

O COMPORTAMENTO DA CORRENTE ELÉTRICA EM MATERIAIS CONDUTORES: UMA AULA PARA O ENSINO MÉDIO SOBRE A LEI DE OHM

 <https://doi.org/10.56238/arev7n5-258>

Data de submissão: 16/04/2025

Data de publicação: 16/05/2025

Daniel Fernandes de Moraes

Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro-RJ - Rua Horácio Macedo, Bloco G, 2030 – 101 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ 21941-45, Brazil

Jonni Guiller Ferreira Madeira

CDBG - CEFET/RJ, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Angra dos Reis, RJ, Brasil
E-mail: jonni.madeira@cefet-rj.br

Derisvaldo Rosa Paiva

CDBG - CEFET/RJ, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Angra dos Reis, RJ, Brasil

Marcus Val Springer

CCGADM - CEFET/RJ, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Maracanã, RJ, Brasil

Elizabeth Mendes de Oliveira

CCGADM - CEFET/RJ, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Maracanã, RJ, Brasil

Eluã Ramos Coutinho

Departamento de Computação, Universidade Federal Fluminense, Rio das Ostras, RJ, Brasil.
Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RESUMO

No geral, os estudantes apresentam uma aversão a disciplina de Física, sentimento motivado, em muitos casos, por uma visão abstrata dos conceitos físicos e, dessa forma, desvinculada da realidade. O objetivo desse estudo é desenvolver uma proposta de aula lúdica sobre a lei de Ohm para alunos de Ensino Médio no intuito de mitigar essa abstração. Para o experimento desenvolvido foi utilizado: multímetro analógico, baterias de 9,0 V, fitas de cartolina pintadas com lápis 6B e grafite em pó, sendo esse separado em três atividades didáticas, mostrando o que foi o experimento original de Ohm e os prováveis passos usados por ele até chegar no que hoje conhecemos como a Lei de Ohm. Na primeira atividade, os alunos são motivados a relacionar a corrente que flui por um condutor enquanto se varia o seu comprimento e largura diante uma diferença de potencial fixa. Na segunda atividade, é discutido como a corrente se comporta com a variação da diferença de potencial sobre o material condutor. Por fim, na terceira atividade, é estabelecido a lei de Ohm a partir dos resultados obtidos previamente. A realização desse experimento em sala de aula colabora para um maior protagonismo dos alunos no processo de ensino-aprendizado.

Palavras-chave: Ensino de Física. Corrente elétrica. Resistor ôhmico.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos, é percebido uma crescente falta de interesse de uma parte expressiva dos alunos do Ensino Médio na disciplina de Física. Há diversos motivos que podem ter colaborado para essa falta de interesse por parte dos discentes, tais como: baixa carga horária da disciplina, aulas expositivas tradicionais, falta de um conteúdo lúdico entre outros motivos, podendo variar, ainda, por região do país. Duarte (2012) afirma que:

A grande maioria dos estudantes não consegue assimilar de forma satisfatória as relações existentes entre o modelo e o fenômeno observado. Com isso, o aprendizado do conceito envolvido acaba acontecendo de forma incompleta e a relação do aluno com o conteúdo apresentado tem grande chance de se reduzir à nossa velha conhecida situação em que dois mundos permanecem isolados: de um lado, os conceitos físicos; de outro, os exercícios quase matemáticos que normalmente são resolvidos de forma mecânica (DUARTE, 2012, p.527).

Há uma grande ponte entre as experiências sensoriais e os modelos matemáticos. Os modelos matemáticos, no ponto de vista dos alunos em geral, são abstratos, complexos e exigem uma fluência em aritmética e álgebra, muitas das vezes, distante do arsenal de conhecimento do aluno. Todavia, quando é apresentado um experimento simples para os alunos, é possível perceber uma maior facilidade de compreensão por parte do estudante e, consequentemente, um maior interesse. Dessa forma, fica claro que essa interlocução lúdica com outros sujeitos, no caso o professor, facilitam a internalizam os conhecimentos, papéis e funções sociais, o que permite o desenvolvimento do conhecimentos e da própria consciência (VYGOTSKY, 1994).

A motivação desse trabalho está dentro dessa problemática. Nessa ótica, é apresentado neste uma proposta de aula sobre a lei de Ohm para alunos de uma turma de Ensino Médio do sistema escolar brasileiro atual, envolvendo a realização de atividades experimentais e uma análise teórica dos resultados. É proposto nesta aula que a lei de Ohm seja apresentada, inicialmente, como uma lei que descreve o comportamento elétrico de um circuito fechado, como sugerido por Kipnis (2009) a partir da análise histórica da descoberta e da publicação por Ohm em 1827.

O objetivo deste estudo é fazer uma conexão do experimental com o modelo teórico, utilizando experimentos construídos com materiais de baixo custo que introduzam ao aluno a experiência sensorial como ferramenta de aprendizado no intuito de auxiliar o processo de aprendizado.

2 INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA A PARTIR DE EXPERIMENTOS

Arons (1982), Cohen, Eylon e Ganiel (1983), McDermott e Shaffer (1994) e Shipstone (1984) chamam a atenção para a dificuldades dos alunos na aprendizagem dos processos de construção dos circuitos elétricos e na compreensão de conceitos básicos como circuito, corrente, voltagem e

resistência elétrica. Mais ainda, segundo Hodson (1994), muitos trabalhos de pesquisa indicam que os estudantes aprendem mais sobre a ciência e desenvolvem melhor suas habilidades e competências quando participam de investigações científicas semelhantes àquelas realizadas nos moldes de um laboratório de pesquisa. Portanto, é importante que os professores de ciências em geral tenham a oportunidade de conhecer, testar e avaliar diferentes estratégias para ensinar os conteúdos das aulas com um caráter investigativo.

Lembramos, ainda, que os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (BRASIL, 2002) também destacam a importância da contextualização sociocultural do conteúdos científicos e tecnológicos a serem considerados em aula. Este trabalho destina-se então, do ponto de vista didático, a compor um material de apoio aos professores de física em suas aulas para turmas do Ensino Médio sobre o comportamento da corrente em condutores homogêneos

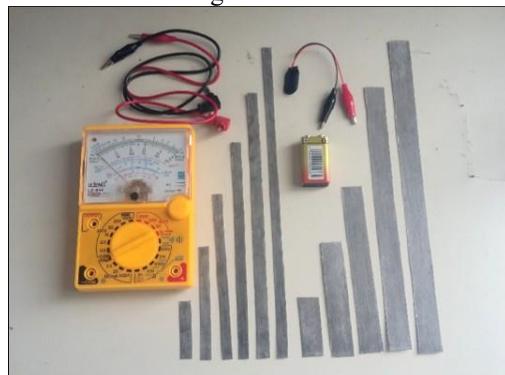
3 EXPERIMENTO DIDÁTICO PARA AULA SOBRE LEI DE OHM

Serão desenvolvidas três atividades didáticas usando uma representação do que foi o experimento de Ohm e os prováveis passos usados até chegar no que hoje conhecemos como a Lei de Ohm. Essas atividades foram simuladas no intuito de criar um protocolo de aplicação, de forma a poder ser reproduzida em um contexto real.

