
 - a potência dissipada na resistência interna.



RESPOSTAS

- 1 ■ a) $I = 1,0 \text{ A}$; $V = 2,4 \text{ volts}$; b) $P_{R_1} \cong 1,4 \text{ watts}$; $P_{R_2} = 0,96 \text{ watts}$
- 2 ■ a) $I_{12} = 0,50 \text{ A}$; b) $I = 3,0 \text{ A}$; c) $\epsilon = 24 \text{ volts}$; d) 21 volts
- 3 ■ a) $r = 2,0 \Omega$; b) $I_{R_4} = 0,12 \text{ A}$; c) $V = 0,48 \text{ volts}$; d) $P \cong 2 \times 10^{-2} \text{ watts}$
- 4 ■ a) $I_1 = 2,0 \text{ A}$; b) $I_2 = 1,0 \text{ A}$; c) $I_3 = 1,0 \text{ A}$ e $R_3 = 100 \Omega$
- 5 ■ a) $V \cong 110 \text{ volts}$; b) $I_1 = 1,1 \text{ A}$; $I_2 \cong 1,1 \text{ A}$; $I_3 = 0$
- 6 ■ a) $I = 3,0 \text{ A}$; b) em A_1 , $I_2 = 1,0 \text{ A}$ e em A_2 , $I_3 = 1,0 \text{ A}$; c) $6,0 \text{ volts}$
- 7 ■ a) $I = 0$; b) $V = \epsilon = 6,0 \text{ volts}$
- 8 ■ a) $I = 0,50 \text{ A}$ e $V = 5,0 \text{ volts}$; b) $P = 0,50 \text{ watts}$; c) $P = 3,0 \text{ watts}$
- 9 ■ a) $I = 2,0 \text{ A}$; b) $\frac{4}{3} \text{ A}$; c) $4,0 \text{ volts}$
- 10 ■ a) $I = 0,15 \text{ A}$; b) $1,35 \text{ volts}$; c) $0,15 \text{ volts}$
- 11 ■ a) $I = 0,25 \text{ A}$; b) $\cong 0,031 \text{ watts}$; c) $R = 7,5 \Omega$
- 12 ■ $V = 120 \text{ volts}$
- 13 ■ a) $I = 0,20 \text{ A}$; b) $V = 98 \text{ volts}$
- 14 ■ $P = 90 \text{ watts}$
- 15 ■ Quando são ligadas em paralelo.
- 16 ■ a) $P_{40} = 40 \text{ watts}$ e $P_{80} = 80 \text{ watts}$; b) $P_{40} = 3,6 \times 10^2 \text{ watts}$; $P_{80} = 1,8 \times 10^2 \text{ watts}$
- 17 ■ $R_3 = 75 \Omega$
- 18 ■ a) $R = 6,0 \Omega$; b) $P = 24 \text{ watts}$
- 19 ■ $I = 40 \text{ A}$ (total)
- 20 ■ a) $I_{cc} = 4,0 \text{ A}$; b) $P_r = 64 \text{ watts}$.

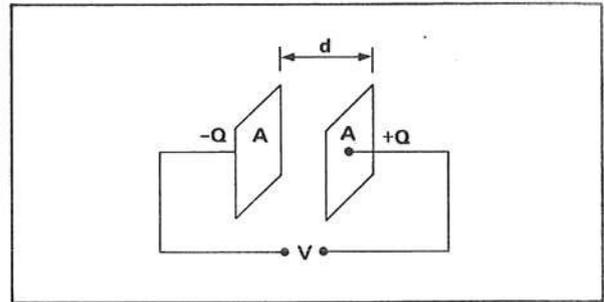
SEÇÃO 9 – CAPACITORES

Um dos componentes mais importantes usados nos circuitos eletrônicos é o capacitor.

Ele é constituído essencialmente por dois condutores separados por um isolante (ar, vidro, óleo, etc.), carregados de cargas de intensidades iguais e de sinais opostos. O capacitor típico consiste em duas placas paralelas de área A e separadas de uma distância d .

A – CAPACITÂNCIA E CONSTANTE DIELÉTRICA

- 1 ■ Um capacitor típico consiste em duas _____ de área _____ e separadas de uma distância _____.



placas paralelas; A ; d

- 2 ■ As duas placas estão a uma diferença de potencial _____ e estão carregadas de cargas _____ e _____, respectivamente.

V ; $-Q$; $+Q$

- 3 ■ Se aumentarmos V , o valor absoluto da carga Q em cada placa (aumenta; diminui).

aumenta

- 4 ■ A experiência mostra que V e Q são proporcionais entre si, isto é, a razão $\frac{Q}{V}$ é (constante; variável) para um determinado sistema.

constante

- 5 ■ $\frac{Q}{V}$ = constante. Se a carga de um capacitor for dobrada, a diferença de potencial V entre as placas será _____.

dobrada

- 6 ■ $\frac{Q}{V}$ = constante. Chamando a constante de proporcionalidade entre Q e V de C , $C = \frac{Q}{V}$. A constante C é denominada capacitância do capacitor.

$\frac{Q}{V}$

7 ■ Carga de $1,0 \times 10^{-5}$ C provoca entre duas placas de um capacitor uma voltagem de $1,0 \times 10^4$ volts. A capacitância é $C =$ _____ .

$$\frac{Q}{V} = 1,0 \times 10^{-9} \frac{C}{\text{volts}}$$

8 ■ Do item anterior, $C = 1,0 \times 10^{-9}$ C/volts. A unidade C/volts (é; não é) uma unidade do SI de unidades. Ela é chamada de farad (símbolo: F).

é

9 ■ Portanto, no SI de unidades, a unidade de capacitância é $\frac{1 \text{ C}}{1 \text{ volt}} =$ _____ .

1 farad ou 1 F

10 ■ $\frac{1 \text{ C}}{1 \text{ volt}} = 1 \text{ F}$. Submúltiplos de farad são comumente usados:

$$1 \text{ microfarad} = 10^{-6} \text{ F (símbolo: } \mu\text{F)}$$

$$1 \text{ picofarad} = 10^{-12} \text{ F (símbolo: pF)}$$

Complete: $5,0 \times 10^{-7} \text{ F} =$ _____ μF
 $6,0 \times 10^{-6} \text{ F} =$ _____ pF

$5,0 \times 10^{-1} \mu\text{F}; 6,0 \times 10^6 \text{ pF}$

11 ■ A capacitância C de um capacitor depende basicamente de três grandezas:

a) da área;

b) da distância d entre as placas;

c) da natureza do material isolante ou dielétrico colocado entre as placas.

O resultado experimental mostra que C é proporcional à área A e inversamente proporcional à distância d. Matematicamente, $C \sim$ _____ .

$$\frac{A}{d}$$

12 ■ $C \sim \frac{A}{d}$. A constante de proporcionalidade depende da natureza do isolante entre _____ .

as placas

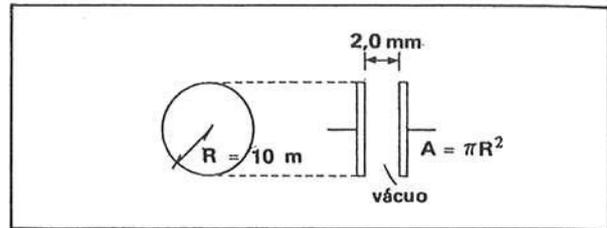
13 ■ Se o isolante é o vácuo, a constante de proporcionalidade entre _____ e _____, determinada experimentalmente, é $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$. O seu símbolo é ϵ_0 e é denominada permissividade do vácuo.

$$C; \frac{A}{d}$$

14 ■ Para capacitores com isolação a vácuo, a permissividade é $\epsilon_0 =$ _____ . Logo, $C =$ _____ (em função de A, d e ϵ_0).

$$8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}; \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

- 15 ■ O esquema anexo representa um capacitor de placas paralelas circulares. O isolante entre as placas é o vácuo. A capacitância é _____.



