

Quais lâmpadas acendem? Entendendo o funcionamento dos circuitos elétricos

.....
Mauro Costa da Silva

Departamento de Física, Colégio Pedro II, Niterói, RJ, Brasil
E-mail: maurocostasilva@ig.com.br

.....

O estudo da eletricidade é repleto de conceitos abstratos e de difícil compreensão, tais como: campo elétrico, diferença de potencial, corrente elétrica, entre outros. Um longo caminho é trilhado até que os estudantes tenham conhecimento suficiente para entender o funcionamento dos circuitos elétricos básicos, compostos de resistores associados em série, paralelo ou em associação mista.

O conteúdo é extenso e seu estudo é árduo, provocando desinteresse de muitos alunos. Esse quadro pode ser, em parte, revertido com atividades experimentais lúdicas e desafiadoras para os alunos. Essas atividades consistem em o professor propor aos alunos preverem

quais lâmpadas acenderão numa determinada ligação elétrica e com que intensidade luminosa.¹ Funciona como um jogo onde ganha quem acertar a previsão.

A prática cotidiana estabelece que uma lâmpada acende quando o interruptor é ligado. É também amplamente sabido que uma lâmpada incandescente de 100 W ilumina mais um ambiente que uma lâmpada de 40 W, ou seja, lâmpadas de maior potência nominal² emitem maior intensidade de luz. Essa lógica, bem conhecida, está em perfeito acordo com o estudo da eletricidade, em particular, dos circuitos elétricos. Entretanto, cabe ao professor destacar, e aos alunos compreender, que esse comportamento das lâmpadas é consequência do tipo de ligação a que estão sujeitas nas residências, escolas, e demais estabelecimentos. Mudando a ligação entre as lâmpadas, altera-se seu funcionamento. Desta forma, pode-se afirmar que o comportamento das lâmpadas nas instalações domésticas e comerciais é apenas

um caso particular dos tipos de ligações elétricas possíveis que são estudadas em eletricidade.

Lâmpadas incandescentes comportam-se como os resistores elétricos estudados na teoria dos circuitos. Nas atividades experimentais que serão propostas, as lâmpadas incandescentes farão o papel dos resistores, e a intensidade de luz emitida dará a percepção visual da potência

dissipada em cada lâmpada. Com isso, será possível rever e comprovar os conteúdos previamente ensinados.

Durante as atividades experimentais, o aluno perceberá que ele só terá êxito nas suas previsões sobre quais lâmpadas acenderão se utilizar corretamente os conceitos estudados em sala de aula, em particular, no caso da ligação mista.

Lâmpadas incandescentes comportam-se como os resistores elétricos estudados na teoria dos circuitos. Nas atividades experimentais que serão propostas, as lâmpadas incandescentes farão o papel dos resistores, e a intensidade de luz emitida dará a percepção visual da potência dissipada em cada lâmpada

retamente os conceitos estudados em sala de aula, em particular, no caso da ligação mista.

Metodologia

O método consiste em inicialmente apresentar aos alunos os conteúdos teóricos sobre eletrodinâmica, entre eles: d.d.p., corrente elétrica, resistência elétrica, lei de Ohm, assim como as associações de resistores, destacando as principais características de cada uma dessas associações. Após todos os conteúdos estudados, é proposta uma série de demonstrações experimentais com objetivo de aplicação, fixação e compreensão do funcionamento dos circuitos elétricos.³

Atividades experimentais

Para a realização das atividades experimentais, é utilizada uma montagem com material facilmente encontrado em qualquer loja de material elétrico. A montagem deverá possibilitar a demonstração

Este artigo propõe uma série de atividades experimentais envolvendo ligação de lâmpadas incandescentes em circuitos paralelo, série, ou misto. O objetivo dessa atividade é dar aos estudantes alguma percepção concreta, embora indireta, dos conceitos físicos sobre eletricidade, tais como: corrente; potencial; e resistência. Utilizando os conteúdos previamente estudados sobre circuitos elétricos, os estudantes poderão prever o funcionamento de uma determinada ligação de lâmpadas. Após os devidos cálculos, será possível determinar quais lâmpadas acenderão, bem como estimar a intensidade luminosa em cada lâmpada. Esta intensidade luminosa dará uma percepção visual da potência dissipada nos resistores, substituídos nesta atividade pelas lâmpadas. Esta prática permite aos alunos prever, testar e comprovar seu aprendizado teórico através de experimentos desafiadores.

das ligações série, paralela e mista.