3.1 MATERIAL EMPREGADO NAS ATIVIDADES

O material empregado nas atividades, na Figura 1, foram os seguintes: multímetro analógico, baterias de 9,0 V, fitas de cartolina pintadas com lápis 6B e grafite em pó. As fitas se comportam como resistores ôhmicos e possuem as seguintes dimensões: largura W de 1,0 cm, 2,0 cm e 3,0 cm e comprimento L de 5,0 cm, 10,0 cm, 15,0 cm, 20,0 cm, 25,0 cm e 30,0 cm. As conexões entre os componentes foi feita com as garras tipo “jacaré” e pinos tipo “banana”.

Fig.1 – Material utilizado na montagem das atividades discutidas neste trabalho.



3.2 O RESISTOR ALTERNATIVO

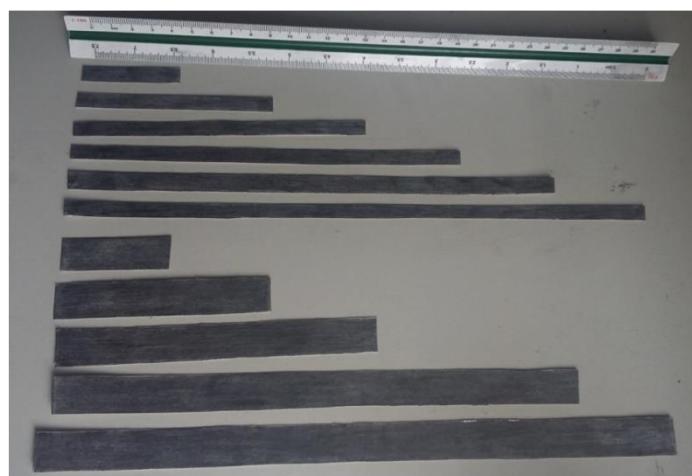
O resistor alternativo utilizado na atividade tem como objetivo utilizar materiais de fácil acesso e baixo custo. Como material resistivo foram utilizadas faixas de cartolina pintadas com lápis 6B e grafite em pó. O grafite é um material condutor, embora tenha uma resistividade alta se comparada a de outros elementos. O processo de construção é simples, inicialmente é construído o resistor pintando uma faixa retangular de papel. A escolha desse método se deve ao fato de ser extremamente barato e de fácil confecção, o grafite em pó ajuda a depositar uma camada mais homogênea de grafite sobre as fitas. A Figura 2 mostra o material empregado no processo de confecção das fitas.

Fig. 2 – Uma das fitas de cartolina pintadas com lápis e grafite em pó que foi empregada como resistor nas atividades.



As fitas de cartolina confeccionadas para o trabalho estão ilustradas na Figura 3.

Fig.3 – Algumas das fitas de cartolina, de largura W de 1,0 cm, 2,0 cm e 3,0 cm e comprimento L de 5,0 cm, 10,0 cm, 15,0 cm, 20,0 cm, 25,0 cm e 30,0 cm.



3.2.1 Calibração das fitas

A resistência elétrica da fita depende não só das suas dimensões (largura (W) e comprimento (L)), mas também da espessura da camada de grafite depositada sobre ela. Todavia, é importante ressaltar que a resistência elétrica da fita não depende da espessura da cartolina. A não uniformidade da camada de grafite compromete o resultado didático que é pretendido, pois descaracteriza o comportamento da corrente quando observada em condutores, como é o caso dos fios de cobre que apresentam grande uniformidade. Obter uma uniformidade da camada de grafite é uma tarefa difícil, dessa maneira, para garantir a constância da espessura das fitas, se faz necessário calibrá-las antes da realização das três atividades propostas.

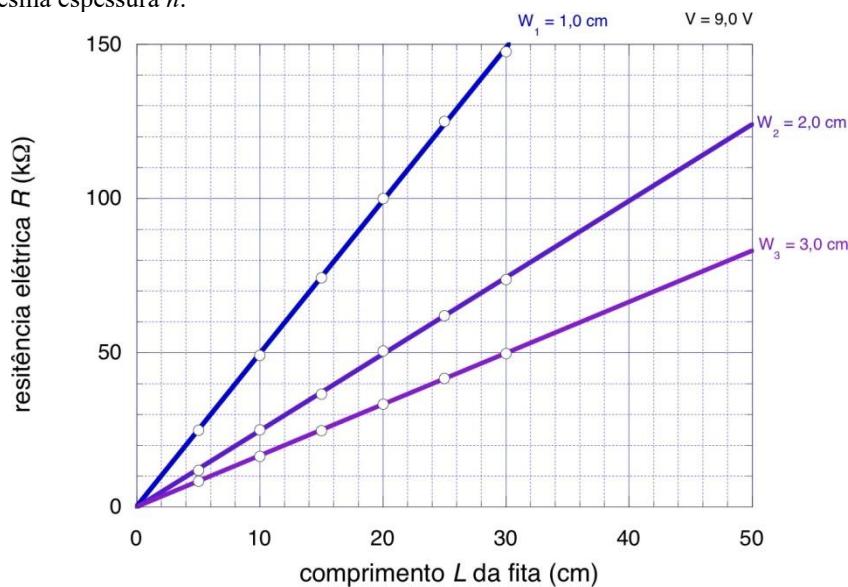
Ao confeccionar a primeira fita para o trabalho didático ($1,0\text{ cm} \times 30,0\text{ cm}$), por exemplo, é necessário realizar a medida de corrente estimada para ela e procurar manter constante o produto da corrente I pelo comprimento da fita L para as demais fitas de mesma largura. Seguindo o mesmo procedimento, é necessário preparar os outros conjuntos de fitas de largura diferente, de modo a garantir que todas as fitas tenham a mesma espessura h . A Tabela 1 apresenta as medidas de calibração que realizamos com as fitas, sob uma diferença de potencial de $V = 9,0\text{ V}$. Todas as medidas apresentam uma incerteza de uma unidade na última casa decimal ou no último dígito indicados. O gráfico da Figura 4 revela a dependência linear da resistividade elétrica das nossas fitas com o seu comprimento.

Tabela 1 – Medidas de calibração das fitas que simulam os resistores alternativos, sob uma diferença de potencial de $V = 9,0\text{ V}$.