$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = 1,4 \mu\text{F}$$

- 16 ■ Se ao invés de vácuo o isolante for de outra natureza, a constante de proporcionalidade (varia; não varia).

varia

- 17 ■ Logo, para cada tipo de isolante entre as placas do capacitor, (existe; não existe) um valor determinado da permissividade, cujo símbolo é ϵ .

existe

- 18 ■ Esta permissividade é calculada relativamente à do vácuo. Ou seja, quantas vezes ela é maior em relação a _____. Matematicamente, $\epsilon = k \cdot$ _____.

ϵ_0 ; ϵ_0

- 19 ■ $\epsilon = k \cdot \epsilon_0$. k é denominada constante dielétrica do elemento isolante. k (é; não é) um número puro.

é

ALGUMAS CONSTANTES DIELÉTRICAS

Substância	k
água	81
âmbar	2,7
ar	1,00054
baquelita	4,8
cera	7,8
dióxido de titânio	100
ebonite	2,6
mica	6
neoprene	6,9
óleo piranol	4,5
parafina	2
polietileno	2,3
porcelana	6,5
vácuo	1,00000
vidro pirex	4,5

- 20 ■ Um capacitor de placas paralelas tem dimensões de 20 cm por 40 cm e elas estão separadas por um dielétrico constituído de parafina. A distância entre as placas é de 5,0 mm. Qual é a sua capacitância?

$A =$ _____ m^2 ; $d =$ _____ m $\epsilon =$ _____.

$$8,0 \times 10^{-2}; 5,0 \times 10^{-3}; \epsilon = k \cdot \epsilon_0 = 2 \times 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

21 ■ $C = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de ϵ , A e d). Substituindo os valores correspondentes, $C = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\frac{\epsilon A}{d}$; $2,8 \times 10^2$ pF

B – ENERGIA ARMAZENADA

Um capacitor é normalmente utilizado como elemento armazenador de energia elétrica. Esta energia poderá ser utilizada num circuito elétrico através da “descarga do capacitor”.

1 ■ Conforme visto na parte A, a capacitância é definida como $C = \underline{\hspace{2cm}}$ (em função de Q e V), ou $Q = \underline{\hspace{2cm}}$.

$\frac{Q}{V}$; $C \cdot V$

2 ■ $Q = C \cdot V$. Se através de um dispositivo aumentarmos a carga Q de um determinado capacitor, a voltagem V (aumenta; diminui) proporcionalmente.

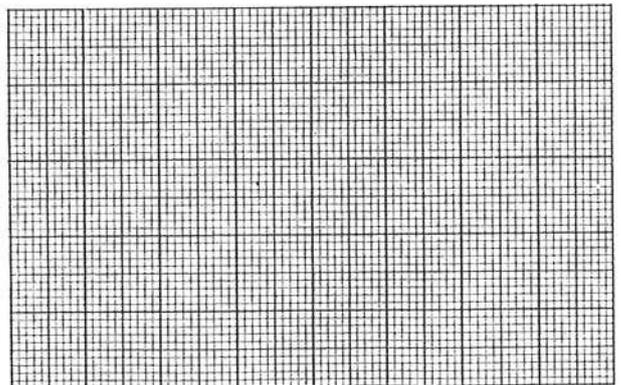
aumenta

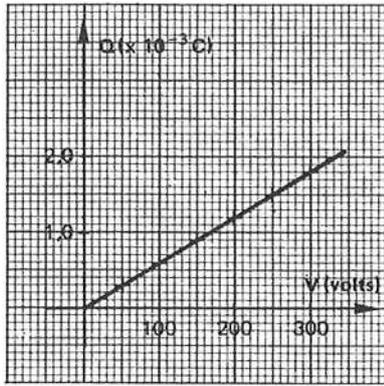
3 ■ Preencha a tabela anexa, onde, para um certo capacitor, determinou-se $C = 6,0 \mu\text{F}$

Q(C)	V (volts)
	0
	50
	100
	150
	200
	250
	300

0 ; $0,3 \times 10^{-3}$; $0,6 \times 10^{-3}$; $0,9 \times 10^{-3}$; $1,2 \times 10^{-3}$; $1,5 \times 10^{-3}$; $1,8 \times 10^{-3}$

4 ■ Construa o gráfico Q X V com os dados do item 3.





5 ■ No gráfico anterior, o coeficiente angular ou declividade da reta equivale à grandeza física _____.

capacitância (C)

6 ■ A área compreendida entre a reta e a abscissa corresponde ao produto cartesiano, isto é, em termos físicos equivale ao aumento da _____.

energia potencial elétrica

7 ■ Do gráfico do item 4, qual é o aumento de energia potencial elétrica quando a carga do capacitor alcançar $1,5 \times 10^{-3}$ C? $\Delta E_p =$ _____.

$\sim 1,9 \times 10^{-1}$ J (área)

8 ■ $1,9 \times 10^{-1}$ J equivale ao aumento de _____ do capacitor quando as placas estiverem carregadas cada uma com $1,5 \times 10^3$ C. Em outras palavras, significa que houve um trabalho externo para carregar o capacitor. Este trabalho equivale a $W =$ _____.

energia potencial elétrica; $1,9 \times 10^{-1}$ J

9 ■ Do exemplo visto, conclui-se que a variação de energia de um capacitor pode ser expressa, em termos analíticos, como sendo $W = \frac{1}{2} Q \cdot V$. Este trabalho equivale, no gráfico $Q \times V$, à _____ da figura compreendida entre a reta e o eixo das _____. Esta figura, no caso, é um (triângulo; retângulo; losango), cuja área é calculada pela expressão $\frac{1}{2} B \times h$, onde, no nosso caso, B corresponde a _____ e h a _____.

área; abscissas; triângulo; V; Q

10 ■ $W = \frac{1}{2} Q \cdot V$. Esta equação dá o valor da energia armazenada em um capacitor. Para introduzir a capacitância nesta equação podemos utilizar a expressão que dá a sua definição, isto é, $C =$ _____ (em termos de Q e V) ou $Q =$ _____. Após a substituição, $W =$ _____ (em função de C e V).

$$\frac{Q}{V}; C \cdot V; \frac{1}{2} C \cdot V^2$$

- 11 ■ Determine a expressão da energia acumulada em um capacitor em função da área A das placas, da distância entre elas e da constante dielétrica.

$$W = \frac{1}{2} \frac{k \cdot \epsilon_0 \cdot A \cdot V^2}{d}$$

- 12 ■ Um capacitor cuja capacitância é $5,0 \mu\text{F}$ é carregado através da aplicação entre as placas de uma voltagem de 300 volts. A capacitância, em farads, é $C =$ _____.

$$5,0 \times 10^{-6} \text{ F}$$

- 13 ■ A carga total adquirida por cada placa, no capacitor do item 12, é $Q =$ _____.

$$1,5 \times 10^{-3} \text{ C}$$

- 14 ■ O trabalho realizado para carregar as placas deste capacitor foi de $W =$ _____.

$$\frac{1}{2} Q \cdot V \cong 2,3 \times 10^{-1} \text{ J}$$

- 15 ■ Um capacitor tem as seguintes especificações:

dielétrico ou isolante: vácuo

área de cada placa: $0,03 \text{ cm}^2$

distância entre as placas paralelas: $2,0 \text{ mm}$

O capacitor tem permissividade $\epsilon = k \cdot \epsilon_0 =$ _____.

$$8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

- 16 ■ A energia armazenada no capacitor do item 15 pode ser obtida pela equação $W =$ _____.