Lista de material

- Folha de Eucatex - 40 cm x 40 cm
- 3 lâmpadas incandescentes de 15 W
- 7 tomadas externas
- 1 lâmpada incandescente de 7 W
- 1 interruptor externo
- 3 m de fio paralelo de 2,5 mm²
- 1 disjuntor 30 A
- 2 tomadas macho
- Fio 2,5 mm²
- 5 bocais com tomada macho
- 1 lâmpada incandescente de 60 W

A Fig. 1 apresenta a montagem do circuito que será utilizado para as ligações elétricas propostas, e a Fig. 2 mostra as lâmpadas e fios que serão utilizados nas diversas ligações.

Procedimento

A primeira demonstração deve ser a associação paralela, pois ajuda os alunos a compreender a teoria dos circuitos elétricos a partir dos seus conhecimentos empíricos. Após apresentada a ligação paralela, deve-se apresentar a ligação série. Nesta, pode-se mostrar que o funcionamento das lâmpadas ocorre em clara oposição à ligação paralela. Em ambas as ligações apresentadas, é possível tirar conclusões gerais sobre a potência nominal das lâmpadas e o respectivo brilho forne-

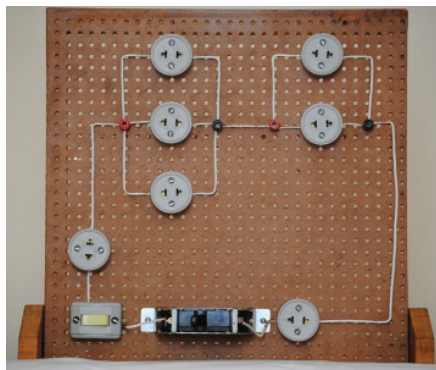


Figura 1 - Montagem de um circuito elétrico.



Figura 2 - Lâmpadas, fios e bocais.

cido por elas quando ligadas em série ou paralelo. A ligação mista, entretanto, não permite qualquer previsibilidade sobre o funcionamento das lâmpadas, a menos que se utilize a teoria dos circuitos elétricos. Por isso, a ligação se torna mais desafiadora. Esse é o foco central dos experimentos: motivar os alunos para que, de forma lúdica, semelhante a um jogo, eles utilizem seus conhecimentos teóricos para determinarem, antecipadamente, quais lâmpadas acenderão numa determinada ligação mista.

Ligação paralela

A ligação paralela deve ser montada utilizando lâmpadas de potências nominais diferentes,⁴ a fim de que os alunos percebam que lâmpadas de maior potência nominal fornecem maior intensidade luminosa. Pode-se mostrar ainda que, ao se desligar uma lâmpada, o funcionamento das demais é inalterado. Essas observações experimentais se verificam no cotidiano do aluno. Desligar a lâmpada de um ambiente não implica desligar obrigatoriamente as lâmpadas dos demais ambientes. A partir dessas observações, é possível concluir que a ligação residencial é uma associação paralela.

A ligação paralela é apresentada na Fig. 3.

Ligação série

Para efeito de comparação, devem-se utilizar as mesmas lâmpadas empregadas na ligação paralela para montar a ligação série, conforme a Fig. 4. Quais lâmpadas acenderão?

Ao ligar o interruptor, o desconforto dos alunos é evidente. As lâmpadas de maior potência nominal emitem menos luz. Eventualmente, uma ou mais lâmpadas não acenderão em função da baixa potência dissipada nelas. É justamente o caso apresentado na Fig. 4. O entendimento técnico desse circuito é apresentado na Fig. 5:⁵

Determinação da resistência das lâmpadas: $P = V^2/R$.

