

Leitura nº 1: Orientações Pedagógicas

Porque ensinar

- Voltagem, corrente, resistência e potência elétrica são conceitos fundamentais em eletrodinâmica.
- O aluno convive com esses termos em seu vocabulário sem compreender muito bem o seu significado.
- Saber operar essas grandezas contribui para uma melhor compreensão dos processos que envolvem transformações de energia em circuitos elétricos.

Condições prévias para ensinar

Nesse momento do curso, provavelmente já foram trabalhados:

- As formas de energia mais conhecidas;
- A idéia de que a energia sofre transformação;
- A idéia de que a energia total de um sistema se conserva nas transformações;
- As transformações de energia em circuitos elétricos;
- As características de um circuito elétrico simples;
- Os processos que geram energia elétrica a partir de outras formas de energia;
- O conceito de potência e as conversões de unidade.

O que ensinar

Pelo o que está fixado no CBC, nesse tópico pretende-se que o aluno:

- entenda o conceito de voltagem (tensão ou ddp) como sendo a razão entre a energia aplicada em um elemento de um circuito e a quantidade de carga elétrica que passa através desse elemento e saiba a unidade medida da voltagem no SI.
- compreenda a corrente elétrica como fluxo de elétrons livres nos condutores metálicos, saiba que corrente elétrica é a razão entre a quantidade de carga elétrica que passa por um determinado ponto de um circuito e o intervalo de tempo decorrido e sua unidade de medida no SI.
- compreenda o conceito de resistência elétrica e sua unidade de medida no SI.
- compreenda o conceito de potência elétrica como sendo o produto da voltagem aplicada num elemento do circuito pela corrente elétrica que passa por esse elemento.
- saber resolver problemas envolvendo os conceitos de potência elétrica, voltagem e corrente elétrica em circuitos simples.

Como ensinar

Uma analogia entre um circuito elétrico e o sistema de bombeamento de água de um poço para uma caixa d'água pode ser útil para que o aluno compreenda o conceito de diferença de potencial em um circuito elétrico. O uso da água da caixa d'água para mover uma roda d'água ajuda a entender o conceito de queda de tensão e as transformações de energia num circuito elétrico.

A partir daí o conceito pode ser aprofundado e a expressão $V = \text{energia}/\text{carga}$ pode ser introduzida. Partimos então para outros elementos do circuito.

Continuando a analogia a corrente elétrica pode ser comparada ao fluxo de água em uma mangueira (lembrando-se sempre de que o movimento de elétrons em um condutor é muito mais desordenado que o movimento da água dentro da mangueira). Comparando-se o fio elétrico com a mangueira, caso o professor tenha um pedaço de mangueira em mãos, pode cortá-lo e mostrar para os alunos o que seria uma “seção reta”. A partir daí, a corrente pode ser calculada como sendo a quantidade de cargas elétricas que atravessa a seção reta de um condutor em uma unidade de tempo ($i = \Delta q / \Delta t$).

Introduz-se o conceito de resistência elétrica como sendo a dificuldade oferecida pelo condutor à passagem de corrente e, através da observação por parte dos alunos, da espessura e comprimento de filamentos de lâmpadas, fusíveis e resistências de chuveiro, relaciona-se qualitativamente essas grandezas à resistência do material.

A Lei de Ohm pode ser verificada caso o professor tenha acesso a um multímetro e se utilize de resistores comerciais para mostrar que para resistências constantes, V é proporcional a i . Para isso, basta ligar um resistor comercial respectivamente a um conjunto de uma, duas, três, quatro pilhas ligadas em série e verificar a leitura do amperímetro.

A montagem de circuitos série e paralelo, seja com pilhas comuns e lâmpadas de lanterna ou com lâmpadas residenciais incandescentes ligadas na rede elétrica, é muito útil para a visualização e compreensão das características desse tipo de circuito.

Como avaliar

A avaliação da aprendizagem em física não precisa se limitar ao uso de provas ou resolução de exercícios. No entanto, questões que envolvem quantitativamente a análise de circuitos elétricos são facilmente encontradas nos livros textos.

Outra verificação da aprendizagem pode ser feita fazendo com que os alunos construam circuitos elétricos em série e paralelo e identifiquem seus componentes e as grandezas envolvidas.

Leitura nº 1: A Eletricidade

INTRODUÇÃO

O estudo da eletricidade tem uma longa história. Ele seguiu, no entanto, um caminho diferente daquele tomado pelo estudo da mecânica ou da termodinâmica. Enquanto nestas disciplinas os desenvolvimentos teóricos desempenharam um papel central, o estudo da eletricidade reduziu-se por muito tempo a uma sucessão de descobertas experimentais, não se integrando em uma construção teórica detalhada.

Certos fenômenos elétricos são conhecidos desde a antiguidade. Os gregos conheciam a propriedade do âmbar (*eléctron* em grego) que, depois de atritado com um pedaço de tecido seco, se tornava capaz de atrair pequenos objetos como pedaços de algodão. Esse fenômeno é hoje interpretado pelo aparecimento, na superfície do âmbar, sob o efeito da fricção, de uma carga elétrica responsável pela atração.

