

ELETRICIDADE

Hespanhol, Hélio José Giordani
Eletricidade / volume único
Rio de Janeiro - 2004

Proibida a reprodução, mesmo parcial,
e por qualquer processo, sem autorização
expressa do autor e do editor.

Todos os direitos reservados
Nº Registro: 326.585 Livro: 598 Folha:245

ISBN: 978-85-62331-09-1



www.podeditora.com.br
atendimento@podeditora.com.br
55 21 2236 0844

Composto e impresso no Brasil
a partir de arquivos fornecidos pelo autor
2009

ELETRICIDADE

**PROF. HÉLIO J. G.
HESPANHOL**

Todo o conteúdo programático
de eletricidade básica para as
provas da ANAC

2ª Edição

Hespanhol, Hélio José Giordani
Eletricidade / volume único
Rio de Janeiro - 2004

Proibida a reprodução, mesmo parcial,
e por qualquer processo, sem autorização
expressa do autor e do editor.

Todos os direitos reservados
Nº Registro: 326.585 Livro: 598 Folha:245

PALAVRA DO AUTOR

Esta obra é o resultado natural do trabalho desenvolvido em sala de aula, através do contato direto com os alunos. Representou, no entanto, um grande desafio. A preocupação primeira foi buscar mecanismos de incentivo ao aluno.

Como despertar no aluno, Técnico Mecânico em Aeronaves a necessidade de conhecimentos de eletricidade?

Como induzi-lo a, espontaneamente, buscar o aperfeiçoamento profissional dentro da sua especialidade?

Acredito que a verdadeira educação deve levar ao aluno o gosto pelo estudo e motivá-lo a buscar outras fontes de informação e consulta, comparando e enriquecendo a veracidade do que foi ministrado.

Um dos aspectos educacionais mais importantes, para o estudante é colocá-lo em contato com o mundo em que vive. Induzi-lo a aplicar os conceitos teóricos ministrados, às situações reais do cotidiano. Buscar a integração entre várias disciplinas e não considera-las como blocos estanques e independentes.

Nesta obra os conceitos teóricos foram colocados em uma seqüência tal que busque despertar o interesse pelo aprimoramento, aplicando-os ao seu cotidiano de uma forma natural e dinâmica.

Tendo sempre em mente estas propostas e objetivos, espero afastar dos estudantes o "horror" que costumam manifestar ao estudo da Eletricidade.

Ao final deste livro apresento uma bibliografia que muito me auxiliou neste trabalho e cuja leitura eu também recomendo.

Espero que este livro encontre boa receptividade por todos aqueles que procuram alargar seus conhecimentos sobre o assunto.

Os caminhos estão abertos. Aguardo críticas e sugestões que certamente contribuirão para o aperfeiçoamento de tornar seu conteúdo mais ameno e agradável. Aceitarei de bom grado qualquer comentário no sentido de melhorá-lo. Sempre.

Prof.: Hélio J. G. Hespanhol
- O Autor -

Dedico à minha amada esposa
Rosemary e minhas filhas
Déborah e **Dafny**, sem as
quais esta obra não seria
possível.

PARTE I - ELETROSTÁTICA E ELETRODINÂMICA

1. Eletrização - Carga elétrica	
1.1 Introdução	15
1.2 Átomo - estrutura atômica	16
1.3 Carga elétrica	17
1.4 Condutores e isolantes	23
1.5 Corpo eletrizado e corpo neutro	24
1.6 Eletroscópios	24
1.7 Medida de carga elétrica	26
Aplicações da eletrostática	27
2. Campo elétrico	
2.1 Definição	31
2.2 Linhas de força	31
2.3 Distribuição de carga em um condutor	32
2.4 Blindagem eletrostática	33
2.5 Poder das pontas	35
2.6 Raio, relâmpago e trovão.	36
2.7 Pára raios	36
A eletricidade estática	37
3. Corrente elétrica	
3.1 Definição	41
3.2 Sentido convencional	42
3.3 Intensidade da corrente elétrica	44
3.4 Medida da intensidade da corrente elétrica	45
3.5 Diferença de potencial	45
3.6 Associação de pilhas ou baterias	47
3.7 Corrente contínua e corrente alternada	48