Lâmpada de 7 W:

$$R_{7W} = 110^2/7 \approx 1700 \Omega$$

Lâmpada de 15 W:

$$R_{15W} = 110^2/15 \approx 800 \Omega$$

Lâmpada de 60 W:

$$R_{60W} = 110^2/60 \approx 200 \Omega$$

Resistência equivalente do circuito série:

$$R_{eq} = 200 + 800 + 1700 = 2700 \Omega$$

Corrente elétrica do circuito série:

$$i = 110/2700 \approx 40 \text{ mA}$$

Potência dissipada em cada lâmpada:

$$L_1 (60 \text{ W}):$$

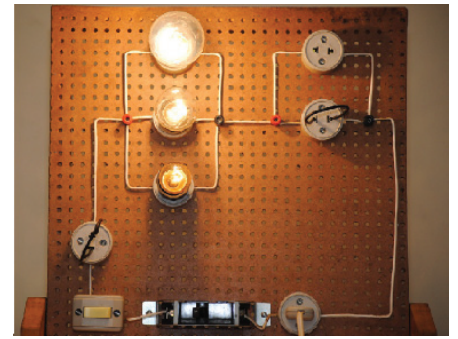


Figura 3 - Ligação paralela feita com lâmpadas de potências diferentes.

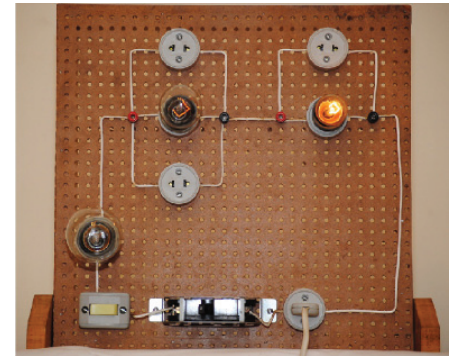


Figura 4 - Ligação série feita com lâmpadas de potências diferentes.

$$P = r \cdot i^2 = 200 \cdot (40 \text{ mA})^2 \approx 0,3 \text{ W}$$

$L_2 (15 \text{ W}):$

$$P = r \cdot i^2 = 800 \cdot (40 \text{ mA})^2 \approx 1,3 \text{ W}$$

$L_3 (7 \text{ W}):$

$$P = r \cdot i^2 = 1700 \cdot (40 \text{ mA})^2 \approx 2,7 \text{ W}$$

A potência dissipada na lâmpada de 60 W é praticamente nula, o que explica ela permanecer "apagada" na Fig. 4. A lâmpada de 7 W dissipa a maior potência entre as lâmpadas, emitindo maior intensidade luminosa. A potência dissipada prevista na lâmpada de 15 W é cerca de 10% da sua potência nominal. Por isso, apenas o seu filamento fica enrubescido, sem emissão significativa de luz.

Após as observações experimentais, podem-se tirar conclusões gerais. Lâmpadas de menor potência nominal têm maior resistência elétrica ($R = V^2/P$). Em um circuito série, a corrente elétrica é igual

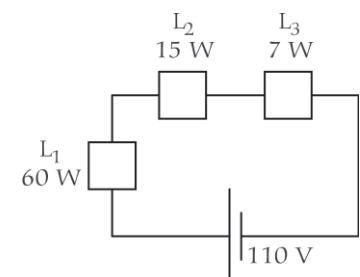


Figura 5 - Circuito série referente à Fig. 4.

para todos os resistores. Como $P = R \cdot i^2$, quanto maior a resistência, maior a potência e, conseqüentemente, maior a intensidade luminosa emitida pela lâmpada. É o oposto do que acontece na ligação paralela, onde lâmpadas de maior potência nominal emitem mais intensidade luminosa.

Tendo visto as ligações paralela e série, os alunos percebem que, mudando a forma de ligação das lâmpadas, a luz emitida por elas também muda. Mesmo com o estranhamento, os alunos concluem que, em uma ligação série, lâmpadas de maior potência nominal emitirão menor intensidade de luz. É um comportamento geral e válido para qualquer circuito série. Há, portanto, um comportamento previsível nas ligações paralela e série. O melhor está por vir.