RÃS E PILHAS ELÉTRICAS

O estudo sistemático de fenômenos elétricos só se iniciou em 1672, quando Otto Von Guericke inventou uma máquina que produzia uma quantidade relativamente grande de eletricidade pela fricção de uma esfera de enxofre posta em rotação com a ajuda de uma manivela. Em 1729, Stephen Gray descobriu a transmissão de

eletricidade de um corpo para outro e distinguiu entre condutores e isolantes. A partir dessa descoberta, a eletricidade foi identificada como um fluido imponderável contido nos corpos. Duas opiniões, contudo, se opunham a este respeito. Uma era a de Charles François Du Fay que, em 1733 distinguiu entre eletricidade “vítrea”, obtida pela fricção do vidro, e “resinosa”, obtida pela fricção do âmbar ou da resina. Tal como os pólos magnéticos, os pólos dotados de mesma eletricidade se repelem, ao passo que aqueles dotados de eletricidades contrárias se atraem. A outra opinião era a de Benjamim Franklin que, em 1747, afirmou que a natureza encerra apenas um só tipo de “fluido elétrico”; este está presente em todos os corpos, não é jamais criado ou destruído, conservando-se ao passar de um corpo para outro. Considerando que os dois tipos de eletricidade de Du Fay traduziam simplesmente um excedente ou um déficit desse fluido único. Franklin identificou arbitrariamente a eletricidade vítrea a um excedente de fluido, isto é, a uma carga elétrica positiva; e a eletricidade resinosa a uma falta de fluido, isto é, a uma carga negativa.

A controvérsia entre os defensores da teoria dos dois fluidos e os da teoria do fluido único durou muitos anos. Até hoje é difícil dizer em que campo se situa a verdade. Para os físicos contemporâneos, os átomos de um corpo negativamente carregado possuem um excesso de elétrons, ao passo que os de um corpo positivamente carregado manifestam um déficit de elétrons, de tal modo que a carga elétrica se comporta como o fluido único de Franklin – a não ser pelo fato de que Franklin se enganou ao identificar a eletricidade vítrea a um excesso de fluido elétrico. Se considerarmos porém a própria estrutura dos átomos e das partículas elementares que compõem seus núcleos, constatamos que a cada partícula positivamente carregada corresponde na natureza uma partícula idêntica mas de carga exatamente oposta; é difícil dizer que uma dessas duas partículas corresponde a um excedente e não a um déficit. De maneira geral, contudo, os físicos atuais não procuram saber qual é a “verdadeira” natureza da eletricidade. Basta-lhes saber que ela é uma quantidade passível de descrição através de números que podem assumir valores positivos ou negativos.

As descobertas realizadas no século XVIII sobre os fenômenos elétricos despertaram não só o interesse dos cientistas como o entusiasmo do grande público. Assim, elas deram origem a um novo jogo de salão: as pessoas formavam uma cadeia humana, dando-se as mãos, e as duas que se encontravam nas extremidades da cadeia tocavam dois corpos eletricamente carregados por uma máquina parecida com a de Guericke. A corrente passava, as pessoas estremeciam, e todos riam às gargalhadas. Se o choque elétrico era na época o único meio seguro de detectar quantidades de eletricidade, faziam-se também investigações mais sérias sobre esses fenômenos. Em especial, certos físicos tentaram descrever as forças elétricas segundo o modelo da lei de atração universal de Newton. Em 1785, Augustin de Coulomb afirmou a existência de uma lei de atração e repulsão elétrica segundo a qual a intensidade da força diminuía com o quadrado da distância. Essa lei tem uma forma matemática análoga à de Newton, diferindo unicamente pelo fato de dizerem respeito a forças ora atrativas, ora repulsivas, ao passo que a força de gravitação é sempre atrativa.

Pareceu assim, durante algum tempo, que era possível descrever os fenômenos elétricos segundo o modelo newtoniano, isto é, em um quadro conceitual aceito. Em 1780, contudo, Luigi Galvani, professor de anatomia na Universidade de Bolonha, descobriu por acaso um fenômeno novo: a corrente elétrica. Ele observou que quando se aplica ao corpo de uma rã que está sendo dissecada duas placas de metais diferentes ligadas por um fio condutor, as patas da rã se contraem fortemente. Alguns viram nesse fenômeno a prova de uma “eletricidade dos organismos vivos”. Mas Alessandro Volta, que estudou o fenômeno, compreendeu que ele ficava na verdade

circunscrito entre as duas placas metálicas e que o corpo da rã se comportava nesse caso como um simples aparelho de medida. Para reproduzir e ampliar esse efeito, Volta construiu um dispositivo superpondo um grande número de placas de zinco, de cobre e de papelão embevecidas em ácido. Foi a primeira “pilha” elétrica. Dali em diante, tornou-se possível criar correntes elétricas estáveis, susceptíveis de serem estudadas com calma. No entanto, o vínculo que unia as correntes de Galvani e de Volta às cargas elétricas obtidas por fricção continuava obscuro – alguns físicos chegavam até a distinguir entre fenômenos “elétricos” e fenômenos “galvânicos” – e, foi somente após várias décadas de pesquisas que se chegou a estabelecer que a corrente elétrica nada mais é que um deslocamento de cargas elétricas.

Texto extraído e condensado a partir do capítulo 9
do livro Convite à Física de Yoav Ben Dov

Leitura nº 2: Voltagem, Corrente, Resistência e Potência Elétrica

Potencial Elétrico

Quando estudamos energia, aprendemos que um objeto possui energia potencial gravitacional em virtude de sua localização no interior do campo gravitacional. Analogamente, um objeto eletrizado possui uma energia potencial em virtude de sua localização no interior de um campo elétrico. Da mesma forma como é necessário realizar trabalho para erguer um objeto massivo contra o campo gravitacional da Terra, trabalho também é necessário para empurrar uma partícula carregada contra o campo elétrico gerado por um outro corpo eletrizado. Esse trabalho altera a energia potencial elétrica da partícula carregada. Considere uma partícula com carga elétrica positiva localizada a uma certa distância de uma esfera positivamente eletrizada. Se você empurrar a partícula para mais próximo da esfera, você gastará energia para vencer a repulsão elétrica existente; ou seja, você realizará trabalho ao empurrar a partícula eletrizada contra o campo elétrico gerado pela esfera. Esse trabalho aumenta a energia da partícula. Chamamos de **energia potencial elétrica** a energia que a partícula possui em virtude de sua localização. Se a partícula solta, ela acelera, se afastando da esfera, enquanto sua energia potencial elétrica vai sendo convertida em energia cinética.