$W1 = 1,0\text{ cm}$			$W2 = 2,0\text{ cm}$			$W3 = 3,0\text{ cm}$		
$L(\text{cm})$	$I(\text{mA})$	$LI(\text{cm.mA})$	$L(\text{cm})$	$I(\text{mA})$	$LI(\text{cm.mA})$	$L(\text{cm})$	$I(\text{mA})$	$LI(\text{cm.mA})$
5	0,361	25	5	0,754	12	5	1,083	8
10	0,183	49	10	0,36	25	10	0,545	17
15	0,121	74	15	0,246	37	15	0,363	25
20	0,09	100	20	0,178	51	20	0,27	33
25	0,072	125	25	0,145	62	25	0,216	42
30	0,061	148	30	0,122	74	30	0,181	50

Os resultados dessa tabela são obtidos por meio de tentativas, onde pequenas quantidades de grafite em pó foram adicionadas e espelhadas, ou retiradas passando uma borracha levemente sobre a fita até que apresentassem as características desejadas. Dessa maneira foi possível garantir uma uniformidade satisfatória na confecção das fitas.

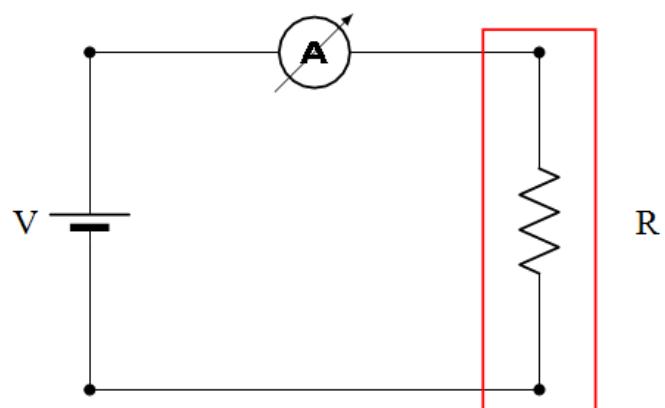
Fig. 4 – Dependência da resistência elétrica R das nossas fitas com o seu comprimento L , para diferentes larguras W . O comportamento linear dos coeficientes angulares com a largura das fitas revela que as fitas usadas nas atividades com os alunos possuem a mesma espessura h .



4 COMPORTAMENTO DA CORRENTE COM O COMPRIMENTO DAS FITAS

Na grande maioria dos casos, são apresentados aos estudantes esquemas simplificados de um circuito elétrico e dos seus componentes. Embora os desenhos esquemáticos pareçam de fácil compreensão, a montagem de um circuito simples muitas vezes se mostra uma tarefa nada trivial. Nesta atividade é pretendido explorar a análise do circuito esquemático indicado na Figura 5 como uma atividade prática.

Fig. 5 – Esquema simplificado do circuito elétrico empregado nas três atividades práticas. O retângulo em vermelho indica a fita de resistência elétrica R .



Uma vez montado o circuito, o objetivo desta atividade é estabelecer a relação algébrica mais simples possível entre as variáveis envolvidas no problema. Neste contexto, é analisado os dados

obtidos de corrente elétrica para diferentes resistores empregando o método gráfico, ferramenta de grande valia na atividade científica.

Após todo o material preparado, o arranjo experimental composto por uma ligação em série entre a fita, amperímetro e bateria deve ser montado conforme descrito na Figura 6.

Fig. 6 – Circuito elétrico da primeira atividade: Bateria, amperímetro e resistor em série. As nossas fitas, com diferentes comprimentos L e diferentes larguras W representam o resistor ôhmico.

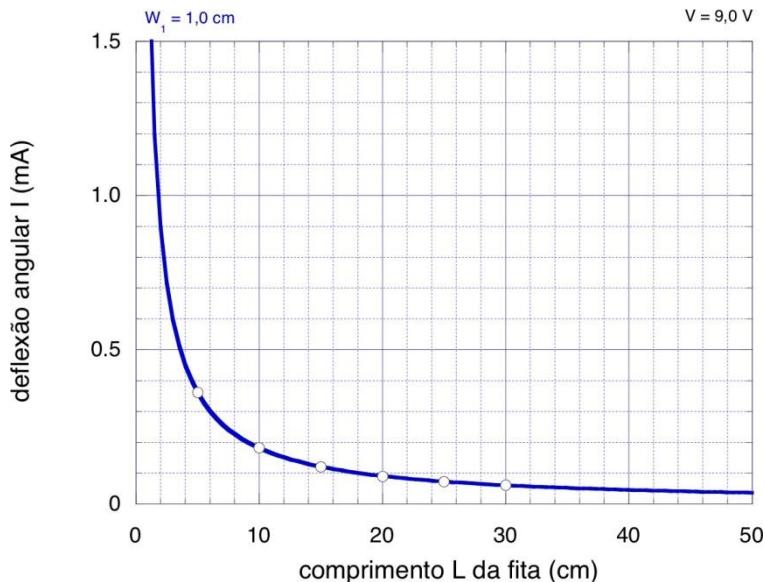


A partir desse arranjo foram realizadas diferentes medidas da corrente que circulam no circuito, utilizando os condutores de diferentes comprimentos L , mas de mesma largura $W = 1,0$ cm. As medidas da corrente sob uma diferença de potencial $V = 9,0$ V estão indicadas na Tabela 2. Em seguida, foram construídos os gráficos da corrente I (mA) relacionado ao comprimento L (cm) das tiras, sob uma diferença de potencial $V = 9,0$ V, para as larguras $W = 1,0$ cm, como indicado na Figura 7.

Tabela 2 – Medidas da corrente que circula no circuito utilizando os condutores de diferentes comprimentos L e largura $W = 1,0$ cm, sob uma voltagem $V = 9,0$ V.

(cm)	(mA)
5,0	0,361
10,0	0,183
15,0	0,121
20,0	0,090
25,0	0,072
30,0	0,061

Fig.7 – Comportamento da corrente I vs. comprimento L das tiras, sob uma diferença de potencial $V = 9,0$ V, para a tira de largura $W = 1,0$ cm.



Pode ser observado, a partir do gráfico da Figura 7, que quanto maior é o comprimento L da fita, menor é o valor da corrente I que circula no circuito. Para identificar a função que descreve o gráfico da Figura 7, é possível avaliar em outro gráfico, como se comporta o produto da corrente I pelo comprimento da tira L tanto em função da corrente I quanto do comprimento da tira L . Este procedimento está indicado na Tabela 3 e ilustrado na Figura 8, para o último caso.

Tabela 3 – Medidas da corrente que circula no circuito utilizando os condutores de diferentes comprimentos L e largura $W = 1,0$ cm, sob uma voltagem $V = 9,0$ V, e do produto entre a corrente e o comprimento da fita.