Ligação mista

Na montagem da ligação mista, as lâmpadas devem ser encaixadas nas tomadas de modo aleatório, de preferência com a participação dos alunos. Com as lâmpadas conectadas, fica a expectativa: quais lâmpadas acenderão? Ao fechar o interruptor, verifica-se que nem todas acendem. É interessante trocá-las de posição algumas vezes para que os alunos percebam que não é possível fazer qualquer previsão confiável sobre quais delas acenderão. Em seguida, escolhe-se uma associação qualquer de lâmpadas sem ligar o interruptor. Diante da incerteza quanto ao funcionamento da nova associação, pode-se demonstrar que, aplicando a teoria dos circuitos elétricos à ligação escolhida, obtém-se uma previsão bastante razoável sobre quais lâmpadas acenderão. Para isso, basta determinar a potência dissipada em cada uma delas e compará-la ao seu valor nominal.

A seguir, serão apresentadas duas ligações mistas para evidenciar que, mesmo utilizando as mesmas lâmpadas, a emissão de luz pode mudar completamente se forem alteradas suas posições no circuito.

Primeira montagem com ligação mista

A primeira montagem com a ligação mista será feita conforme a Fig. 6.

O esquema elétrico da Fig. 6 é apresentado abaixo na Fig. 7 e deve ser mostrado aos alunos para a devida comparação entre o aparato experimental e a sua representação.

Resistência equivalente da ligação paralela das lâmpadas L_2 e L_3

$$R_{eq\ 2,3} = 400 \Omega.$$

Resistência equivalente da ligação paralela das lâmpadas L_4 e L_5

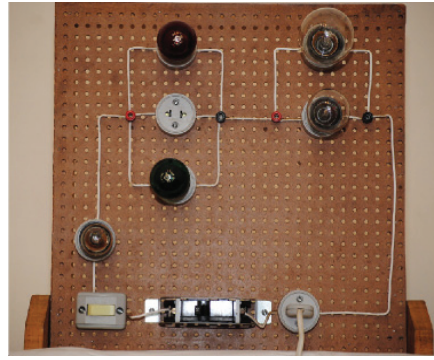


Figura 6 - Primeira montagem com ligação mista.

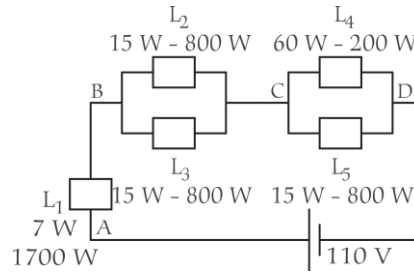


Figura 7 - Circuito misto referente à Fig. 6.

$$R_{eq\ 4,5} = \frac{200 \times 800}{200 + 800} = 160 \Omega$$

A resistência equivalente total do circuito será dada pela ligação série formada pela lâmpada L_1 , $R_{eq\ 2,3}$ e $R_{eq\ 4,5}$

$$R_{req} = 1700 + 400 + 160 = 2260 \Omega$$

Determinação da corrente elétrica na lâmpada L_1 .

$$i = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{110}{2260} \approx 49 \text{ mA.}$$

Determinação da d.d.p. entre os pontos B e C

$$V_{BC} = R \cdot i = 400 \times 0,049 = 19,6 \text{ V}$$

Determinação da d.d.p. entre os pontos C e D

$$V_{CD} = R \cdot i = 160 \times 0,049 = 7,8 \text{ V}$$

Determinação da potência nas lâmpadas:

$$L_1: P = r \cdot i^2 = 1700 \times (0,049)^2 = 4 \text{ W}$$

$$L_2 = L_3: P = V^2/R = 19,6^2/800 = 0,48 \text{ W}$$

$$L_4: P = V^2/R = 7,8^2/200 \approx 0,3 \text{ W}$$

$$L_5: P = V^2/R = 7,8^2/800 \approx 0,08 \text{ W}$$

Análise dos resultados e previsão das lâmpadas que acenderão

As lâmpadas L_2 , L_3 , L_4 e L_5 têm potências dissipadas previstas menores que 0,5 W. Este valor, comparado às potências nominais das referidas lâmpadas, é praticamente zero. Por isso, essas lâmpadas não acenderão. A lâmpada L_1 , de acordo com os cálculos, deverá dissipar uma potência de 4 W, cerca de 60% da potência nominal, portanto esta lâmpada acenderá. A comprovação das previsões é feita ao se ligar o circuito. Com o interruptor ligado, o resultado pode ser observado na Fig. 8.