4. Resistência elétrica	
4.1 Definição	51
4.2 Fatores que influem no valor da resistência	51
4.3 Código de cores	53
4.4 Lei de Ohm	55
4.5 Resistividade de um material	55
4.6 Reostatos e potenciômetros	56
4.7 Associação de resistores	58
O que é a supercondutividade?	59
5. Efeitos da corrente elétrica	
5.1 Efeito fisiológico	65
5.2 Efeito Piezoelétrico	66
5.3 Efeito fotoelétrico	66
5.4 Potência elétrica	66
5.5 Efeito térmico ou Efeito Joule	67
5.6 Eficiência de um aparelho elétrico	67
5.7 Algumas aplicações do efeito Joule	69
5.8 Curto circuito	70
5.9 Medida de energia elétrica	71
5.10. Corrente elétrica nos líquidos	72
6. Baterias	
6.1 Célula primária e secundária	77
6.2 Pilha seca	78
6.2.1 Constituição da pilha	78
6.2.2 Funcionamento da pilha	79
6.3 Bateria chumbo-ácido	80
6.3.1 Constituição da célula	80
6.3.2 Funcionamento da célula	82

6.3.3	Classificação das baterias	84
6.3.4	Vida das baterias	85
6.3.5	Métodos de teste	85
6.3.6	Métodos de carga	87
6.4	Bateria Níquel-cádmio	88
6.4.1	Constituição da célula	89
6.4.2	Funcionamento da célula	89
6.4.3	Manutenção baterias níquel-cádmio	90

PARTE II: ELETROMAGNETISMO

1. Magnetismo

1.1	História	97
1.2	Pólos de um imã	98
1.3	Força entre os pólos	98
1.4	Comportamento magnético terrestre	99
1.5	Campo magnético	100
1.6	Linhas de indução	100

2. Fenômenos eletromagnéticos

2.1	Classificação das substâncias	103
2.2	Imantação de uma substância	105
2.3	Experiência de Oersted	106
2.4	Campo magnético de um condutor	107
2.5	Campo de um solenóide	108
2.6	Eletroímã	109
2.7	Aplicações do eletroímã	110

3. Campo magnético e corrente elétrica

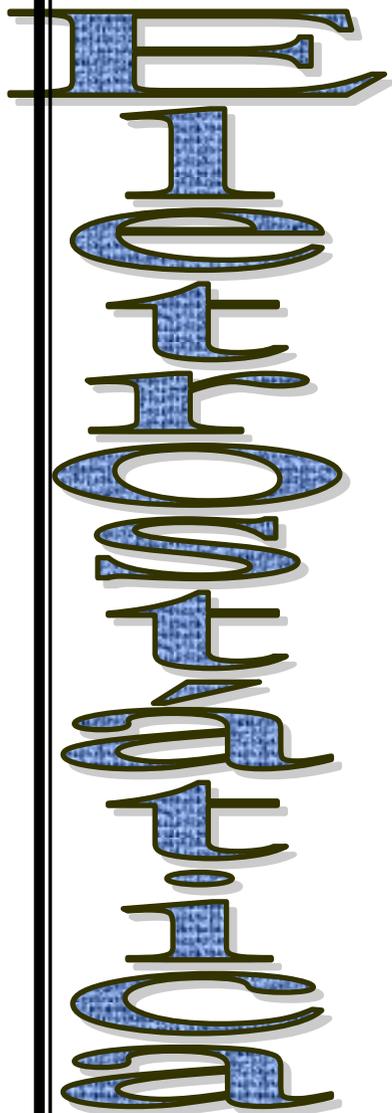
3.1	Força magnética sobre um condutor	115
3.2	Direção e sentido da força magnética	116