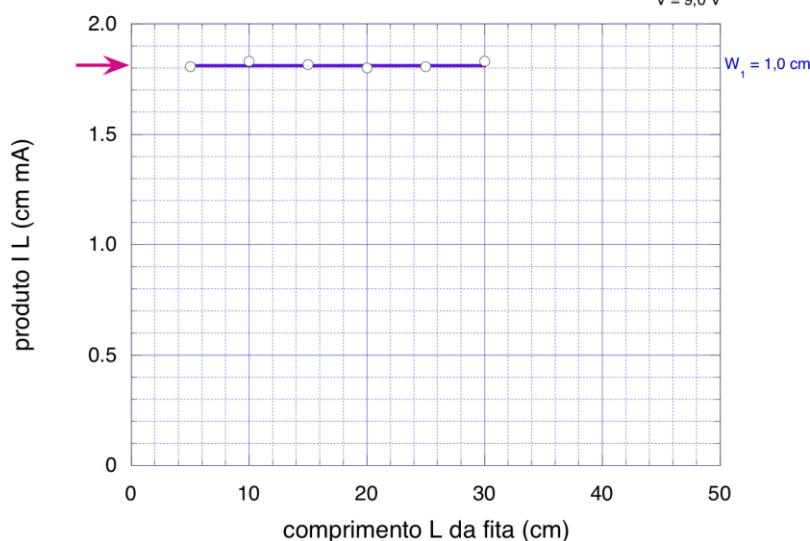
L (cm)	I (mA)	IL (mA.cm)
5,0	0,361	1,805
10,0	0,183	1,830
15,0	0,121	1,815
20,0	0,090	1,800
25,0	0,072	1,805
30,0	0,061	1,830

Analisando o gráfico da Figura 8, com uma régua, por exemplo, pode-se obter uma relação entre os parâmetros envolvidos, descrita pela Equação 2.1:

$$IL = a \quad (2.1)$$

Onde: $a \approx 1,81$ cm.mA (coeficiente linear da reta do gráfico).

Fig. 8 – Comportamento do produto da corrente I pelo comprimento L das fitas vs. comprimento L das tiras, sob uma diferença de potencial $V = 9,0$ V, para a tira de largura $W = 1,0$ cm. A seta indica o valor do produto IL .



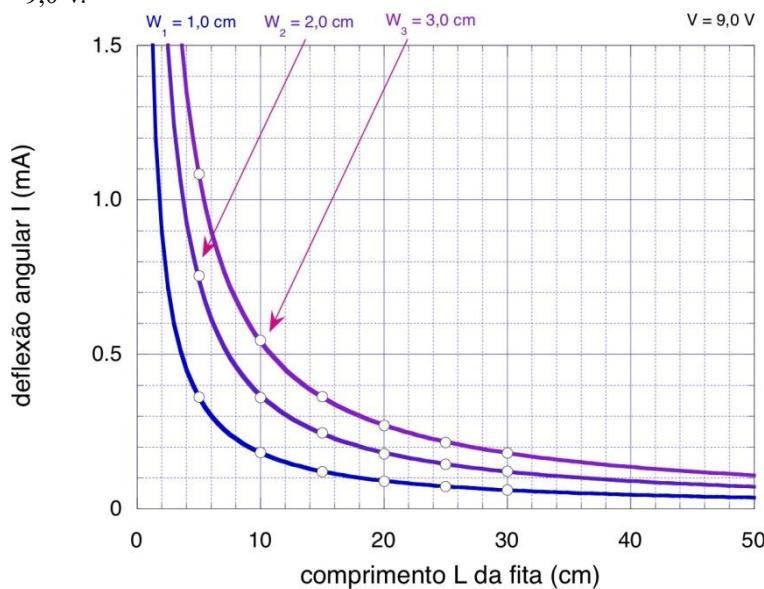
O procedimento é reproduzido com as fitas de larguras W de $2,0$ cm e $3,0$ cm, no mesmo intervalo de comprimentos L : $5,0$ cm, $10,0$ cm, $15,0$ cm, $20,0$ cm, $25,0$ cm e $30,0$ cm. As medidas obtidas estão indicadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Medidas da corrente que circula no circuito utilizando os condutores de diferentes dimensões, sob uma diferença de potencial $V = 9,0$ V.

$W_1 = 1,0$ cm			$W_2 = 2,0$ cm			$W_3 = 3,0$ cm		
L (cm)	I (mA)	LI (cm.mA)	L (cm)	I (mA)	LI (cm.mA)	L (cm)	I (mA)	LI (cm.mA)
5	0,361	1,8	5	0,754	3,8	5	1,083	5,4
10	0,183	1,8	10	0,36	3,6	10	0,545	5,5
15	0,121	1,8	15	0,246	3,7	15	0,363	5,4
20	0,09	1,8	20	0,178	3,6	20	0,27	5,4
25	0,072	1,8	25	0,145	3,6	25	0,216	5,4
30	0,061	1,8	30	0,122	3,7	30	0,181	5,4

A série W_1 representa as fitas de largura igual a $1,0$ cm; a série W_2 as fitas de largura igual a $2,0$ cm; e a série W_3 as fitas de largura igual a $3,0$ cm e o comportamento da corrente com o comprimento da fitas está indicado nas curvas do gráfico da Figura 9.

Fig. 9 – Comportamento da corrente I vs. comprimento L das fitas de largura: $W = 1,0$ cm, $2,0$ cm e $3,0$ cm, sob uma diferença de potencial $V = 9,0$ V.



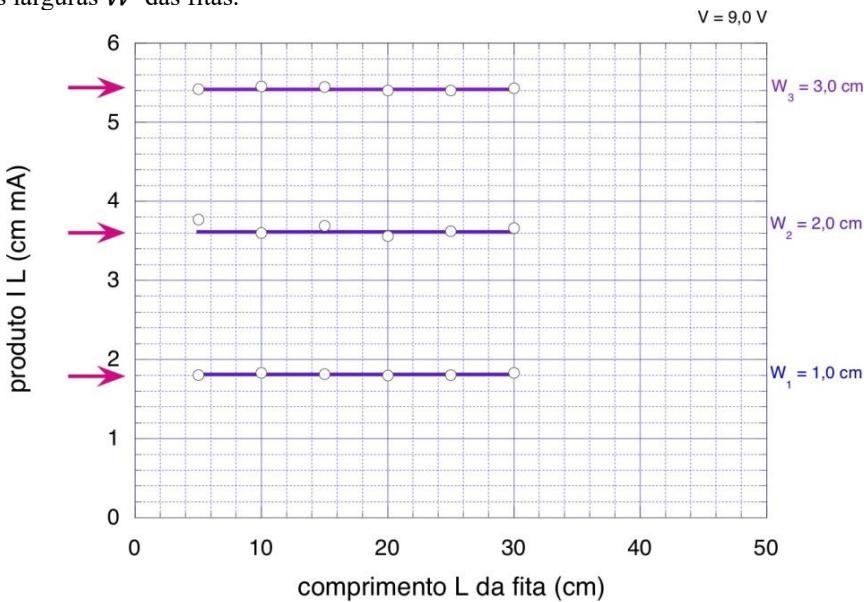
É observado, partir do gráfico da Figura 9, que para as três larguras consideradas, quanto maior for o comprimento L do fio, menor será o valor da corrente I que circula no circuito. Também é possível concluir que existe uma clara diferença entre a corrente que passa nas fitas de mesmo comprimento mas de larguras diferentes.