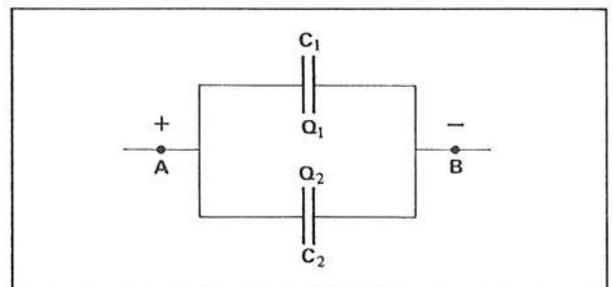
$$\frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 \cdot A \cdot V^2}{d}$$

- 17 ■ Substituindo-se os valores conhecidos, a energia armazenada no capacitor do item 15, quando se aplica uma voltagem de $4,0 \times 10^3$ volts entre as suas placas, é $W =$ _____.

$$\cong 1,1 \times 10^{-4} \text{ J}$$

C – ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

- 1 ■ A figura ao lado mostra os capacitores associados em _____. Duas barras paralelas e de mesmo comprimento simboliza, esquematicamente, um capacitor. O símbolo  (esquematiza; não esquematiza) um capacitor.



paralelo; não esquematiza

- 2 ■ O nosso objetivo é determinar as características de um capacitor equivalente à associação dada. Para tanto, inicialmente, pode-se concluir que a carga total é $Q = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$Q_1 + Q_2$$

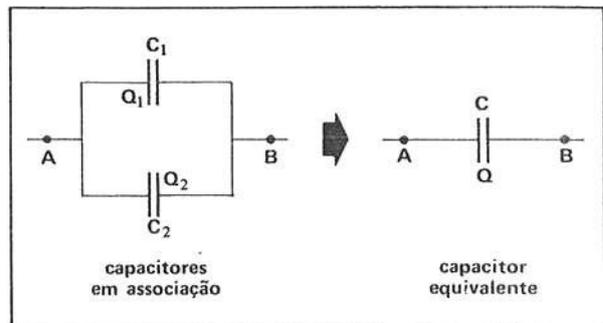
- 3 ■ Os capacitores (estão; não estão) sob uma mesma voltagem V .

estão

- 4 ■ Logo, $C_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ e $C_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ (em termos de carga e voltagem).

$$\frac{Q_1}{V}, \frac{Q_2}{V}$$

- 5 ■ A capacitância equivalente é $C = \underline{\hspace{2cm}}$.
(em função de Q e V). Em função de C_1 e C_2 ,
 $C = \underline{\hspace{2cm}}$.

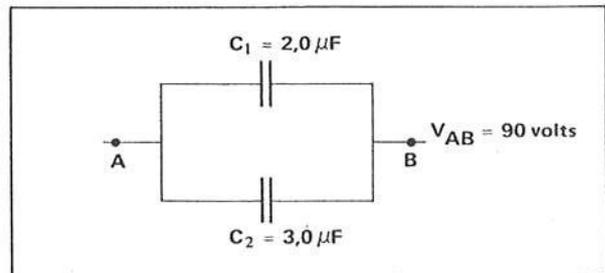


$$\frac{Q}{V}; Q_1 + Q_2$$

- 6 ■ $C = \frac{Q_1 + Q_2}{V}$. Reescrevendo, $C = \frac{Q_1}{V} + \frac{Q_2}{V}$. Conforme item 4, $\frac{Q_1}{V} = \underline{\hspace{2cm}}$ e $\frac{Q_2}{V} = \underline{\hspace{2cm}}$. Portanto,
 $C = \underline{\hspace{2cm}}$.

$$C_1; C_2; C_1 + C_2$$

- 7 ■ A figura anexa mostra dois capacitores associados em $\underline{\hspace{2cm}}$.



paralelo

- 8 ■ Cada capacitor (está; não está) sob a mesma voltagem.

está

9 ■ A carga total é $Q =$ _____ (simbolicamente) e vale $Q =$ _____.

$$Q_1 + Q_2; 4,5 \times 10^{-4} \text{ C}$$

10 ■ A capacitância equivalente é determinada pela equação $C =$ _____ (simbolicamente) e vale $C =$ _____.

$$C_1 + C_2; 5,0 \mu\text{F}$$

11 ■ Portanto, em capacitores associados em paralelo, a carga total Q é _____ (em função das cargas em cada capacitor) e a capacitância equivalente é $C =$ _____ (em função da capacitância de cada capacitor).

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n; C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

12 ■ A conclusão do item 11 expressa que a carga total Q é a _____ das cargas de cada capacitor associado em paralelo e a capacitância equivalente é a _____.

soma; soma das capacitâncias de cada capacitor associado em paralelo

13 ■ Retome a associação ilustrada no item 5. Se os capacitores forem submetidos a uma voltagem V , a energia acumulada por cada capacitor é: $W_1 =$ _____ e $W_2 =$ _____.

$$\frac{1}{2} Q_1 \cdot V; \frac{1}{2} Q_2 \cdot V$$

14 ■ A capacitância equivalente, como foi visto, é $C =$ _____. A energia total acumulada é, então, $W =$ _____.

$$C_1 + C_2; \frac{1}{2} (C_1 + C_2) \cdot V^2$$

15 ■ A soma das energias acumuladas pelos capacitores é $W_1 + W_2 =$ _____.

$$\frac{1}{2} Q_1 \cdot V + \frac{1}{2} Q_2 \cdot V = \frac{1}{2} (Q_1 + Q_2) V = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) V^2$$

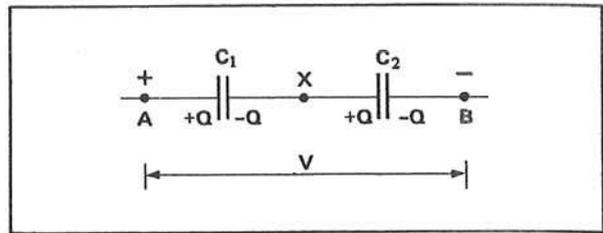
16 ■ Comparando os resultados dos itens 14 e 15, $W =$ _____, ou seja, a energia de um sistema de capacitores associados em paralelo é igual à soma das energias dos capacitores componentes da associação.

$$W_1 + W_2$$

17 ■ Calcule a energia acumulada pelo sistema de capacitores mostrado no item 7.

$$W = \frac{1}{2} (Q_1 + Q_2) V = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) V^2 \cong 2,0 \times 10^{-2} \text{ J}$$

- 18 ■ No esquema ao lado, os capacitores estão associados em _____. Cada capacitor (está; não está) sob a mesma diferença de potencial.



série; não está

- 19 ■ O capacitor C_1 está sob uma voltagem V_{AX} e o capacitor C_2 está sob uma voltagem _____. Pela Lei de Ohm, $V = \text{_____} + \text{_____}$.

V_{XB} ; $V_{AX} + V_{XB}$

- 20 ■ Cada capacitor, em termos de carga e capacitância, está sob a voltagem $V_{AX} = \text{_____}$ e $V_{XB} = \text{_____}$.

$\frac{Q}{C_1}$; $\frac{Q}{C_2}$

- 21 ■ Como $V = V_{AX} + V_{XB}$, conforme o item anterior, $V = \text{_____}$.

$\frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$

- 22 ■ Se chamarmos de C a capacitância equivalente, $V = \frac{Q}{C}$. Portanto, $V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = \text{_____}$.

$\frac{Q}{C}$

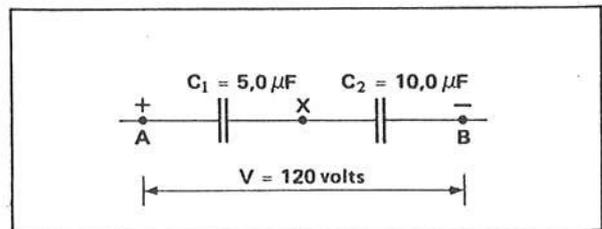
- 23 ■ $\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$. Dividindo-se ambos os membros por Q , teremos: $\frac{1}{C} = \text{_____} + \text{_____}$.

$\frac{1}{C_1}$; $\frac{1}{C_2}$

- 24 ■ Generalizando, para n capacitores associados em série, tem-se: a carga total é a carga de cada capacitor e a capacitância equivalente é dada simbolicamente por $\frac{1}{C} = \text{_____}$, ou seja, a capacitância equivalente (é; não é) o inverso da soma dos inversos das capacitâncias dos capacitores componentes.

$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$; é

- 25 ■ Na associação ao lado, os capacitores estão em _____.



série

- 26 ■ A capacitância equivalente pode ser determinada simbolicamente pela relação $C =$ _____ .
Substituindo-se os valores, $C =$ _____ .

$$\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)^{-1}; \frac{10}{3} \mu\text{F}$$

- 27 ■ A capacitância equivalente (é; não é) menor que a menor capacitância da associação.