Se, por outro lado, nós empurrarmos uma partícula com duas vezes mais carga elétrica, realizaremos duas vezes mais trabalho sobre ela, de modo que uma partícula cuja carga foi dobrada, estando na mesma posição espacial, terá duas vezes mais energia potencial elétrica do que originalmente. Uma partícula com carga triplicada terá energia potencial elétrica triplicada; dez vezes mais carga, dez vezes mais energia potencial; e assim por diante. Em vez de tratar com a energia potencial de um corpo eletrizado, ao tratar-se partículas carregadas em um campo elétrico é mais conveniente considerar a energia potencial elétrica por *unidade de carga*. Simplesmente dividimos o valor da energia potencial, em qualquer caso, pela quantidade de carga. Por exemplo, uma partícula com dez vezes mais carga do que outra terá dez vezes mais energia potencial - mas ter dez vezes mais carga significa ter a mesma energia potencial por unidade de carga. O conceito de energia potencial por unidade de carga é denominado potencial elétrico; ou seja:

$$\text{Potencial elétrico} = \frac{\text{Energia potencial elétrica}}{\text{carga}}$$

A unidade empregada para medir o potencial elétrico é o Volt, de modo que o potencial elétrico freqüentemente é chamado de *voltagem*. Um potencial de 1 volt (V) é igual a 1 Joule (J) de energia para cada 1 Coulomb (C) de carga.

Portanto, uma bateria de 1,5 volts fornece 1,5 joules de energia a cada 1 Coulomb de carga que a atravessa. Os dois termos, *potencial elétrico* e *voltagem*, são populares, de modo que ambos podem ser empregados. Neste livro, ambos serão usados indistintamente.

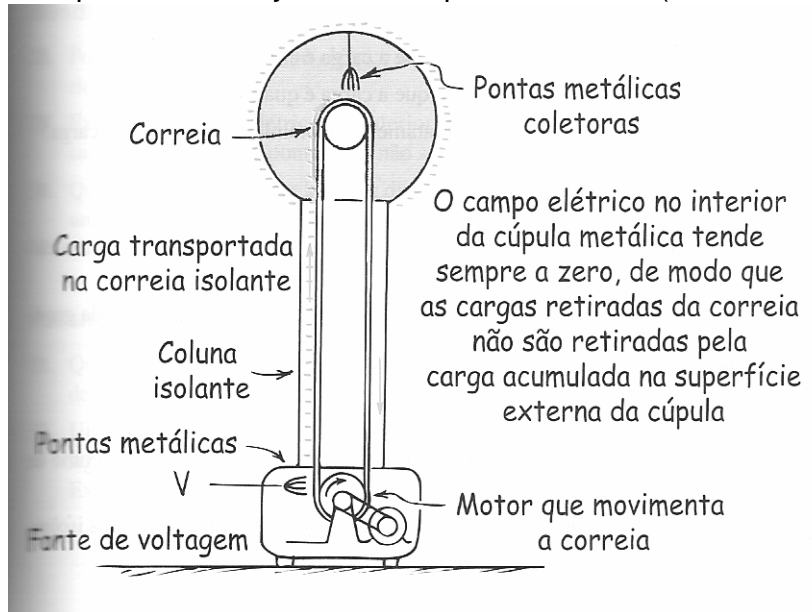
O significado do potencial elétrico (voltagem) é que um valor bem definido dele pode ser assinalado a cada localização espacial. Podemos falar no potencial elétrico em diversos pontos no interior de um campo elétrico, estejam cargas presentes ou não ocupando tais posições (desde que um ponto de voltagem nula seja especificado). Analogamente com as voltagens em várias localizações de um circuito elétrico. Em um ponto do terminal positivo de uma bateria de 12 volts é mantido a uma voltagem 12 volts mais elevada do que um ponto do terminal negativo dessa bateria. Quando um meio condutor conectar esses terminais mantidos a voltagens diferentes, as cargas existentes no meio se movimentarão entre eles.

Esfregue um balão de borracha em seu cabelo e ele se tomará negativamente carregado - talvez a milhares de volts! Isto corresponderia a vários milhares de joules de energia se a carga fosse 1 Coulomb. Entretanto, 1 Coulomb é uma quantidade muito grande de carga. A carga adquirida por um balão de borracha é tipicamente muito menor do que um milionésimo de Coulomb. Portanto, a quantidade de energia associada ao balão carregado é muito pequena. Uma alta voltagem significa um monte de energia apenas se um monte de carga está envolvida. Há uma diferença importante entre energia potencial elétrica e potencial elétrico.

Gerador de Van de Graaff

Um aparelho comum de laboratório para obter altas voltagens é o *gerador Van de Graaff*. Essa é uma das máquinas de produzir raios usadas pelos cientistas malucos nos antigos filmes de ficção científica. Um modelo básico do gerador Van de Graaff é mostrado na Figura 22.30. Uma grande esfera metálica oca é sustentada por um cilindro isolante. Uma esteira de borracha movimentada por um motor, localizada no interior de um suporte cilíndrico, passa friccionando-se num conjunto de farpas de metal, como se formassem um pente, que é mantido a um grande potencial negativo com respeito ao solo. Através das descargas que ocorrem nessas pontas metálicas, um suprimento contínuo de elétrons se deposita sobre a esteira, que circula pelo interior da cúpula oca condutora. Uma vez que o campo elétrico no interior de um condutor é nulo, as cargas sobre a esteira acabam escapando por outro conjunto de farpas metálicas (minúsculos

pára-raios) e depositam-se no interior da cúpula. Os elétrons, então, se repelem mutuamente, dirigindo-se para a superfície exterior da cúpula condutora. A carga estática sempre fica por fora da superfície externa de qualquer condutor. Isso mantém o interior descarregado e capaz de receber mais elétrons trazidos pela esteira. O processo é contínuo e a carga na cúpula aumenta até que o potencial negativo da cúpula seja muito maior do que na fonte de voltagem na parte inferior do aparelho - da ordem de milhões de volts.