3.3 Motor elétrico de corrente contínua	117
4. Indução eletromagnética	
4.1 Corrente induzida	121
4.2 Fluxo magnético	122
4.3 Lei de Faraday	123
4.4 Gerador de corrente alternada	123
4.5 O transformador	125
4.5.1. Tipos de transformadores	127
4.5.2. Perdas nos transformadores	129
4.5.3. Potência nos transformadores	130
4.6 Circuitos retificadores	132
5. Comparação entre C.C. e C.A.	
5.1 Valores de corrente e tensão alternada	137
5.2 Ciclo e frequência	139
5.3 Reatância indutiva	141
5.4 Reatância capacitiva	144
5.5 Lei de ohm para circuitos C.A.	148
6. Instrumentos de medição	
6.1 Tipos de instrumentos	155
6.2 Aplicações dos instrumentos	165
6.3 Sistema de amortecimento	172
6.4 Sensibilidade	173

Parte I

*O mundo pertence ao
homem que é
suficientemente sábio
para mudar seu modo de
pensar diante dos fatos.*

Roy Smith



1. Eletrização - Carga elétrica

1.1 Introdução

O estudo da eletricidade teve início aproximadamente no século VI a.C. na cidade de Mileto na Grécia. O filósofo Tales observou que o âmbar (pedra usada na época, para fabricação de jóias e objetos de decoração), ao ser atritado com a pele de animais adquiria a propriedade de atrair alguns objetos leves, tais como sementes de cereais e palha.

Hoje, sabemos que muitos outros materiais podem se comportar de maneira semelhante ao âmbar quando atritado. Neste caso dizemos que o corpo está eletrizado.

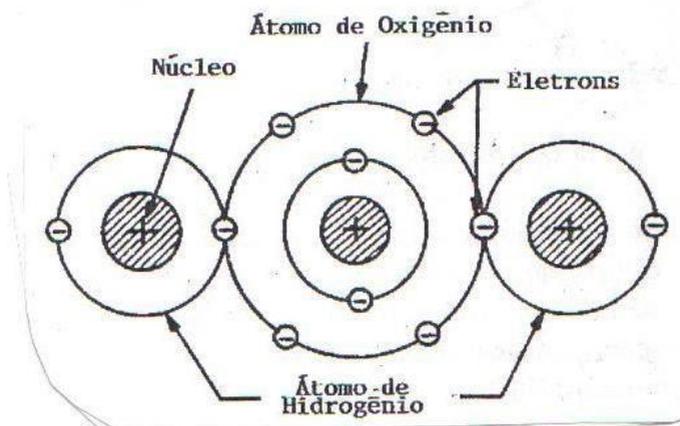
Diversas teorias foram propostas para justificar esses fenômenos de atração e repulsão entre os corpos. A teoria aceita hoje, atualmente, é de que todos os corpos são formados de átomos. Os átomos possuem três partículas elementares: prótons, nêutrons e elétrons. Os prótons e os nêutrons localizam-se no núcleo do átomo. Os elétrons movem-se ao redor do núcleo. Os prótons e os elétrons possuem uma propriedade física denominada carga elétrica.

Matéria é definida como algo que possui massa (peso) e ocupa lugar no espaço. Logo, matéria é alguma coisa que existe, seja no estado líquido, sólido ou gasoso. A matéria pode ser apresentada de diversas formas, tais como: ferro, água, óleo, madeira, ar, etc.

Denominamos molécula a menor partícula da matéria, em qualquer estado ou forma que conserva sua identidade e características químicas. É a reunião de dois ou mais átomos, isto é, a menor partícula da matéria composta.

Substâncias simples são aquelas formadas por apenas um único tipo de átomo. Na natureza, a maioria das substâncias possui mais de um tipo de átomo, e são chamadas substâncias compostas, isto é, são combinações de dois ou mais tipos de átomos.

Ex.: Molécula de água (H_2O) - Possui um átomo de Oxigênio e dois átomos de Hidrogênio.



1.2 Átomo - Estrutura atômica

O modelo atômico, em uso até hoje, foi proposto pelo físico Ernest Rutherford. Neste modelo, o átomo é descrito como um sistema solar em miniatura. Em 1930, foi acrescentada uma partícula chamada nêutron, que faz parte do núcleo atômico.

Novos conhecimentos, tornam este modelo, cada vez mais complexo. Porém, em todos eles, os elétrons, os prótons e os nêutrons continuam presentes como partículas elementares do átomo.