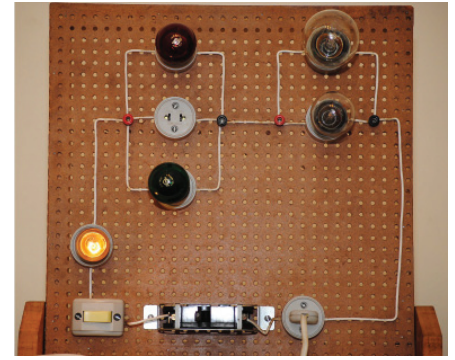


Figura 8 - Resultado para primeira montagem com ligação mista.

Segunda montagem com ligação mista

A segunda montagem é apresentada na Fig. 9. O esquema elétrico é mostrado na Fig. 10.

Determinação da resistência equivalente: a resistência equivalente da ligação paralela é

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{800} + \frac{1}{1700} + \frac{1}{800} \quad R_{eq\ 2,3,4} = 320 \Omega.$$

A resistência equivalente total do circuito será dada pela ligação série formada pela lâmpada L_1 , $R_{eq\ 2,3,4}$ e L_5 .

$$R_{req} = 200 + 320 + 800 = 1320 \Omega$$

Determinação da corrente elétrica nas lâmpadas L_1 e L_5 (que é a própria corrente no gerador)

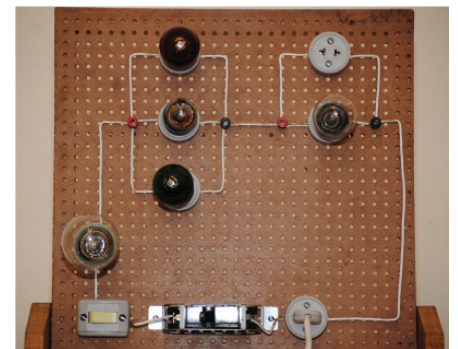


Figura 9 - Segunda montagem com ligação mista.

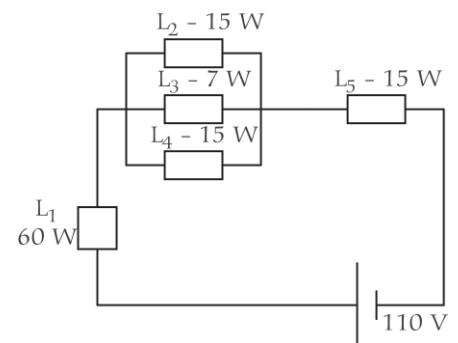


Figura 10 - Circuito elétrico referente à Fig. 9.

$$i = 110/1320 \approx 83 \text{ mA}$$

Determinação da d.d.p. entre os pontos B e C

$$V_{BC} = r \cdot i = 320 \cdot 0,083 = 26,6 \text{ V}$$

Potência dissipada nas lâmpadas

$$L_1: P_{60W} = r \cdot i^2 = 200 \cdot 0,083^2 = 1,4 \text{ W}$$

$$L_2 \text{ e } L_4: P_{15W} = V^2/R = 26,6^2/800 \approx 0,9 \text{ W}$$

$$L_3: P_{7W} = V^2/R = 26,6^2/1700 \approx 0,4 \text{ W}$$

$$L_5: P'_{15W} = r \cdot i^2 = 800 \cdot 0,083^2 = 5,5 \text{ W}$$

Análise dos resultados e previsão das lâmpadas que acenderão

A lâmpada L_1 não acenderá. A potência prevista para ser dissipada nessa lâmpada é cerca de 2% da sua potência nominal. As lâmpadas L_2 , L_3 e L_4 têm potência prevista de cerca de 6% da sua potência nominal. Este valor deixa dúvida sobre a lâmpada não acender ou ser possível perceber apenas o filamento enrubescido. Essa margem de erro não compromete o experimento, cria inclusive uma expectativa saudável na turma sobre o resultado do mesmo. A lâmpada L_5 certamente acenderá, pois a potência dissipada prevista é cerca de 35% da sua potência nominal. O resultado é apresentado na Fig. 11.