Uma esfera com um raio de um metro pode ser levada a um potencial de 3 milhões de volts antes que ocorra uma descarga elétrica através do ar. A voltagem pode ser elevada ainda mais, aumentando-se o raio da cúpula ou colocando o aparelho todo dentro de um recinto preenchido com gás a uma alta pressão. Geradores Van de Graaff podem produzir voltagens tão altas quanto 20 milhões de volts. Essas voltagens aceleram partículas carregadas que são usadas como projéteis para penetrar nos núcleos atômicos. Tocar um desses geradores pode ser uma experiência de arrepiar os cabelos.

Fluxo de Carga

Lembre-se de nossos estudos sobre calor e temperatura. que quando as extremidades de um material condutor estão há temperaturas diferentes, a energia térmica flui da extremidade mais quente para a mais fria. O fluxo cessa quando ambas alcançam uma mesma temperatura. Analogamente quando as extremidades de um material condutor elétrico estão em diferentes potenciais elétricos - quando existe uma **diferença de potencial** entre elas - a carga flui de uma extremidade para a outra. O fluxo de carga persiste enquanto existir uma diferença de potencial. Sem uma diferença de potencial, nenhuma carga fluirá. Se conectarmos uma extremidade de um fio condutor a um gerador Van de Graaff carregado, e a outra ponta ao solo, uma torrente de carga fluirá através do fio. O fluxo será breve, pois a cúpula do gerador rapidamente atinge um potencial em comum com o solo.

Para obter um fluxo ininterrupto de carga em um condutor é preciso que algum arranjo seja providenciado para manter uma diferença de potencial enquanto as cargas se

movem de uma extremidade para outra. A situação é análoga ao fluxo de água de um reservatório mais alto para outro mais baixo. A água fluirá através de um tubo que conecta os dois reservatórios apenas enquanto existir um desnível da água nos dois reservatórios. O fluxo de água no tubo, como o fluxo de cargas no fio que conecta o gerador Van de Graaff ao solo, cessará quando as pressões nas extremidades tornarem-se iguais. É possível haver um fluxo contínuo se a diferença entre os níveis da água - e daí entre as pressões da água - for mantido com a utilização de uma bomba apropriada.

Corrente Elétrica

Da mesma forma que uma corrente de água é um fluxo de moléculas de água, uma corrente elétrica nada mais é do que um fluxo de carga elétrica. Em circuitos formados por fios de metal, são os elétrons que formam a corrente. Isso porque um ou mais elétrons de cada átomo do metal estão livres para se mover através da rede atômica. Esses portadores de carga são chamados de *elétrons de condução*. Os prótons, por outro lado, não se movimentam, pois estão firmemente ligados aos núcleos dos átomos que estão mais ou menos presos a posições fixas. Em fluidos condutores - tais como o líquido usado nas baterias dos carros - entretanto, são íons positivos que normalmente constituem o fluxo de carga elétrica.

A taxa do fluxo elétrico é medida em *Ampères*. Um Ampère é uma taxa de fluxo igual a 1 Coulomb de carga por segundo. (Lembre-se de que 1 Coulomb, a unidade padrão de carga, é a carga elétrica de 6,25 bilhões de bilhões de elétrons.) Num fio que transporta 5 Ampères, por exemplo, 5 Coulombs de carga passam através de qualquer seção transversal do fio a cada segundo. Isso é uma quantidade gigantesca de elétrons! E num fio que transporta 10 Ampères, duas vezes mais elétrons passam por qualquer seção do fio a cada segundo.

É interessante observar que um fio transportando uma corrente não está eletricamente carregado. Sob condições normais, os elétrons de condução negativos se deslocam através da rede atômica formada pelos íons positivamente carregados. Portanto, existem tantos elétrons quantos são os prótons, dentro do fio. Esteja o fio transportando uma corrente ou não, a carga líquida dele normalmente é nula a cada instante.

Fontes de voltagem

As cargas fluem somente quando são "empurradas" ou "impelidas". Uma corrente sustentada requer um dispositivo de "bombeamento" adequado para fornecer uma diferença de potencial elétrico - uma voltagem. Se carregarmos duas esferas condutoras, uma positivamente e outra negativamente, podemos obter uma grande voltagem entre as esferas. Esta, entretanto, não é uma boa fonte de voltagem, pois quando as esferas são conectadas por meio condutor, os potenciais acabam se igualando após um breve fluxo de carga. Ela não é prática. Geradores elétricos e baterias químicas, por outro lado, são fontes de energia em circuitos elétricos e são capazes de sustentar um fluxo constante de carga.

Baterias e geradores elétricos realizam um trabalho para levar cargas negativas para longe das positivas. Nas baterias químicas, esse trabalho é realizado pela desintegração do zinco ou do chumbo em ácido, com a energia armazenada nas ligações químicas sendo convertida em energia potencial elétrica. Geradores tais como os alternadores dos automóveis separam as cargas por indução eletromagnética. O trabalho realizado por qualquer que seja o dispositivo usado para separar as cargas opostas está disponível nos terminais da bateria ou do gerador. Esses diferentes valores de energia por

carga criam uma diferença de potencial (voltagem). Essa voltagem provê uma espécie de "pressão elétrica", que move os elétrons pelo circuito que conecta os terminais.

A unidade de diferença de potencial elétrico (voltagem) é o volt. Uma bateria comum de automóvel fornecerá uma pressão elétrica de 12 volts ao circuito que for conectado a seus terminais. Então 12 joules de energia são fornecidos a cada Coulomb que é forçado a fluir pelo circuito.