O átomo é a menor partícula possível em que um elemento pode ser dividido, conservando ainda suas

propriedades químicas. É a parte constitutiva básica de toda matéria. Convém ressaltar que há experiências que sugerem a existência de partículas menores, e com carga menor que um elétron, denominada quarks, porém este assunto foge ao propósito deste livro.

O átomo é formado por um ou mais elétrons orbitando velozmente em torno de um núcleo.

O elétron é a carga negativa básica. Alguns elétrons são mais fortemente ligados ao núcleo de seu átomo do que outros e giram em órbitas mais próximas ao núcleo, enquanto outros ocupam camadas mais distantes e por isso orbitam mais livremente.

Estes últimos são chamados de elétrons livres, porque podem ficar livres com facilidade da atração positiva do núcleo para formar o fluxo de elétrons.

O próton possui carga positiva e juntamente com o nêutron, que não possui carga, constitui o núcleo do átomo.

Quando a carga positiva do próton, no núcleo, se equilibra com a carga negativa dos elétrons, em órbita, diz-se que o átomo possui carga neutra.

Se o átomo possuir escassez de elétrons, ele está carregado positivamente, é chamado de íon positivo. Se possuir excesso de elétrons, está carregado negativamente e é chamado de íon negativo.

1.3 Carga elétrica

Quando um corpo está eletrizado, dizemos também que possui uma carga elétrica e, em situação não eletrizado, dizemos que está neutro ou descarregado.

Em condições de carga neutra, um átomo tem um elétron para cada próton existente no núcleo.

Os átomos formam os vários elementos existentes na natureza, variando de 1 (um), no caso do Hidrogênio, até 92 para o Urânio.

Os elétrons girando em torno do núcleo, são dispostos em camadas. Cada camada pode conter um número máximo de elétrons; se essa quantidade for excedida, os elétrons serão obrigados a ocuparem a camada mais alta ou externa.

Exemplo: 1^a - camada: 2 elétrons
2^a - camada: 8 elétrons
3^a - camada: 18 elétrons
4^a - camada: 32 elétrons...

Convém ressaltar que em alguns átomos mais complexos, os elétrons podem estar dispostos nas camadas mais externas antes que algumas camadas internas estejam completas. Existem diversas regras e condições a serem cumpridas para que um elétron ocupe uma camada mais externa. Todas essas regras são estudadas em química. Ao nosso estudo, eletricidade importa-nos o deslocamento de um elétron de um átomo para outro, bem como o fenômeno de atração entre o elétron e o próton.

Podemos então concluir o princípio fundamental da eletrostática, chamado de atração e repulsão:

"Cargas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinais contrários se atraem."

A eletrização, isto é, transferência de elétrons de um corpo para outro, pode ser realizada por três processos diferentes:

a) **Eletrização por atrito** - consiste na troca de elétrons entre os corpos pelo atrito. Quando dois corpos de naturezas diferentes são atritados entre si fornecemos energia ao conjunto, como por exemplo, um bastão de vidro

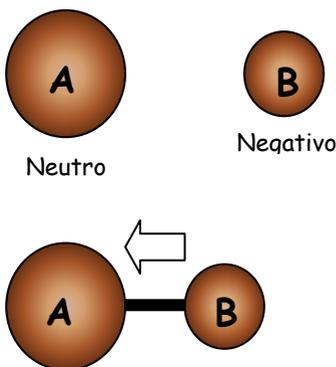
e um pano de seda, e essa energia é capaz de desprender elétrons da última camada.

Ao final da experiência, verificamos que o pano de seda torna-se carregado negativamente, enquanto que o bastão de vidro fica positivo. Os elétrons do bastão de vidro transferiram-se de maneira forçada para o pano de seda.

Note que ao final do processo, os corpos ficam com cargas de sinais contrários. A carga total inicial tem que ser igual à carga total final. Se considerarmos um sistema isolado, o bastão de vidro e o pano de seda ficam eletrizados com carga de mesmo valor absoluto.

b) **Eletrização por contato** - Caracteriza-se por haver apenas o contato entre os corpos, isto é, sem atrito. Trata-se da simples redistribuição da carga elétrica em excesso, por todo o sistema em contato. Devemos considerar a diferença de massa existente entre os corpos. Para melhor compreensão, analisaremos três casos, a seguir:

Caso 1: Consideremos um corpo A com carga neutra, em contato com outro corpo B, carregado negativamente.