Avaliação, desafios e diversão

Como forma de avaliação da aula, é

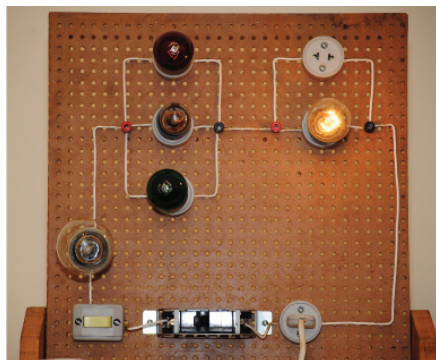


Figura 11 – Resultado para segunda montagem com ligação mista.

possível trocar as lâmpadas de posição e pedir aos alunos que determinem quais delas acenderão. Quando os alunos terminarem os cálculos, o professor pode fazer uma consulta prévia à turma sobre suas expectativas de funcionamento antes de ligar o interruptor. Havendo qualquer discrepância entre o resultado teórico e o experimental, o professor poderá analisar e discutir com os alunos eventuais falhas cometidas nos cálculos.

Considerações finais

A montagem inicial com o circuito paralelo serve para o aluno confirmar seu conceito sobre potência dos resistores, comparando à intensidade da luz emitida. No circuito série a lógica se inverte: a lâmpada de maior potência nominal emite menor intensidade de luz. É o momento de o professor lembrar que as lâmpadas incandescentes vendidas no comércio foram projetadas para dissiparem a potência nominal quando submetidas a d.d.p. especificada (110 V ou 220 V) no bulbo da lâmpada. Na ligação série, a d.d.p. aplicada a um resistor depende da resistência equivalente do circuito e da corrente elétrica. Por isso, a intensidade de luz emitida por uma lâmpada ligada em série depende das demais lâmpadas do circuito.

A ligação mista é completamente imprevisível, o que torna a atividade experimental um verdadeiro desafio: descobrir quais lâmpadas acenderão. Esse desafio será vencido por aqueles que dominarem os conteúdos de eletricidade.

Não há margens estabelecidas sobre o percentual do valor nominal da lâmpada para determinar se ela acenderá ou não. A incerteza faz parte da previsão e deve ser discutida com os alunos, até porque o modelo teórico utilizado desconsidera algumas variáveis, como: a variação da resistência elétrica das lâmpadas com a

temperatura, a correspondente variação da d.d.p. aplicada às lâmpadas e a consequente variação da intensidade luminosa emitida. Esses fatores podem provocar pequenas discrepâncias entre a previsão teórica e o resultado experimental.

Notas

¹A previsão da intensidade luminosa restringir-se-á à comparação entre a luminosidade emitida pelas lâmpadas, estabelecendo qual(ais) acende(m) mais forte, mais fraco e, eventualmente, qual(ais) não acende(m).

²Potência nominal é a potência estabelecida pelo fabricante e apresentada no bulbo da lâmpada.

³Uma alternativa é apresentar, durante as aulas teóricas sobre cada uma das associações de resistores, a respectiva atividade experimental com a correspondente ligação das lâmpadas. Sugiro, neste caso, a sequência de aulas sobre: associação paralela, associação série e associação mista. A justificativa para essa sequência é apresentada ao logo do texto.

⁴No experimento, lâmpadas de 60 W, 15 W e 7 W.

⁵Os cálculos apresentados considerarão a tensão na tomada de 110 V. Não será considerada a variação da resistência elétrica das lâmpadas incandescentes com a temperatura.

Para saber mais

- D. Gonçalves, *Física: Eletricidade, Eletromagnetismo e Corrente Alternada* (Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, 1978) 3ª ed.
- B. Alvarenga e A. Máximo, *Curso de Física* (Editora Scipione, São Paulo, 1997), 4ª ed.
- D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, *Fundamentals of Physics Extended* (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997), 5th ed.

Perguntas do Editor

- Queremos determinar a pressão dentro de uma bola de futebol usando apenas uma balança sensível e uma régua. Como fazê-lo?
- Você tem dois pêndulos, e conhece o período de oscilação de um deles. Qual a maneira mais simples de descobrir o período do outro pêndulo?
- Como você pode, em um dia de sol, descobrir a altura de uma árvore usando apenas uma régua? Obviamente não vale subir na árvore...