Existe freqüentemente alguma confusão entre o fluxo de carga *através* de um circuito e a voltagem imprimida, ou aplicada *através* do circuito. Podemos distinguir entre essas duas idéias considerando um tubo comprido cheio de água. A água fluirá *através* do tubo se existir uma diferença de pressão *através* deste, ou seja, entre suas extremidades. A água flui da extremidade onde é alta a pressão para aquela onde a pressão é baixa. Apenas a água flui, não a pressão. Analogamente, a carga elétrica flui *através* de um circuito porque existe uma voltagem aplicada *através* do circuito. Você não pode dizer que a voltagem fluiu através do circuito. A voltagem não vai a lugar algum, pois são as cargas que se movimentam. A voltagem produz a corrente (se existe um circuito completo).

Resistência Elétrica

Uma bateria ou um gerador de qualquer espécie é a primeira e a fonte de voltagem em um circuito elétrico. Quanta corrente haverá depende não apenas da voltagem mas também da resistência elétrica que o condutor oferece ao fluxo de carga, isto é semelhante ao fluxo de água em um cano, que depende não apenas da diferença de pressão entre as extremidades do cano, mas também da resistência que o próprio cano oferece. Um cano curto oferece menos resistência ao fluxo de água do que um tubo comprido, e quanto mais largo for o cano, menor será sua resistência. Analogamente com a resistência dos fios pelos quais flui uma corrente. A resistência de um fio depende da sua espessura, seu comprimento e de sua particular condutividade. Fios grossos têm uma resistência menor do que fios finos. Fios compridos têm maior resistência do que fios curtos. Fios de cobre têm menor resistência do que fios de aço de mesmo tamanho. A resistência elétrica também depende da temperatura. Quanto menor a agitação dos átomos dentro de condutor, menor a resistência que ele oferece ao fluxo de carga. Para a maioria dos condutores, um aumento de temperatura significa um aumento de resistência. A resistência de alguns materiais vai a zero a temperaturas muito baixas. Esses são os supercondutores.

A resistência elétrica é medida em unidades chamadas de Ohms. Normalmente, a letra grega ômega, Ω , é usada como símbolo para o Ohm. Esta unidade é uma homenagem prestada a Georg Simon Ohm, um físico alemão que em 1826 descobriu uma relação simples e muito importante entre voltagem, corrente e resistência.

Lei de Ohm

A relação entre voltagem, corrente e resistência é resumida no enunciado chamado de **lei de Ohm**. Ohm descobriu que a corrente em um circuito é diretamente proporcional à voltagem estabelecida através do circuito, e inversamente proporcional à resistência do circuito. Em notação matemática:

$$\text{Corrente} = \frac{\text{voltagem}}{\text{resistência}}; \text{ em termos das unidades: Ampères} = \frac{\text{Volts}}{\text{Ohms}}$$

Assim, para um dado circuito **onde a resistência é constante**, a corrente e a voltagem são proporcionais entre si. Isto significa que a corrente será duas vezes maior

para uma voltagem também duas vezes maior. Quanto maior a voltagem maior a corrente. Mas se a resistência do circuito for dobrada, a corrente terá a metade do valor que teria se isso não tivesse ocorrido. Quanto maior a resistência, menor a corrente. A lei de Ohm faz sentido.

A lei de Ohm nos diz que quando uma diferença de potencial de 1 volt é aplicada através de um circuito que possui uma resistência de 1 ohm produzirá uma corrente de 1 Ampère. Se 12 Volts forem aplicados ao mesmo circuito, a corrente será 12 Ampères. A resistência típica de um fio elétrico comum é muito menor do que 1 ohm, enquanto o filamento típico de uma lâmpada incandescente tem uma resistência maior do que 100 ohms. Um ferro de passar roupas ou uma torradeira elétrica possuem uma resistência de 15 a 20 ohms. Lembre-se de que, para uma determinada diferença de potencial, menos resistência significa mais corrente. No interior de dispositivos elétricos tais como rádios e receptores de televisão, a corrente é controlada por elementos de circuito chamados de *resistores*, cuja resistência pode ser de alguns ohms ou de milhões de ohms.

Potência Elétrica

Uma carga que se move através de um condutor gasta energia, a menos que o meio seja um supercondutor. Isso pode resultar no aquecimento do circuito ou no giro de um motor. A taxa com a qual a energia elétrica é convertida em outra forma, tal como energia mecânica, calor ou luz, é chamada de potência elétrica. A potência elétrica é igual ao produto da corrente pela voltagem.

Potência = corrente x voltagem

Se a voltagem é expressa em Volts e a corrente em Ampères, então a potência é expressa em Watts. Portanto, relacionando as unidades:

Watts = Ampères x Volts.

Se uma lâmpada de 120 watts operar numa linha de 120 volts, você poderá ver que ela é alimentada por uma corrente de 1 Ampère (120 watts = 1 Ampère x 120 volts). Uma lâmpada de 60 watts ligada a uma linha de 120 volts será alimentada por uma corrente de 1/2 Ampère. Esta relação torna-se prática quando você deseja saber o custo da energia elétrica, que normalmente é de alguns centavos por quilowatt-hora, dependendo da localidade. Um quilowatt é 1.000 watts, e um quilowatt-hora representa a quantidade de energia consumida durante uma hora a uma taxa de 1 quilowatt. Portanto, numa localidade em que a energia elétrica custa 5 centavos por quilowatt-hora, uma lâmpada elétrica de 100 watts pode funcionar durante 10 horas a um custo de 5 centavos, ou meio centavo a cada hora. Uma torradeira ou ferro elétrico, que precisa de muito mais corrente do que isso e, portanto, de muito mais energia também, custa cerca de dez vezes mais para funcionar.