Para uma possível identificação da função que descreve as curvas apresentadas no gráfico da Figura 7, o procedimento da fita de largura W igual 1,0 cm foi reproduzido. Outro gráfico foi construído para analisar o comportamento do produto da corrente I pelo comprimento da tira L , tanto em função da corrente I quanto do comprimento da tira L . Este procedimento está indicado na Tabela 5 e ilustrado na Figura 8, para o último caso.

Analizando as curvas do gráfico da Figura 10, é possível obter uma relação entre os parâmetros envolvidos. Para as tiras de larguras $W = 2,0$ cm e $W = 3,0$ cm obtemos, respectivamente, a Equação 2.4:

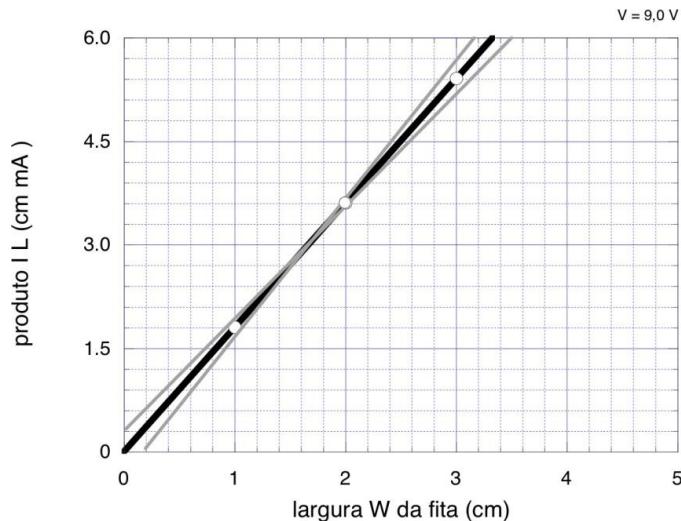
$$IL = a \quad (2.4)$$

Fig. 10 – Comportamento do produto da corrente I pelo comprimento L das fitas vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1,0\text{cm}$, $2,0\text{cm}$ e $3,0\text{cm}$, sob uma diferença de potencial $V = 9,0\text{V}$. As setas indicam o valor do produto IL para as diferentes larguras W das fitas.



Os coeficientes lineares das retas do gráfico para $W = 2,0\text{ cm}$ e $W = 3,0\text{ cm}$ são, respectivamente: $1,81\text{ cm.mA}$ e $5,41\text{ cm.mA}$. Portanto, a corrente I que percorre o circuito varia com o inverso do comprimento L das fitas empregadas no experimento e tanto o valor da corrente I quanto a taxa de variação depende da largura W da fita. O valor do coeficiente linear das retas do gráfico da Figura 10 depende da largura da fita considerada: quanto maior for a largura W , maior é o valor do coeficiente linear da reta. O comportamento do coeficiente linear $a = IL$ com a variação da largura W das fitas está indicado na Figura 11.

Figura. 11 – Comportamento do coeficiente linear $a = IL$ com a variação da largura W das fitas, indicado pela reta preta, para fitas submetidas a uma diferença de potencial $V = 9,0\text{V}$. Em cinza estão as retas auxiliares para a determinação da incerteza dos coeficientes.



Analisando a reta do gráfico da Figura 11, é possível obter uma relação entre os parâmetros envolvidos representado pela Equação (2.9).

$$IL \equiv a(W) = bW, \quad (2.9)$$

Onde: $b \approx 1,81 \text{ cm.mA}$ (coeficiente linear da reta do gráfico).

A interpretação desta equação é bastante simples: Ao manter a voltagem V e o comprimento L fixos, se a largura for dobrada, também será dobrado a corrente que circula pela fita. Ao manter fixo o valor da voltagem V e da largura W da fita, se o comprimento da fita for dobrado, a corrente que circula na fita se reduz à metade. Essa conclusão pode ser transcrita pela Equação 2.12:

$$I = b \frac{W}{L} \quad (2.12)$$

5 COMPORTAMENTO DA CORRENTE COM A VOLTAGEM APLICADA ÀS FITAS

Essa atividade investiga o comportamento da corrente I com o comprimento L das fitas e sua dependência com a diferença de potencial V aplicada às fitas. O procedimento da atividade anterior deve ser refeito variando o número de baterias em série. Primeiramente, será analisado o comportamento do circuito com duas baterias em série e, em seguida, o comportamento do mesmo circuito mas com três baterias em série.

5.1 CIRCUITO COM DUAS BATERIAS EM SÉRIE

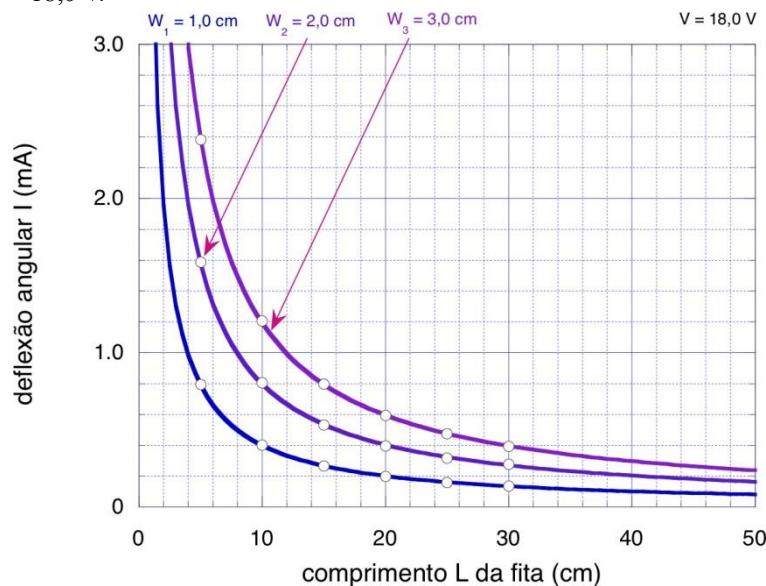
Inicialmente deve ser feita a troca da bateria de 9,0 V por duas baterias idênticas de 9,0 V, a partir daí, foi obtido os resultados indicados na Tabela 5 e representados na Figura 12. A série W_1 representa novamente as fitas de largura igual a 1,0 cm; a série W_2 as fitas de largura igual a 2 cm; e a série W_3 as fitas de largura igual a 3,0 cm e o comportamento da corrente com o comprimento da fitas está indicado nas curvas do gráfico da Figura 12.