é

- 28 ■ A carga Q na associação (é; não é) a mesma para todos os capacitores. A voltagem nos extremos da associação é _____ e a capacitância equivalente é _____. Portanto, $Q = C \cdot V =$ _____ .

$$\text{é}; 120 \text{ volts}; \frac{10}{3} \mu\text{F}; 4,0 \times 10^{-4} \text{ C}$$

- 29 ■ As voltagens submetidas a cada capacitor são, respectivamente, $V_{AX} = \frac{Q}{C_1}$ e $V_{XB} =$ _____. Portanto, $V_{AX} =$ _____ e $V_{XB} =$ _____ .

$$\frac{Q}{C_2}; 80 \text{ volts}; 40 \text{ volts}$$

- 30 ■ Determine as energias armazenadas por cada capacitor do item 25.

$$W_1 = \text{_____} \text{ e } W_2 = \text{_____}$$

$$\frac{1}{2} Q \cdot V_1 = \frac{1}{2} C_1 \cdot V_1^2 = 1,6 \times 10^{-2} \text{ J}; 0,8 \times 10^{-2} \text{ J}$$

- 31 ■ O capacitor equivalente da associação tem carga $Q =$ _____ e capacitância $C =$ _____ e está sob voltagem $V =$ _____. A energia total acumulada é $W =$ _____ .

$$4,0 \times 10^{-4} \text{ C}; \frac{10}{3} \mu\text{F}; 120 \text{ volts}; 2,4 \times 10^{-2} \text{ J}$$

- 32 ■ Comparando os resultados dos itens 30 e 31, $W =$ _____ (em função de W_1 e W_2). A energia do sistema (é; não é) igual à soma das energias acumuladas por cada capacitor da associação em série.

$$W_1 + W_2; \text{é}$$

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

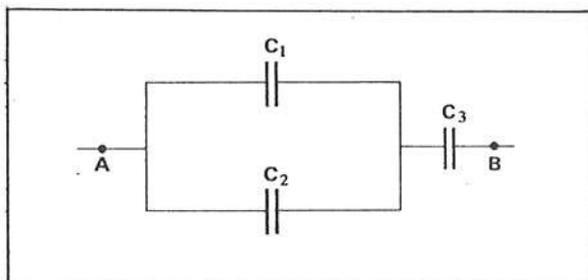
- 1 ■ Descreva um capacitor típico.
- 2 ■ A variação da carga Q do capacitor está relacionada linearmente com a variação V entre as placas. Certo ou errado?
- 3 ■ Defina capacitância e dê a sua unidade de medida no SI de unidades.
- 4 ■ 1 farad vale _____ μF e 1 μF vale _____ F.
- 5 ■ Qual é a relação entre capacitância, área de cada placa e distância entre as placas?
- 6 ■ O que significa permissividade do vácuo? Qual é o seu símbolo?
- 7 ■ A permissividade ϵ_0 é determinada teoricamente. Certo ou errado?
- 8 ■ A permissividade de um capacitor sempre vale ϵ_0 . Comente a afirmativa.
- 9 ■ O que significa a permissividade ϵ ?
- 10 ■ O que é constante dielétrica? Ela é uma grandeza dimensional ou adimensional?
- 11 ■ Qual é o valor da constante dielétrica do óleo? E do vácuo?
- 12 ■ As placas de um capacitor são submetidas a uma voltagem de 100 volts. Se a capacitância é $6,0 \mu\text{F}$, qual é a carga armazenada no capacitor? E para 300 volts?
- 13 ■ O gráfico $Q \times V$ é uma função _____ .
- 14 ■ A declividade da função $Q = f(V)$ representa a capacitância do capacitor. Comente a afirmativa.
- 15 ■ No gráfico $Q \times V$, como se determina a energia armazenada no capacitor?
- 16 ■ Escreva a expressão da energia armazenada num capacitor:
 - a) em função de Q e V .
 - b) em função de C e V .
 - c) em função de k , ϵ_0 , A , d e V .
- 17 ■ Desenhe o esquema simbólico de um capacitor.
- 18 ■ Faça um esquema de três capacitores em paralelo.
- 19 ■ Como se determina a capacitância equivalente de um sistema onde os capacitores estão associados em paralelo?
- 20 ■ Dois capacitores com cargas Q_1 e Q_2 estão em paralelo. A carga total do sistema é $Q =$ _____ .
- 21 ■ Comente acerca da energia total do sistema. Como se determina essa energia? E a energia armazenada em cada capacitor?
- 22 ■ Desenhe esquematicamente 3 capacitores em série.
- 23 ■ Em relação ao item anterior,
 - a) a carga do sistema é _____ .
 - b) a capacitância do sistema é _____ .
 - c) a energia total da associação é _____ .
- 24 ■ Tanto na associação de capacitores em série como em paralelo, a energia armazenada é sempre igual à soma das energias armazenadas em cada capacitor Certo ou errado?

Após isso, você deve estar apto para:

- a. caracterizar um capacitor típico.
- b. definir capacitância.
- c. definir permissividade e constante dielétrica.
- d. caracterizar capacitância em termos de grandezas geométricas das placas do capacitor.
- e. calcular energia armazenada em um capacitor.
- f. caracterizar associação de capacitores em série e em paralelo.
- g. calcular capacitância e carga equivalentes de uma associação de capacitores, bem como a energia total do sistema.
- h. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1 ■ Tem-se um capacitor de placas paralelas com dielétrico de vácuo. A área de cada placa é $1,0 \text{ m}^2$ e a distância entre elas é de $1,5 \text{ mm}$. Determine a capacitância do capacitor.
- 2 ■ Um capacitor tem placas planas paralelas de $1,5 \text{ m}$ por $2,0 \text{ m}$ separadas por vidro ($k = 8$) de $5,0 \text{ mm}$ de espessura. Calcule a capacitância.
- 3 ■ Dois capacitores têm placas paralelas iguais em área. A distância entre as placas nos dois capacitores é a mesma. Num deles, é colocado um dielétrico de constante dielétrica $k_1 = 10$ e noutro, um dielétrico de constante $k_2 = 2,5$. Determine a razão das capacitâncias.
- 4 ■ Têm-se 2 capacitores $C_1 = C_2 = 3,0 \mu\text{F}$ ligados em paralelo. O sistema é submetido a uma voltagem de $5,0 \text{ volts}$.
 - a) Determine a carga de cada capacitor.
 - b) Determine a energia armazenada em cada capacitor.
 - c) Calcule a carga e a energia do sistema.
- 5 ■ A diferença de potencial entre os extremos de uma associação em série de 2 capacitores é $6,0 \text{ volts}$. Os capacitores tem capacitâncias $C_1 = 2 \mu\text{F}$ e $C_2 = 4 \mu\text{F}$. Determine:
 - a) a carga armazenada.
 - b) a voltagem em cada capacitor.
- 6 ■ Um capacitor de $20 \mu\text{F}$ de capacitância está carregado e sob voltagem de 100 volts . Qual é a energia armazenada?
- 7 ■ Na associação da figura anexa tem-se $C_1 = C_2 = C_3 = 6,0 \mu\text{F}$. Entre A e B aplica-se a diferença de potencial de 100 volts . Calcule:
 - a) a capacitância equivalente.
 - b) a carga armazenada do sistema.
 - c) a energia total armazenada do sistema.