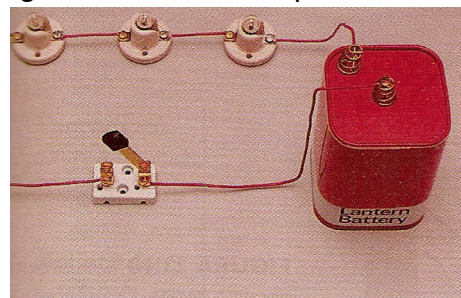
Circuitos Elétricos

Qualquer caminho por onde os elétrons possam fluir é chamado de *circuito elétrico*. Para um fluxo contínuo de elétrons, deve haver um circuito elétrico sem interrupções. Uma chave elétrica, que pode ser ligada e desligada para estabelecer ou cortar o fornecimento de energia, é geralmente usada para implementar interrupções no circuito. A maior parte dos circuitos possui mais do que um dispositivo que recebe energia elétrica. Esses dispositivos em geral são conectados a um circuito de uma entre duas maneiras possíveis, ou *em série* ou *em paralelo*. Quando conectados em série, eles formam um

único caminho para o fluxo de elétrons entre os terminais da bateria ou da tomada da parede. Quando conectados em paralelo, eles formam ramos cada um dos quais é um caminho separado para o fluxo eletrônico. Tanto as conexões em série como em paralelo possuem suas próprias características, que o distinguem. Nós deveremos abordar rapidamente circuitos que usem esses dois tipos de conexão.

Circuitos em Série

Um circuito em série básico é mostrado na Figura. As três lâmpadas estão conectadas em série com a bateria. Quando a chave é fechada, a mesma corrente se estabelece quase que imediatamente nas três lâmpadas. A carga não está sendo "acumulada" em qualquer das lâmpadas, mas flui *através* de cada uma delas. Os elétrons livres que existem em todas as partes do circuito começam a se mover juntos. Alguns deles se movem a partir do terminal negativo da bateria, outros se movem em direção ao terminal positivo outros se movem através do filamento de cada lâmpada. Cada elétron acabará percorrendo todo o circuito (e a mesma quantidade de carga atravessa a bateria). Este é o único caminho disponível para os elétrons no circuito. Uma interrupção em qualquer lugar do circuito resultará em um circuito aberto e na interrupção da corrente. A queima do filamento de qualquer das lâmpadas, ou simplesmente a abertura da chave, causará tal interrupção.



Características importantes das conexões em série:

- 1) A corrente elétrica dispõe de um único caminho através do circuito. Isso significa que a mesma corrente percorre cada um dos dispositivos elétricos do circuito.
- 2) Essa corrente enfrenta a resistência do primeiro dispositivo, a resistência do segundo e a do terceiro também, de modo que a resistência total do circuito à corrente é a soma das resistências individuais que existem ao longo do circuito.
- 3) A corrente no circuito é numericamente igual à voltagem fornecida pela fonte dividida pela resistência total do circuito. Isso está de acordo com a lei de Ohm.
- 4) A lei de Ohm também se aplica individualmente a cada dispositivo. A *queda de voltagem*, ou diferença de potencial, através de cada um deles, é proporcional à resistência. Isso segue do fato de que mais energia é necessária para movimentar uma unidade de carga através de uma grande resistência do que através de uma pequena resistência.
- 5) A voltagem total aplicada através de um circuito em série divide-se entre os dispositivos elétricos individuais, de modo que a soma das quedas de voltagem em cada dispositivo é igual à voltagem total que é mantida pela fonte. Isso, porque a quantidade total de energia usada para mover cada unidade de carga pelo circuito *todo* é igual à soma das energias usadas para mover aquela unidade de carga através de cada dispositivo do circuito.

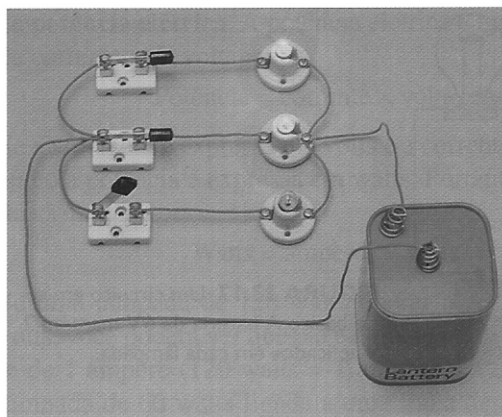
É fácil ver qual é a maior desvantagem de um circuito em série: se um dos dispositivos falhar, a corrente deixará de existir no circuito inteiro. Certas pequenas luzes de árvore de Natal baratas, são conectadas em série. Quando uma das lâmpadas queima, é divertido e parecido com um jogo (ou frustrante) tentar encontrá-la para substituição.

Muitos circuitos são ligados de modo a ser possível operar vários dispositivos elétricos, cada qual independentemente dos demais. Em nossa casa, por exemplo, pode-se ligar ou desligar uma determinada lâmpada sem afetar com isso o funcionamento das

demais lâmpadas ou dispositivos elétricos. Isso, porque esses dispositivos estão conectados não em série, mas em paralelo uns com os outros.

Circuitos em *paralelo*

Um **circuito em paralelo** básico é mostrado na Figura. As três lâmpadas estão conectadas em paralelo aos mesmos dois pontos A e B. Os dispositivos elétricos que estão conectados aos mesmos dois pontos de um circuito elétrico são ditos estar *conectados em paralelo*. O caminho para a corrente fluir de um terminal da bateria ao outro estará completo se apenas *uma* das lâmpadas estiver ligada. Nessa ilustração, os ramos do circuito correspondem aos três caminhos separados ligando A a B. Uma interrupção em um desses caminhos não interrompe o fluxo de carga através dos outros caminhos. Cada dispositivo opera independentemente dos outros dispositivos.