Tabela 5 – Medidas da corrente que circula no circuito utilizando os condutores de diferentes dimensões, sob uma diferença de potencial $V = 18,0 \text{ V}$

$W_1 = 1,0 \text{ cm}$			$W_2 = 2,0 \text{ cm}$			$W_3 = 3,0 \text{ cm}$		
$L(\text{cm})$	$I(\text{mA})$	$LI(\text{cm.mA})$	$L(\text{cm})$	$I(\text{mA})$	$LI(\text{cm.mA})$	$L(\text{cm})$	$I(\text{mA})$	$LI(\text{cm.mA})$
5	0,794	4	5	1,588	7,9	5	2,382	11,9
10	0,402	4	10	0,805	8,1	10	1,207	12,1
15	0,266	4	15	0,532	8	15	0,798	12

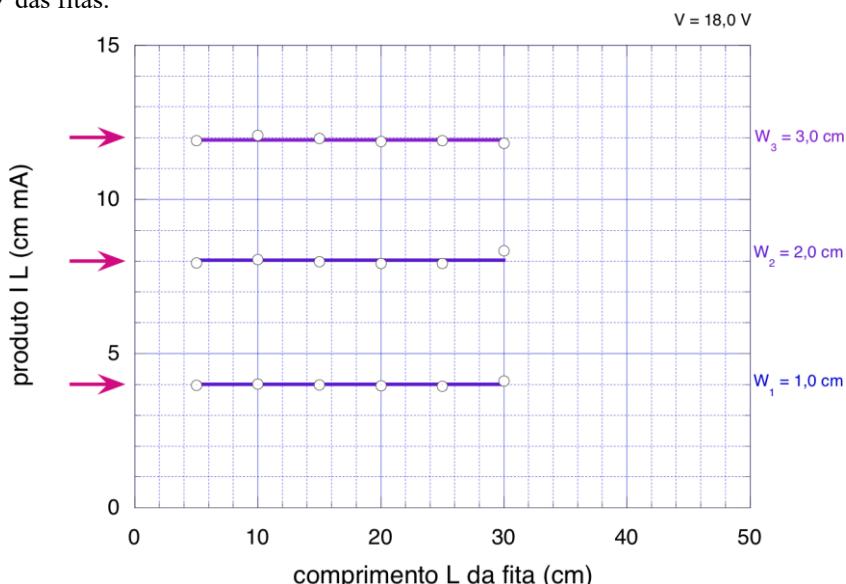
20	0,198	4	20	0,396	7,9	20	0,594	11,9
25	0,158	4	25	0,317	7,9	25	0,476	11,9
30	0,137	4,1	30	0,278	8,3	30	0,394	11,8

Fig. 12 – Comportamento da corrente I vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1,0$ cm, $2,0$ cm e $3,0$ cm, sob uma diferença de potencial $V = 18,0$ V.



É observado um comportamento similar àquele das curvas apresentadas no gráfico da Figura 7. Assim como na atividade anterior, será analisado o comportamento do produto da corrente I pelo comprimento da tira L em função do comprimento da tira L . O resultado desse procedimento está indicado na Tabela 5 e ilustrado na Figura 13.

Figura 13. – Comportamento do produto da corrente I pelo comprimento L das fitas vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1,0$ cm, $2,0$ cm e 3 cm, sob uma diferença de potencial $V = 18,0$ V. As setas indicam o valor do produto IL para as diferentes larguras W das fitas.



Fazendo a análise das curvas do gráfico da Figura 13, é possível obter, novamente, uma relação entre os parâmetros envolvidos, representado pela Equação 2.13.

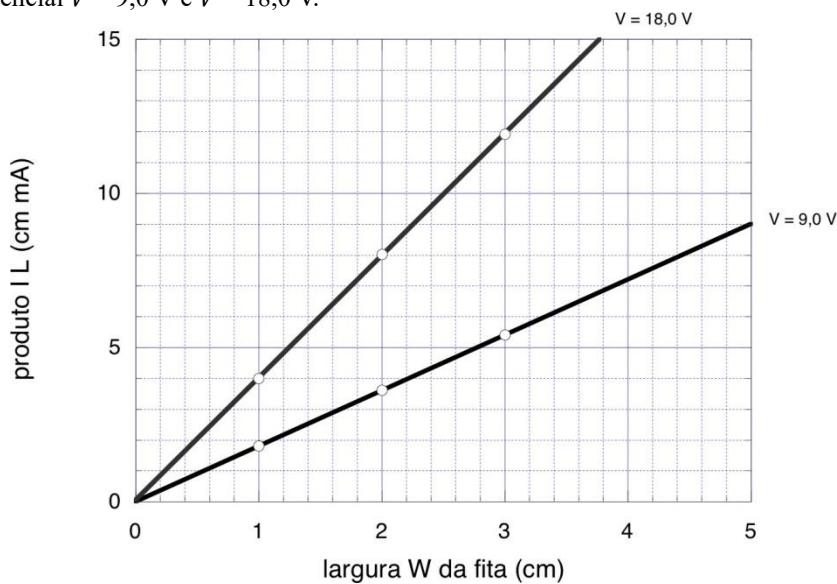
$$I = \frac{a}{L} \quad (2.13)$$

Portanto, a corrente I que percorre o circuito continua a variar com o inverso do comprimento L das fitas empregadas no experimento. Outro aspecto relevante é o fato do valor da corrente I e a da taxa de variação dependerem da largura W da fita.

Pode ser observado ainda que o valor do coeficiente linear das retas do gráfico da Figura 13 depende da largura da fita considerada: quanto maior for a largura W , maior é o valor do coeficiente linear da reta. Entretanto, observando a Figura 14, para a voltagem $V = 18,0$ V os valores de IL agora são praticamente o dobro daqueles valores encontrados na atividade anterior, quando a fita estava submetida a uma voltagem $V = 9,0$ V. Este comportamento é melhor apreciado na Figura 14.

As retas apresentadas do gráfico da Figura 14 revelam que o produto IL depende linearmente da largura W da fita e também depende de alguma forma da voltagem V aplicada à fita.

Figura 14. – Comportamento do coeficiente linear $a = IL$ com a variação da largura W das fitas, para fitas submetidas a uma diferença de potencial $V = 9,0$ V e $V = 18,0$ V.



Este comportamento sugere que o produto IL varia linearmente com a largura W da fita sugerindo, dessa forma, as Equações 2.14 e 2.15.

$$IL = bW \quad (2.14)$$

$$\frac{a}{w} = \frac{IL}{W} = b \quad (2.15)$$

Desse modo, é possível deduzir a Equação 2.16.

$$a \equiv IL = bW \quad (2.16)$$

Entretanto, o parâmetro b (o coeficiente angular das retas da Figura 14) apresenta alguma dependência com a diferença de potencial aplicada à fita, sendo assim: $b \equiv b(V)$. Para verificar esta hipótese o experimento deve ser refeito, utilizando, dessa vez, agora três baterias em série.