RESPOSTAS

- | | | |
|--|---|-----------------------------------|
| 1 ■ $C = 5,9 \times 10^{-9} \text{ F}$ | 4 ■ a) $Q = 1,5 \times 10^{-5} \text{ C}$ | 6 ■ $W = 0,1 \text{ J}$ |
| 2 ■ $C \cong 4,3 \times 10^{-8} \text{ F}$ | b) $75/2 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ | 7 ■ a) $4,0 \mu\text{F}$ |
| 3 ■ $\frac{C_1}{C_2} = 4$ | c) $Q = 3,0 \times 10^{-5} \text{ C}; W = 7,5 \times 10^{-5} \text{ J}$ | b) $4,0 \times 10^{-4} \text{ C}$ |
| | 5 ■ a) $Q_1 = Q_2 = 8,0 \times 10^{-6} \text{ C}$ | c) $2,0 \times 10^{-2} \text{ J}$ |
| | b) $V_1 = 4,0 \text{ volts}; V_2 = 2,0 \text{ volts}$ | |

SEÇÃO 10 – A ELETRICIDADE ATRAVÉS DOS TEMPOS – HISTÓRICO

NA ERA ESPACIAL

“O homem pousa em Marte, após duzentos e sessenta dias de viagem.” Grandes possibilidades existem de que ainda neste século esta frase apareça estampada em revistas e jornais.

O homem, este pequeno ser racional, conquistou a terra, o ar e agora inicia sua conquista do espaço. Neil Armstrong, no dia 20 de julho de 1969, pisa no solo lunar e recolhe amostras de rochas. Os cientistas estudam estas amostras e tentam decifrar a origem da Lua, da Terra, do nosso Sistema Solar, enfim do Universo.

Mas como o homem conseguiu chegar à Lua? Será que os cientistas, vendo que podiam construir um avião, tiveram uma idéia súbita de que poderiam também construir um foguete e para lá embarcar?

A resposta é, certamente, não. Para alcançar esse desenvolvimento científico e tecnológico, foi necessário muito esforço, trabalho e dedicação, numa caminhada lenta, porém progressiva.

A Eletricidade, assim como outras partes da Física, é de importância primordial nesta luta progressiva pela conquista do espaço. Todo instrumental externo para acionar e comandar uma nave espacial, bem como toda aparelhagem interna – seja de comunicação, ou de controle, ou de verificação das condições de saúde dos astronautas – utilizam-se das leis eletromagnéticas.

A eletricidade conta com um longo passado. Desde a Antiguidade o homem despertou para ela, mas somente no século XVII estabeleceu-se um estudo sistemático do ponto de vista metodológico e científico. Sabemos hoje quão fundamental é a eletricidade para nossa civilização.

Voltemos então ao passado. Ao final do século XVI e início do século XVII, após grandes tumultos experimentados pelo pensamento do homem renascentista, nasce na Europa uma nova maneira de encarar a ciência e que nos séculos posteriores irá desenvolver-se e difundir-se por todo o mundo.

Nesta época dá-se o “rompimento” da ciência com a filosofia. Até então, o conhecimento era visto como um todo e a palavra filosofia era usada para designar qualquer espécie de investigação, quer fosse científica, quer fosse filosófica.

A Física qualitativa cede lugar à Física quantitativa. Inicia-se a fase dos experimentos e medições, introduzindo-se assim uma linguagem matemática para descrever o conhecimento sobre a natureza.

Kepler, Galileo, Descartes e Newton foram elementos essenciais para a ciência atual, pois souberam fazer a síntese do conhecimento físico existente na época. Com Newton a mecânica fica estabelecida e a Física torna-se adulta.

Somente após o período newtoniano é que se desenvolve a ciência da eletricidade, não obstante os fenômenos elétricos já serem observados de longa data.

OS GREGOS

Desde os mais remotos tempos o homem se preocupou e se deslumbrou com as **propriedades “mágicas” do âmbar**. Encontramos na literatura grega e na latina referências sobre estas propriedades. Atribui-se ao grego Tales de Mileto, filósofo, astrônomo, matemático e mercador do século V a.C., as primeiras observações sobre as propriedades do âmbar atritado.

A atração produzida pelo âmbar era comumente interpretada pelos antigos como um fenômeno mágico. Estas rudimentares observações continuaram durante muitos séculos. Teorias a respeito de tais fenômenos foram formuladas, influenciando a filosofia de então.

RENASCENÇA

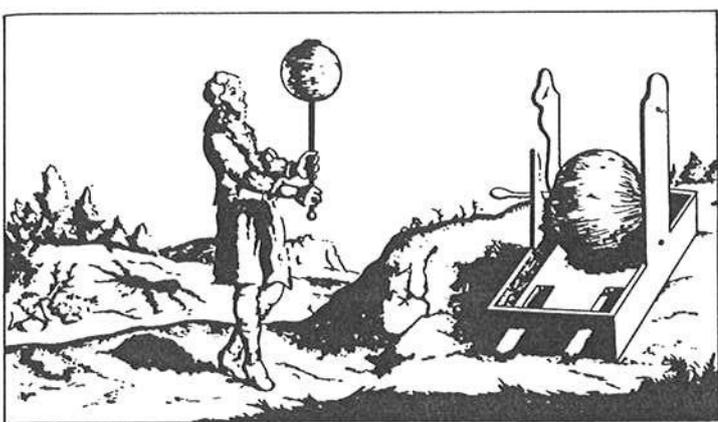
O século XVI abre suas portas para o estudo sistemático da eletricidade, pois durante a Idade Média pouco se fez para que a eletricidade fosse compreendida.

William Gilbert

As pesquisas de William Gilbert sobre eletricidade podem ser consideradas como o início do estudo mais racional desta ciência. Gilbert demonstrou que não só o âmbar como também outras substâncias (o vidro, o lacre, o enxofre, etc.) apresentavam propriedades elétricas quando friccionadas. Construiu o primeiro **eletroscópio** e, através de suas muitas experiências, descobriu que, enquanto o âmbar atritado atraía objetos leves, como pequenos pedaços de papel, dois corpos leves, tendo sido tocados pelo âmbar atritado, repeliam-se mutuamente. E ainda observou que, quando um corpo não carregado era posto em contato, através de um fio metálico, com um outro corpo carregado eletricamente, verificava-se a transferência de cargas para o primeiro corpo.

As pesquisas de William Gilbert fomentaram o desenvolvimento da eletricidade, que começou a ser melhor entendida a partir de novas descobertas.

Em 1665, Von Guericke, inventor da bomba de ar, construiu uma **máquina capaz de gerar eletricidade**; era constituída de uma esfera de enxofre, com um diâmetro próximo de 15 cm, disposta de forma a poder girar através de um eixo. Ao ser atritada com as mãos ou com um pedaço de pano, produzia faíscas devido às cargas armazenadas. Quando carregada, a esfera era capaz de atrair papéis, penas e pequenos objetos leves colocados ao seu redor.



Stephen Gray

Os experimentos de Stephen Gray, em 1729, levaram-no ao descobrimento da **transmissão da eletricidade**. Verificou que a eletricidade produzida por fricção em um tubo de vidro poderia ser transmitida a grandes distâncias. Com o auxílio de um fio de metal conseguiu transportar eletricidade de um local para outro.

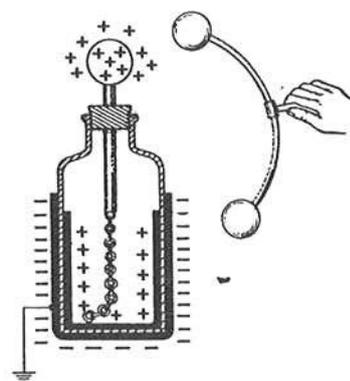
Sua descoberta fundamental consistiu em verificar que a eletricidade era "algo" que podia ser deslocado de um lugar para outro, aparentemente sem nenhum movimento material; não tinha peso: era um "fluido imponderável". Hoje sabemos que isso não é verdade.

Gray chamou de "elétricos" os corpos que transmitiam eletricidade, que atualmente são os condutores, e de "não-elétricos" os que não transmitiam, que hoje são os não-condutores ou dielétricos.

Du Fay

Em princípios do século XVIII, Du Fay descobre, através de seus experimentos, a existência de **dois tipos de eletricidade**. O âmbar, o lacre, as substâncias resinosas, quando atritadas, produzem uma das espécies de eletricidade, sendo a outra espécie verificada quando o vidro ou a mica eram usados. Estes fluidos elétricos eram chamados de "resinoso" e "vítreo", respectivamente, ficando estabelecido que espécies iguais de eletricidade se repelem e espécies diferentes se atraem.