Principais características das conexões em paralelo:

- 1) Cada dispositivo conecta os mesmos dois pontos A e B do circuito. A voltagem, portanto, é a mesma através de cada dispositivo.
- 2) A corrente total no circuito se divide entre os vários ramos paralelos. Como a voltagem através de cada ramo é a mesma, sua corrente é inversamente proporcional à resistência do ramo - ou seja, a lei de Ohm se aplica separadamente a cada ramo.
- 3) A corrente total no circuito é igual à soma das correntes em seus ramos paralelos.
- 4) Quando o número de ramos paralelos aumenta, a resistência total do circuito diminui. A resistência total diminui a cada caminho adicionado entre dois pontos quaisquer do circuito. Isso significa que a resistência total do circuito é menor do que a resistência de qualquer um de seus ramos.

Textos Extraídos a partir dos capítulos 22 e 23
do livro Física Conceitual de Paul G. Hewitt

Atividade nº1: Gerador de Van de Graaff

Um aparelho interessante, porém difícil de se fazer com os alunos é o gerador de Van de Graaff. Em www.feiradeciencias.com.br encontram-se várias sugestões sobre como construir esse aparelho.

Atividade nº2: Analogia de um circuito elétrico com um "circuito de água"

Uma maneira simples de se explicar um circuito elétrico aos alunos é fazendo a analogia com um "circuito de água". Para isso você deve ter dois baldes de mesmo tamanho (o mais transparentes possível) ou dois aquários, sendo um deles cheio de água. Usando uma mangueira como sifão você pode observar a transferência de água de um balde para outro até que os dois baldes fiquem no mesmo nível. Caso haja algum mecanismo para bombear a água de volta para o recipiente original você conseguirá fazer uma analogia com a fonte de tensão. Se for possível também, fazer a água que sai do primeiro recipiente movimentar algo como uma roda d'água, poderíamos comparar com as transformações de energia em um circuito. É bom lembrar que tudo não passa de uma analogia e que o fluxo de elétrons em um condutor não é idêntico ao fluxo de água em uma mangueira.

Atividade nº3: Condutores e isolantes

Uma atividade simples e que desperta a curiosidade de nossos alunos é a verificação de materiais que são condutores e isolantes. Com um circuito composto por uma bateria ligada a uma lâmpada com o circuito interrompido por um corte no fio que liga um dos terminais da lâmpada de volta à bateria, é possível testar a condutividade de diversos materiais. Teste os seguintes materiais:

- a) um clip b) um prego c) um pedaço de grafite d) Borracha e) Papel
f) Água g) Água com sal h) Água com açúcar

Atividade 4: 3) Verificando o funcionamento de lâmpadas incandescentes

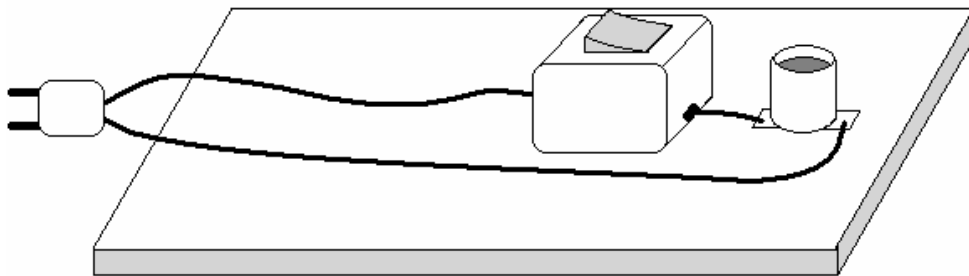
Material:

- Uma lâmpada 25W/127V - Uma lâmpada 40W/127V - Interruptor
- Fio paralelo para instalações elétricas - Tomada - Soquete para lâmpada
- Lâmpada de 40W/220V - Fita isolante

Procedimento:

- Observe as lâmpadas, compare a espessura e o comprimento dos filamentos de cada uma. Como você pode relacionar a espessura ou o comprimento do filamento com a potência dissipada pela lâmpada e as tensões a que elas são submetidas?

- Ligue o fio nos contatos da tomada e monte um circuito em série contendo a chave e o soquete. Caso seja possível, faça tudo em um pedaço de madeira para dar firmeza à sua montagem:



- Ligue as lâmpadas de diferentes potências e tensões e compare o brilho de cada uma.

Observações:
Escolheu-se

lâmpadas de menor potência para que o seu brilho não incomodasse as vistas. Procure comprar lâmpadas do mesmo modelo e fabricante para que seja possível comparar os filamentos.

Atividade 5: Efeito Joule no grafite de um lápis

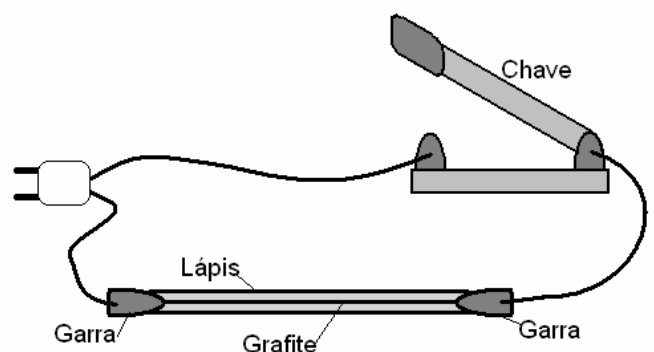
Material:

- Tomada (plugue macho) - Fio de instalações elétricas - Duas garras tipo "jacaré"
- Interruptor (tipo faca) - Estilete

Procedimento:

- Com o estilete, abra o lápis ao meio de modo que todo o grafite fique visível. Evite quebrar o grafite;

- Ligue o fio nos contatos da tomada e monte um circuito em série contendo a chave e o



grafite do lápis (use as garras jacaré para conectar ao grafite).