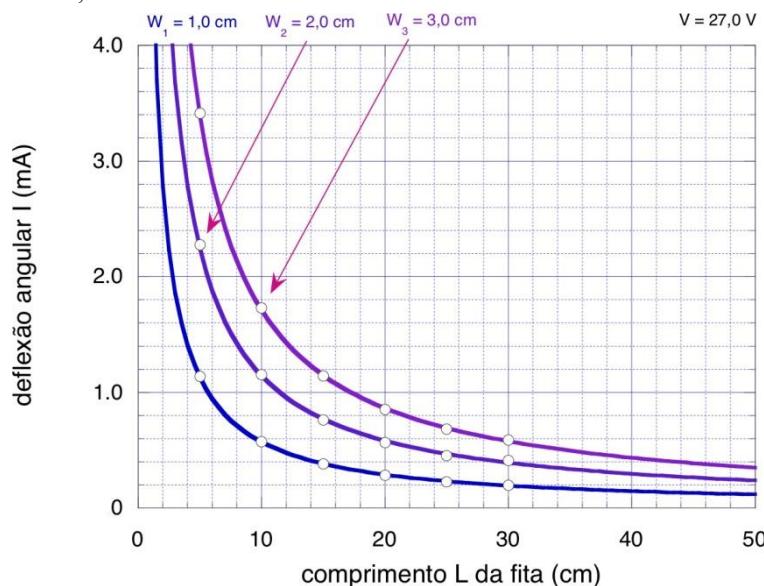
5.2 CIRCUITO COM TRÊS BATERIAS EM SÉRIE

Será analisado, nesta atividade, o mesmo circuito anterior mas a fonte de tensão é constituída por três baterias. Desse modo, a fita fica agora submetida a uma voltagem $V = 27,0$ V. Os resultados deste outro experimento estão indicados na Tabela 6 e a análise dos dados foram feitas a partir da Figura 15, como nos experimentos precedentes. Quando é realizada uma investigação do comportamento do produto IL com o comprimento L da fita, pode ser verificado uma existência de uma relação entre este produto e a largura W da fita. Pode ser observado, da Figura 15, um comportamento similar ao comportamento da corrente I em função do comprimento L da fita e da sua largura W .

Tabela 6 – Medidas da corrente que circula no circuito utilizando os condutores de diferentes dimensões, sob uma diferença de potencial $V = 27,0$ V.

$W1 = 1,0$ cm			$W2 = 2,0$ cm			$W3 = 3,0$ cm		
$L(cm)$	$I(mA)$	$LI(cm.mA)$	$L(cm)$	$I(mA)$	$LI(cm.mA)$	$L(cm)$	$I(mA)$	$LI(cm.mA)$
5	1,137	5,7	5	2,274	11,4	5	3,411	17,2
10	0,576	5,8	10	1,152	11,5	10	1,729	17,2
15	0,381	5,7	15	0,762	11,4	15	1,143	17,2
20	0,283	5,7	20	0,567	11,3	20	0,85	17,2
25	0,227	5,7	25	0,454	11,4	25	0,682	17,2
30	0,198	5,9	30	0,41	12,3	30	0,59	17,2

Fig. 15 – Comportamento da corrente I vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1,0$ cm, $2,0$ cm e $3,0$ cm, sob uma diferença de potencial $V = 27,0$ V.



Fazendo a analise do produto IL com o auxílio da Figura 16, é possível perceber, mais uma vez, que esse produto depende da largura L da fita e da voltagem V na qual ela é submetida, como indicado na Figura 17.

Fig. 16 – Comportamento do produto da corrente I pelo comprimento L das fitas vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1,0$ cm, $2,0$ cm e $3,0$ cm, sob uma diferença de potencial $V = 27,0$ V. As setas indicam o valor do produto IL para as diferentes larguras W das fitas.

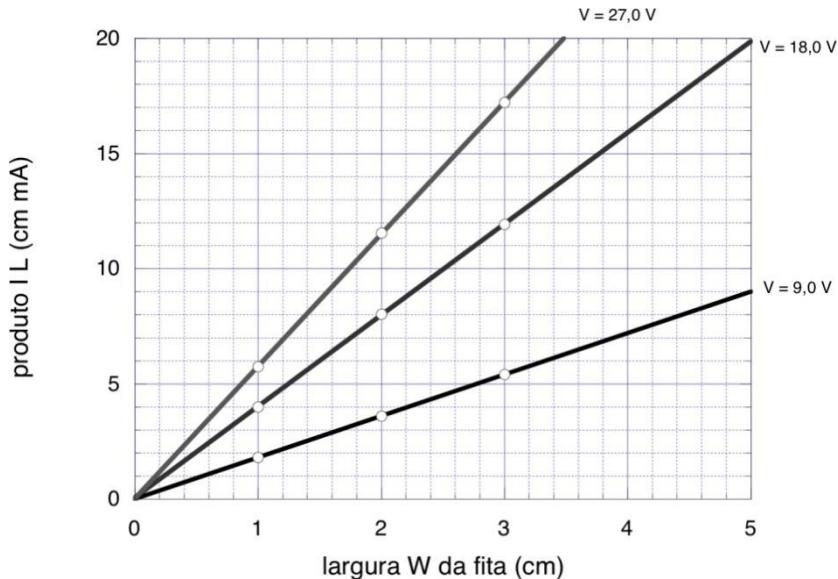
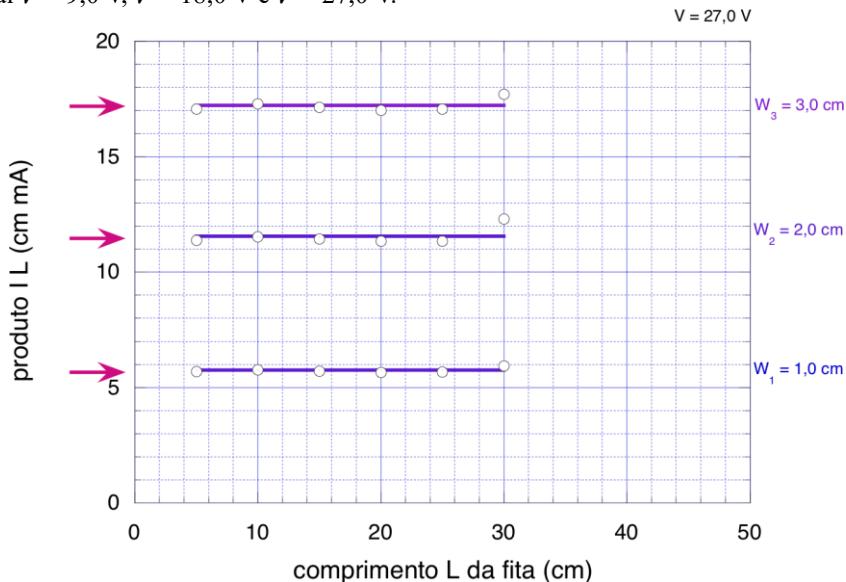


Fig. 17 – Comportamento do coeficiente linear $a = IL$ com a variação da largura W das fitas, para fitas submetidas a uma diferença de potencial $V = 9,0$ V, $V = 18,0$ V e $V = 27,0$ V.