Com estas descobertas surgiu a idéia de armazenar o fluido elétrico em garrafas. Em 1745, Von Kleist e Musschenbroeck, de Leyden (cidade da Holanda), trabalhando independentemente, construíram o **frasco de Leyden**, onde se podia condensar grandes quantidades de eletricidade. Tal frasco era feito de vidro, revestido interna e externamente por uma delgada camada de prata. Ao se ligar a folha externa à Terra e a interna a um corpo eletricamente carregado, ou vice-versa, a eletricidade, vítrea ou resinosa, tenta escapar para a Terra, sendo impedida pela parede de vidro. Estes frascos transformaram-se em várias formas de condensadores hoje existentes, que armazenam energia elétrica e têm larga aplicação em todos os setores da Física e Eletrotécnica.



Frasco de Leyden. Cargas positivas sobre o revestimento interno atraem elétrons da Terra para o revestimento externo. As cargas opostas se atraem, de modo que se pode obter uma grande carga na garrafa.

Após construir o frasco, Musschenbroeck recebeu, ao manipulá-lo, uma descarga elétrica produzida artificialmente, o que talvez tenha sido o primeiro choque elétrico. Os efeitos de tal descoberta foram literalmente explosivos. Tornou-se o jogo da moda nas cortes conseguir choques elétricos e divertir-se, observando seus efeitos sobre os demais.

Benjamim Franklin

O interesse pela eletricidade chegou até a longínqua Filadélfia, onde o estadista e escritor Benjamim Franklin interessou-se pelos fenômenos elétricos e tentou chegar a uma explicação para os mesmos. Postulou existir um só tipo de eletricidade: a vítrea, sendo os dois tipos diferentes correspondentes à carência ou ao excesso de eletricidade. Um excesso de fluido fazia com que o corpo ficasse com carga positiva, ao passo que uma insuficiência tornava-o negativamente carregado. Quando dois corpos de cargas opostas entravam em contato, a corrente deveria fluir do positivo, com excesso de carga, para o negativo, com deficiência. Tal idéia levou à terminologia moderna, segundo a qual a corrente elétrica flui do eletrodo positivo para o negativo (ânodo e cátodo, respectivamente).

As idéias de Du Fay, como vimos, estavam muito próximas da realidade, embora a situação seja mais complexa do que foi visualizada, tanto por ele como por Franklin, pois existem tanto partículas carregadas positivamente como partículas carregadas negativamente.

Franklin ganhou grande reputação científica com suas teorias, e não obstante impressionou o mundo inteiro quando da analogia entre as faíscas de laboratório e os relâmpagos. Em 1792, empinou papagaios, até chegarem às nuvens trovejantes, para delas colher eletricidade num frasco de Leyden, através do fio úmido dos papagaios que servia de condutor. Seus estudos levaram-no a participar como membro da Real Sociedade para o Desenvolvimento da Ciência, de Londres, e da Real Academia de Ciência, de Paris.

COULOMB – A LEI DAS FORÇAS ELÉTRICAS

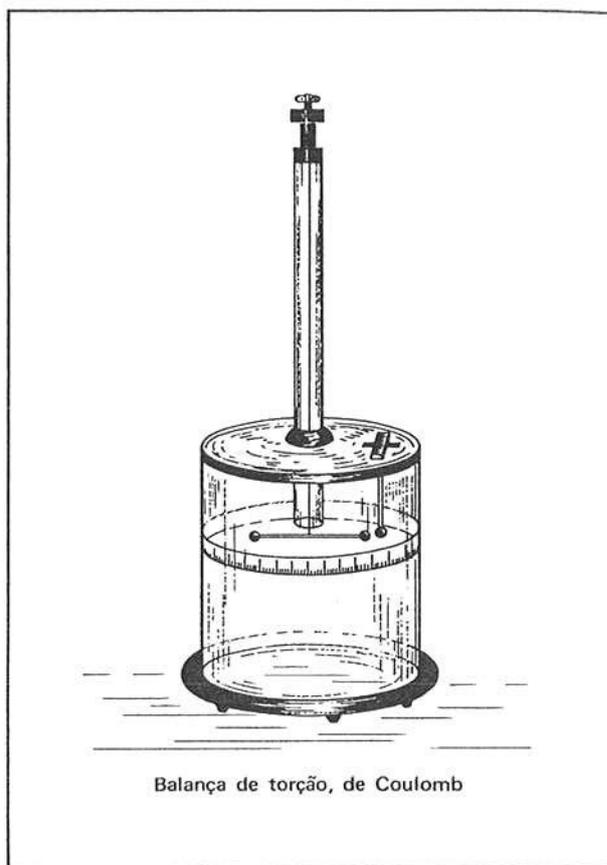
Na segunda metade do século XVIII, físicos de muitos países empenharam-se no estudo da eletricidade. Até aí os misteriosos fluidos imponderáveis não tinham sido estudados quantitativamente, pois não existia um método para medi-los.

Em 1785, Charles Augustin de Coulomb preocupou-se com o estudo quantitativo da eletricidade. Foi o inventor da **balança de torção** para medida de forças muito pequenas. O instrumento consiste em uma barra leve suspensa por um longo fio delgado, com duas esferas equilibradas em cada extremidade. Quando não existe força atuando sobre as esferas, a barra toma certa posição de equilíbrio. Se uma das esferas é carregada eletricamente e outra esfera qualquer também carregada for colocada em suas proximidades, a força elétrica agindo sobre a esfera móvel fará com que a barra gire em torno do ponto de suspensão até que a torção no fio equilibre a força atuante. Assim, o ângulo de rotação será proporcional à força.

Carregando tanto a esfera móvel quanto a imóvel com diferentes quantidades de eletricidade e variando a distância entre elas, Coulomb demonstrou o que já se suspeitava há muitos anos: que as forças existentes entre as cargas elétricas obedecem à lei do inverso do quadrado da distância, como na gravidade, isto é, as forças de atração e repulsão são diretamente proporcionais ao produto das duas cargas e inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre elas.

Nesta época, na Inglaterra, viveu Henry Cavendish, um homem solitário que se dedicou exclusivamente às experiências sobre a Física e a Química. Enquanto viveu, Cavendish publicou alguns trabalhos de pouca importância. Após sua morte, porém, foi encontrada uma grande quantidade de anotações que mostrou ser ele um grande cientista experimental. Descobriu, ao mesmo tempo que Coulomb, as leis da interação elétrica.

A cada descoberta dos fenômenos elétricos, a eletricidade ia sendo aos poucos compreendida, o que proporcionava novas reflexões e descobertas.



Balança de torção, de Coulomb

Convém aqui salientarmos que, embora tenhamos apenas descrito o desenvolvimento da eletricidade, o ímã apresentava propriedades semelhantes às do âmbar atritado. Destarte, o estudo do magnetismo vinculou-se ao da eletricidade, sendo sempre estudados juntos, apesar de até 1800 não haver sido encontrada uma relação concreta entre as duas ciências.

Descrevemos até agora somente os efeitos elétricos simplesmente por questões didáticas. O desenvolvimento do magnetismo e a sua relação com a eletricidade será tratado no próximo capítulo, como você verá.

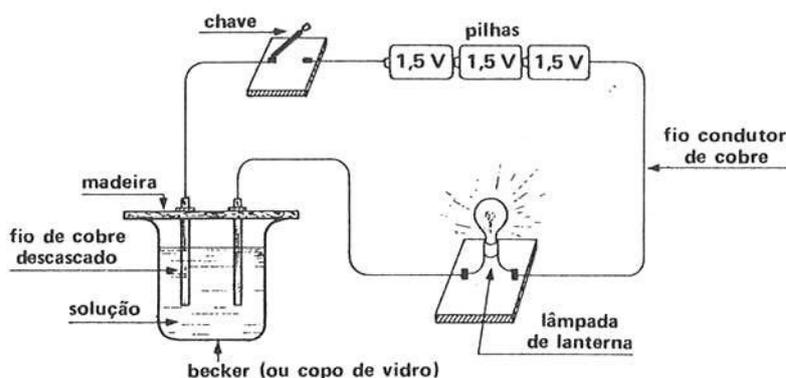
EXPERIÊNCIA 1. CORRENTE ELÉTRICA EM LÍQUIDOS

OBJETIVO: Distinguir soluções condutoras de não-condutoras.