- Com a chave desligada, conecte a tomada à rede elétrica.

Resultado esperado:

O grafite se queimará instantaneamente, rompendo-se e desligando o circuito.

Observações:

- A resistência de um lápis inteiro, nº 2, é de cerca de $10\ \Omega$. Ligado à uma tensão de 127V, teremos uma corrente de 13A que é uma corrente alta, caso em sua escola a tensão fornecida pela companhia elétrica seja de 220V, teremos uma corrente de 22A. Tome cuidado para não encostar-se aos contatos e verifique se a chave da caixa de distribuição de eletricidade suporta este valor de corrente.

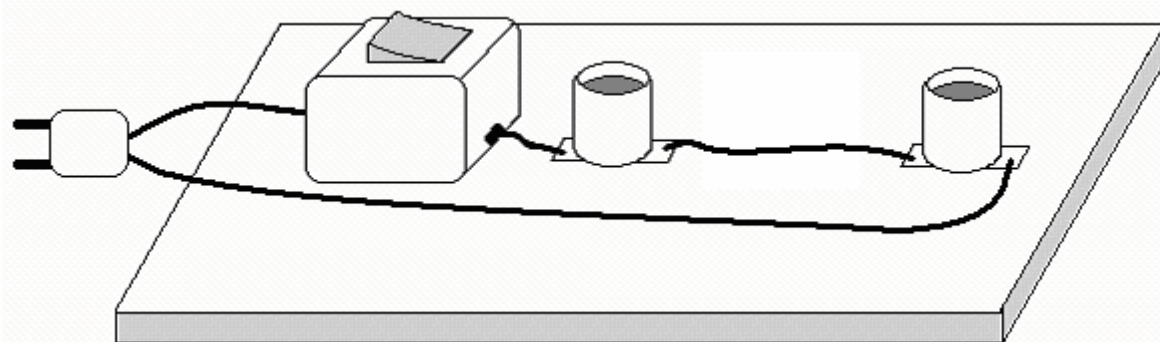
Atividade 6: Lâmpadas incandescentes no circuito em série:

- Duas lâmpadas incandescentes de potências iguais para 127V

- Duas lâmpadas incandescentes para 127V e de potências diferentes das lâmpadas acima.

- Montagem feita na experiência 3.

- Montagem da figura abaixo (contendo dois soquetes):



Procedimento:

- Ligue cada uma das lâmpadas de mesma potência no circuito da experiência 3 e verifique o seu brilho.

- Responda: O que ocorrerá com o brilho destas lâmpadas quando elas forem ligadas no circuito em série?

- Ligue as duas lâmpadas de mesma potência no circuito em série e observe o seu brilho. Por que o brilho das lâmpadas modificou? Elas estão dissipando a mesma potência da situação anterior?

- Ligue cada uma das lâmpadas de potência diferente no circuito da experiência 3.

- Responda: Qual dos dois tipos de lâmpadas possui maior resistência elétrica? Qual possui a menor?

- Responda: Ligando duas lâmpadas de potências diferentes ao circuito, qual brilhará mais?

- Ligue duas lâmpadas de potências diferentes ao circuito e verifique se o que você observa confere com o que você previu no item anterior.

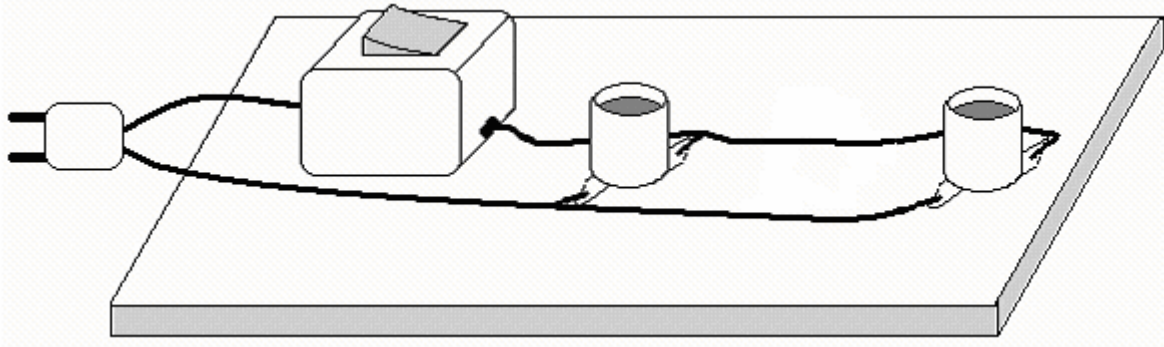
Atividade 7: Lâmpadas incandescentes no circuito em paralelo:

- Duas lâmpadas incandescentes de potências iguais para 127V

- Duas lâmpadas incandescentes para 127V e de potências diferentes das lâmpadas acima.

- Montagem feita na experiência 3.

-Montagem da figura a seguir (contendo dois soquetes):



Procedimento:

- Ligue cada uma das lâmpadas de mesma potência no circuito da experiência 3 e verifique o seu brilho.
- Responda: O que ocorrerá com o brilho destas lâmpadas quando elas forem ligadas no circuito em paralelo?
- Ligue as duas lâmpadas de mesma potência no circuito em paralelo e observe o seu brilho. Por que o brilho das lâmpadas modificou? Elas estão dissipando a mesma potência da situação anterior?
- Ligue cada uma das lâmpadas de potência diferente no circuito da experiência 3.
- Responda: Qual dos dois tipos de lâmpadas possui maior resistência elétrica? Qual possui a menor?
- Responda: Ligando duas lâmpadas de potências diferentes ao circuito, qual brilhará mais?
- Ligue duas lâmpadas de potências diferentes ao circuito e verifique se o que você observa confere com o que você previu no item anterior.