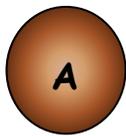


Observe que:

Os elétrons migram do lugar onde há muitos para o lugar onde há poucos.

O corpo A estava inicialmente neutro e torna-se carregado negativamente

O corpo B continua com carga negativa, porém com uma carga menor.



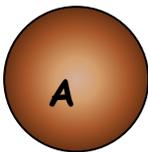
Negativo



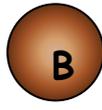
Negativo

A carga total se mantém constante.

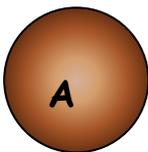
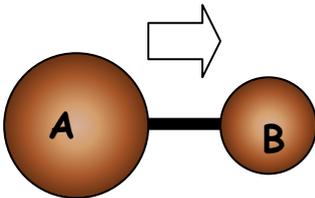
Caso 2: Um corpo A com carga neutra, em contato com um outro corpo B, carregado positivamente.



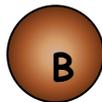
Neutro



Positivo



Positivo



Positivo

Observe que:

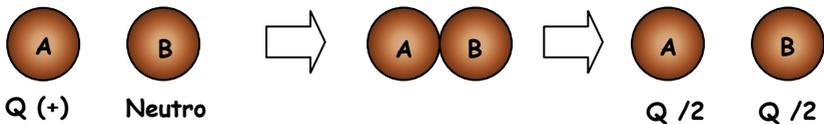
Os elétrons migram do lugar onde há muitos para o lugar onde há poucos.

O corpo A estava inicialmente neutro e torna-se carregado positivamente

O corpo B continua com carga positiva, porém com uma carga menor.

A carga total se mantém constante.

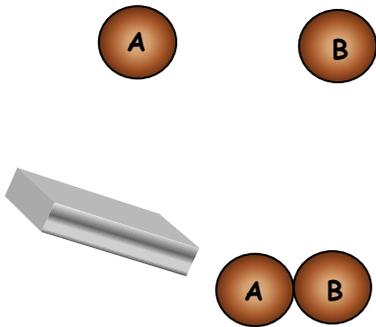
Caso 3: Quando os corpos colocados em contato, são da mesma espécie, mesma forma e mesmas dimensões, o excesso de carga se distribui igualmente por suas superfícies de tal maneira que, após a eletrização por contato, os corpos ficarão com cargas iguais. Observe:



Quando ligamos um corpo eletrizado à Terra, observamos que o mesmo sofre uma descarga total, ou seja sua carga final passa a ser nula. Este fato torna-se fácil ser entendido, basta apenas pensar na disparidade de massa existente entre o corpo eletrizado e o planeta Terra.

Quando um corpo condutor eletrizado positivamente for ligado à Terra, o planeta cede elétrons ao corpo até a sua descarga completa. Quando o corpo condutor for negativo, os elétrons em excesso no corpo escoam para a Terra até sua descarga completa. Em eletricidade chamamos este fenômeno de *ATERRAMENTO*.

c) **Eletrização por indução** - consiste na eletrização de um corpo condutor somente pela aproximação de um outro corpo, previamente eletrizado, sem que haja contato físico entre eles. Vejamos o funcionamento deste processo, passo a passo, nas figuras abaixo.



Dois corpos, A e B, inicialmente neutros são postos em contato e aproximados de um bastão carregado positivamente.

Ocorre, então, uma polarização, isto é, os elétrons livres são atraídos para a esfera A, próxima ao bastão e a esfera B fica com falta de elétrons.



Ainda em presença do bastão separam-se as esferas e em seguida retira-se o bastão.

A esfera A ficou carregada negativamente e a esfera B com carga positiva. A carga do bastão não se alterou. A carga total permanece constante.

No processo de eletrização por indução são necessários, no mínimo, três corpos.