MATERIAL UTILIZADO:

- um becker de aproximadamente 500 ml;
- 3 pilhas de 1,5 volts;
- 1 chave seccionadora;
- 1 lâmpada de lanterna;
- 2 fios de cobre grosso adaptados numa prancheta de madeira;
- fios de ligação;
- cloreto de sódio (sal de cozinha);
- açúcar;
- água destilada (encontra-se na farmácia);
- bicarbonato de sódio.

PROCEDIMENTO: a) Monte o aparato experimental conforme o esquema abaixo.



- Coloque água (de preferência destilada) no interior do becker.
- Ligue a chave.
A lâmpada (acende; não acende).
- Coloque agora açúcar na água.
A lâmpada (acende; não acende).
- Retire a solução água-açúcar e coloque água destilada no interior do becker.
- Introduza paulatinamente sal de cozinha (cloreto de sódio).
A lâmpada (acende; não acende).
- Repita a operação usando soluções de bicarbonato de sódio, sulfato de cobre, etc.

- ANÁLISE E QUESTÕES:**
- Explique o resultado obtido em c e d.
 - Na solução água-sal de cozinha existe corrente elétrica? Explique.
 - Identifique os elementos constituintes da corrente elétrica na solução de cloreto de sódio e nos fios condutores.
 - Caracterize soluções condutoras e não-condutoras de eletricidade.

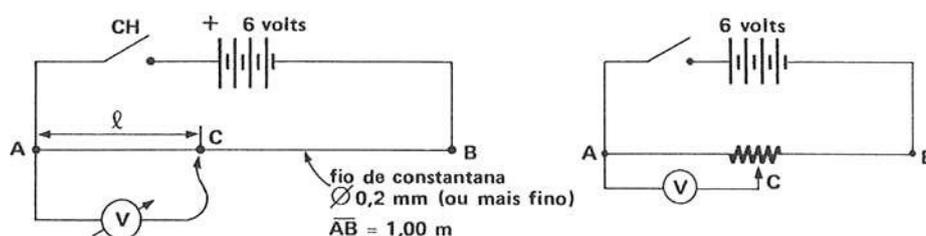
RELATÓRIO: Você deverá entregar um relatório do trabalho. Nele deverão constar claramente: nome do autor, título do trabalho, objetivos, materiais necessários, tabelas, gráficos, respostas às questões formuladas, justificativas dos resultados e suas conclusões. O trabalho não deverá ser feito em folha de papel de caderno.

EXPERIÊNCIA 2. DIVISOR DE VOLTAGEM (OU TENSÃO)

- OBJETIVOS:**
- Determinar a queda de tensão ao longo de uma resistência metálica (fio condutor).
 - Mostrar que a queda de tensão varia linearmente com o comprimento do fio.
 - Construir um divisor de tensão utilizando-se de um potenciômetro comercial.

- MATERIAL UTILIZADO:**
- fio de constantana (0,2 mm de diâmetro aproximadamente);
 - 4 pilhas de 1,5 volts cada uma;
 - base isolante de madeira de 1,20 metros de comprimento;
 - voltímetro (multitester);
 - fita métrica;
 - fiões de ligação;
 - potenciômetro comercial linear de 1,5 k Ω ou 3,0 k Ω (vide Apêndice à pág. 185)

- PROCEDIMENTO:**
- Monte sobre a base o fio de constantana esticado entre dois pontos A e B distantes 100 cm.
 - Monte o circuito conforme o diagrama abaixo. Para compreender os símbolos dos elementos do circuito, consulte a pág. 253. Faça o mesmo nas outras experiências.



- Coloque ao lado do fio uma fita métrica.
- Ligue a chave e anote a voltagem entre os pontos A e C, este variável, de 5,0 em 5,0 cm.
- Monte agora utilizando-se do potenciômetro, o circuito acima à direita e observe a variação de voltagem.

- ANÁLISE E QUESTÕES:**
- Construa uma tabela com a voltagem, em volts, e o comprimento AC do fio.
 - Construa o gráfico $V \times l$ ($l = AC$).
 - Calcule a declividade. Qual é a intensidade do campo elétrico ao longo do fio?
 - A tensão entre A e C varia linearmente com o comprimento? Explique.
 - Se você necessitar de uma voltagem igual à metade da existente entre AB, que comprimento AC você deverá considerar? Por que este circuito é chamado de divisor de tensão ou voltagem? Explique.
 - O circuito com o potenciômetro comercial é um divisor de tensão? Justifique.
 - O divisor de voltagem ou tensão fornece voltagens com variação contínua? Explique.
 - Você possui uma pilha de 1,5 volts mas, para uma experiência, necessita de apenas 0,50 volts. Explique o seu procedimento para obter os 0,50 volts.

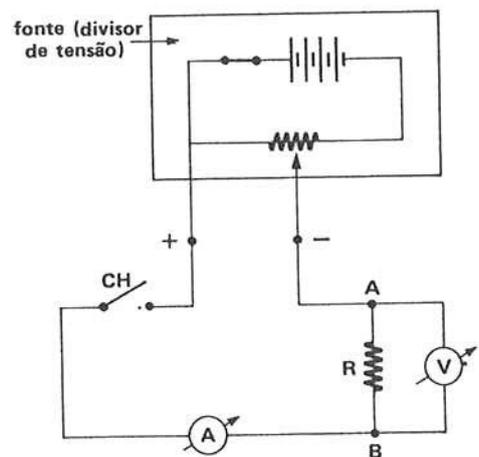
RELATÓRIO: Você deverá entregar um relatório do trabalho. Nele deverão constar claramente: nome do autor, título do trabalho, objetivos, materiais necessários, tabelas, gráficos, respostas às questões formuladas, justificativas dos resultados e suas conclusões. O trabalho não deverá ser feito em folha de papel de caderno.

EXPERIÊNCIA 3. LEI DE OHM

- OBJETIVOS:**
- Verificar a Lei de Ohm.
 - Caracterizar resistências ôhmicas.
 - Caracterizar resistências não-ôhmicas.

- MATERIAL UTILIZADO:**
- fonte de FEM variável: divisor de tensão;
 - amperímetro e voltímetros-multitesters (dois);
 - resistores de carvão de 100Ω e 220Ω , de aproximadamente 0,5 watts de potência;
 - lâmpada de lanterna, de 6,0 volts;
 - resistor VDR;
 - firos de ligação;
 - suportes para resistências (vide Apêndice à pág. 185).

- PROCEDIMENTO:**
- Monte um divisor de tensão conforme a experiência 2, utilizando-se do potenciômetro comercial.
 - Monte o circuito conforme o diagrama ao lado, inserindo entre os pontos A e B um resistor de carvão (100Ω).
 - Ligue a chave. Importante: antes de ligar a chave, cientifique-se de que não irá danificar os instrumentos. Consulte seu professor para o uso correto do multitester.
 - Varie a tensão de 0,5 em 0,5 volts (leia no voltímetro) através do divisor de tensão e leia os correspondentes valores de corrente indicados pelo amperímetro.



- Repita as operações descritas acima colocando agora uma resistência de 220Ω entre A e B. Anote os valores da voltagem e da corrente no resistor.
- Idem para a lâmpada (filamento).
- Idem para o resistor VDR.

ANÁLISE E QUESTÕES:

1. PARA O RESISTOR DE CARVÃO

- Construa uma tabela indicando as voltagens e as respectivas correntes.
- Construa um gráfico $V \times I$. É linear a relação entre voltagem e corrente?
- Escreva as correspondentes funções $V = f(I)$ para cada resistor.
- Compare a função do gráfico com a Lei de Ohm.
- O que significa a declividade das retas?
- Compare os valores das resistências obtidos experimentalmente com aqueles nominais (leia os valores através dos códigos de cores).
- Houve interferência, nos resultados da experiência, proveniente das resistências internas do amperímetro e do voltímetro?

2. PARA O FILAMENTO DA LÂMPADA

- a) Construa uma tabela indicando as voltagens e as respectivas correntes.
- b) Construa o gráfico $V \times I$. É linear a relação entre voltagem e corrente?
- c) A resistência do filamento aumenta ou diminui com o aumento da voltagem?
- d) Como varia a resistência do filamento na região de baixa voltagem (temperaturas baixas)?

3. PARA O RESISTOR VDR

- a) Construa uma tabela indicando as voltagens e as respectivas correntes.
- b) Construa um gráfico $V \times I$.
- c) Analisando o gráfico, como se comporta a resistência VDR em relação à variação de voltagem?
- d) Compare os comportamentos de um resistor de filamento aquecido e de um VDR. Qual é a diferença básica?
- e) Dos elementos que você analisou qual ou quais são ôhmicos e qual ou quais não-ôhmicos? Por quê?

RELATÓRIO: Você deverá entregar um relatório do trabalho. Nele deverão constar claramente: nome do autor, título do trabalho, objetivos, materiais necessários, tabelas, gráficos, respostas às questões formuladas, justificativas dos resultados e suas conclusões. O trabalho não deverá ser feito em folha de papel de caderno.

EXPERIÊNCIA 4. RESISTÊNCIA DE UM CONDUTOR LINEAR - RESISTIVIDADE

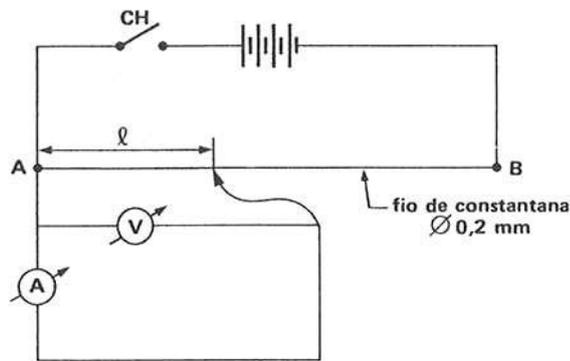
OBJETIVO: Determinar a resistividade de um condutor metálico homogêneo de seção constante.

MATERIAL UTILIZADO:

- fio de constantana de 0,2 mm de diâmetro montado em uma base de madeira;
- 4 pilhas de 1,5 volts cada uma;
- voltímetro e amperímetro (multítester);
- fita métrica.

PROCEDIMENTO:

- Monte o circuito esquematizado abaixo.
- Coloque ao lado do fio uma fita métrica.
- Ligue a chave e varie o comprimento ℓ de 5 em 5 cm.
- Leia, para cada valor de ℓ , a voltagem e a corrente indicadas pelos instrumentos de medida:



ANÁLISE E QUESTÕES:

- Construa uma tabela indicando: a voltagem, a corrente, a relação $\frac{V}{I}$ e a razão $\frac{\ell}{A}$, onde A é a área da seção transversal do fio.
- Construa um gráfico, colocando no eixo das ordenadas os valores de $R = \frac{V}{I}$ e no eixo das abscissas, os valores da razão $\frac{\ell}{A}$.
- Determine a declividade da reta obtida.
- A que grandeza física corresponde a declividade acima?
- Se utilizasse o mesmo fio de diâmetro maior, o que você esperaria para a declividade?
- Indique a unidade de medida de resistividade no SI.
- O resultado acima só é válido para condutores sólidos homogêneos de seção constante. Certo ou errado? Justifique.

RELATÓRIO: Você deverá entregar um relatório do trabalho. Nele deverão constar claramente: nome do autor, título do trabalho, objetivos, materiais necessários, tabelas, gráficos, respostas às questões formuladas, justificativas dos resultados e suas conclusões. O trabalho não deverá ser feito em folha de papel de caderno.

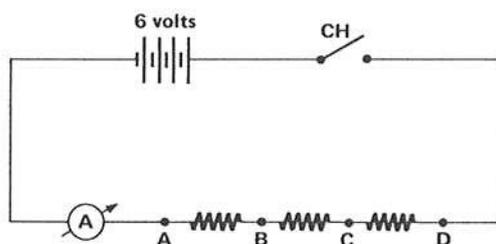
EXPERIÊNCIA 5. LEI DE OHM E ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

- OBJETIVOS:**
- Mostrar que a soma das quedas de tensão em cada resistor em série é igual à queda de tensão total aplicada nos extremos da associação.
 - Mostrar que a queda de tensão nos extremos de cada resistor de uma associação em paralelo é a mesma.
 - Verificar que a soma das correntes que fluem nos resistores associados em paralelo é igual à corrente do circuito.
 - Mostrar que para resistores associados em série e para resistores associados em paralelo valem: $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ e $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$, respectivamente.

- MATERIAL UTILIZADO:**
- fonte de FEM variável (divisor de tensão da experiência 2);
 - resistores de 100Ω , 220Ω e 330Ω ;
 - voltímetro e amperímetro;
 - fios de ligação.

PARTE A: ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE

- PROCEDIMENTO:**
- Monte o circuito esquematizado abaixo.
 - Ligue a chave e leia a corrente do circuito no amperímetro.
 - Coloque o voltímetro, sucessivamente, entre os pontos A e B, B e C, C e D e A e D. Leia a queda de tensão em cada caso.



- ANÁLISE E QUESTÕES:**
- Em qual dos resistores associados em série é maior a queda de tensão? Justifique.
 - Some as quedas de tensão em cada resistor. O que você conclui acerca da tensão obtida entre os extremos da associação em série?
 - Mostre a partir dos dados que a resistência equivalente V/I é igual à soma dos resistores associados em série.
 - Compare os valores das resistências obtidos experimentalmente com aqueles nominais (lea os valores através do código de cores).
 - A corrente é a mesma em todos os resistores? Justifique.

PARTE B: ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM PARALELO

- PROCEDIMENTO:**
- Monte o circuito esquematizado ao lado. (fig. 1)
 - Leia e anote os valores da voltagem e da corrente.
 - Coloque o amperímetro em série com R_1 e anote o valor da corrente. (fig. 2)
 - Coloque agora o amperímetro em série com R_2 e anote o valor da corrente. (fig. 3)

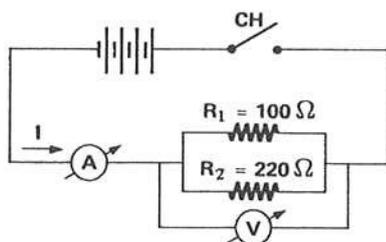


fig. 1

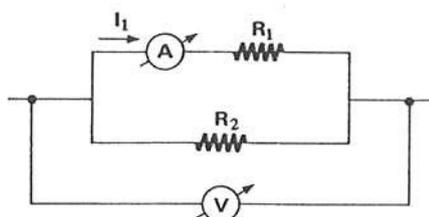


fig. 2

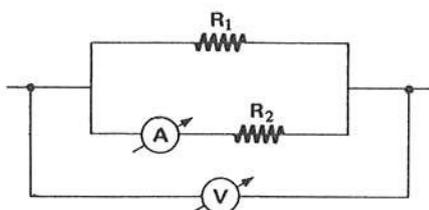


fig. 3

- ANÁLISE E QUESTÕES:**
- Verifique se $I = I_1 + I_2$.
 - Por que a voltagem nos extremos de R_1 e de R_2 é a mesma?
 - A partir de medidas de voltagem e corrente, calcule os valores de R_1 , R_2 e R_{eq} .
 - Mostre que $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.
 - Compare os resultados obtidos nas partes A e B.
 - Houve interferência significativa das resistências internas dos medidores nos resultados obtidos? Justifique.

RELATÓRIO: Você deverá entregar um relatório do trabalho. Nele deverão constar claramente: nome do autor, título do trabalho, objetivos, materiais necessários, tabelas, gráficos, respostas às questões formuladas, justificativas dos resultados e suas conclusões. O trabalho não deverá ser feito em folha de papel de caderno.