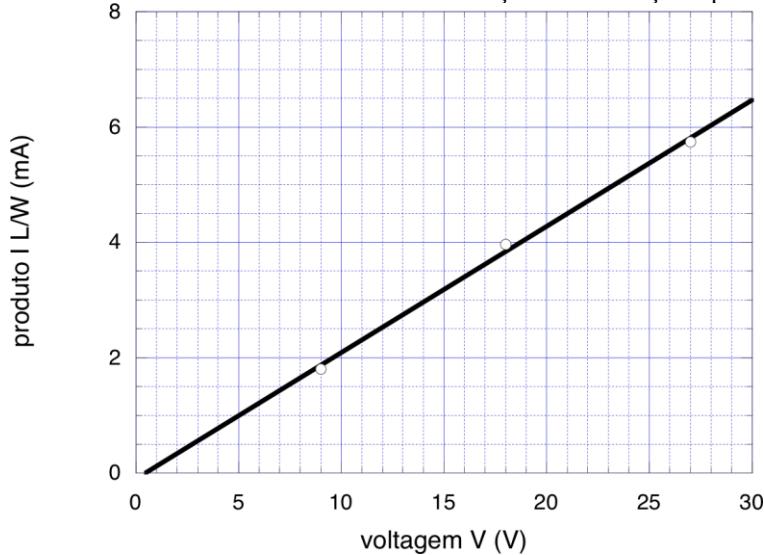


Observamos do gráfico da Figura 17 que o coeficiente linear b das retas apresentadas no gráfico, aumentam conforme aumentamos a diferença de potencial V sobre as fitas. O comportamento funcional entre estes parâmetros físicos está descrito no gráfico da Figura 18.

A partir do gráfico da Figura 18, podemos concluir que existe uma relação linear entre o parâmetro b e a voltagem V aplicada à fita. Ao analisarmos a reta do gráfico da Figura 18, obtemos uma relação linear entre os parâmetros envolvidos (Equação 2.18).

$$b = sV \quad (2.18)$$

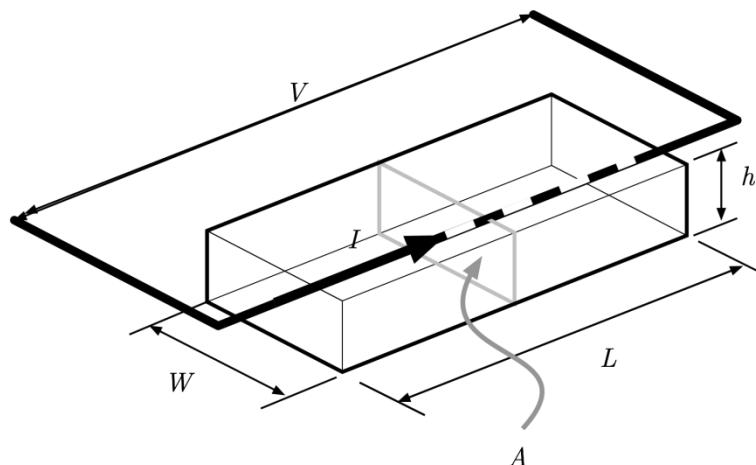
Fig. 18 – Comportamento do coeficiente linear $b = IL/W$ com a variação da diferença de potencial V aplicada às fitas.



Onde: $s \approx 0,22 \text{ mA/V}$ (coeficiente angular da reta do gráfico da Figura 18).

É possível, então, construir a seguinte representação para a o condutor, como ilustrado na Figura 19.

Fig. 19 – Modelo geométrico da fita condutora de comprimento L , seção transversal A e condutividade σ



Da Figura 19, é possível observar que as dimensões transversais aos conectores da bateria, a largura W e a espessura h da fita, são equivalentes. Isto significa que o parâmetro deve ser uma função linear de h (Equacao 2.20).

$$s = \sigma h \quad (2.20)$$

Dessa maneira, é obtida a Equacao (2.21).

$$\sigma V = \frac{IL}{hW} \quad (2.21)$$

É possível observar, ainda a partir da Figura 19, que o produto $h \cdot W$ corresponde a área A da seção transversal da fita condutora, de forma que a Equacao 2.2.1 pode ser descrita pela Equacao 2.22.

$$\sigma V = \frac{IL}{A} \quad (2.22)$$

A partir dessa atividade, também podemos deduzir a Equação 2.23.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.23)$$

A Equação 2.23 substituída na Equação 2.22 se transforma na Equação 2.24.

$$R = \frac{L}{\sigma A} \quad (2.24)$$

Todavia o parâmetro R pode ser descrito, também, pela Equação 2.25.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.25)$$

onde:

$\rho = 1/\sigma$ é denominado resistividade elétrica do material.

O parâmetro R reúne as características geométricas (L , W e h) e a característica constitutiva (ρ) da fita. No experimento em estudo a fita é constituída de carbono mas poderia ser outro material condutor. A equação (2.25) corresponde a primeira Lei de Ohm e a equação (2.23) corresponde a segunda Lei de Ohm.

É interessante observar que, mecanicamente, a corrente I , representa a força exercida pela mola do amperímetro sobre a sua agulha indicadora e, desse modo, mantê-la em equilíbrio ao fecharmos o circuito com fitas de diferentes comprimentos ($R \propto L$), mantendo fixos o número de baterias (V) e a seção transversal A das fitas. O parâmetro R é denominado resistência elétrica do corpo condutor porque quanto maior o valor de R , com o aumento do seu comprimento L , por exemplo, menor o valor da corrente I que circula pela fita. Naturalmente, para que a corrente circule na fita, deve haver alguma fonte conectada ao condutor para inserir e extraír a corrente gerada no circuito. este é o papel desempenhado pelas baterias.

Portanto, o circuito em estudo apresenta uma densidade de corrente J que atravessa a seção transversal A , tal como descrito pela Equação 2.26.

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.26)$$

Podendo ser reescrita como a Equação 2.28.

$$J = \frac{V}{AR} = \sigma \frac{V}{L} \quad (2.28)$$

Portanto, a densidade de corrente J é dada pela Equação 2.9.

$$J = \sigma E \quad (2.29)$$

O parâmetro E corresponde ao módulo do campo elétrico E que acelera os portadores de carga elétrica da fita condutora e pode ser descrito pela Equação 2.30.

$$E = \frac{V}{L} \quad (2.30)$$

Esta é outra forma de descrever a lei de Ohm. O módulo da densidade de corrente é diretamente proporcional ao módulo do campo elétrico aplicado (a voltagem aplicada por unidade de comprimento) e a constante de proporcionalidade é a condutividade σ do material. Para metais, o valor de σ é da ordem de $10^4 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1} = 10^6 \text{S.m}^{-1}$.

Para dielétricos, σ é da ordem de $10^{-15} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1} = 10^{-13} \text{Sm}^{-1}$, valor 10^{-19} menor que aquele observado nos metais. Para o grafite (carbono), material que constitui as nossas fitas, a condutividade tabelada é da ordem de $103 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1} = 10^5 \text{S.m}^{-1}$, à temperatura ambiente.

6 APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE AULA

Será descrito a seguir, de uma forma geral, uma sugestão de roteiro de aplicação dessa atividade em uma turma de Ensino Médio. Essa descrição tem o objetivo de servir apenas como uma sugestão de aplicação. Todavia, muito embora, existem diversas possibilidades de adaptações, cada qual dentro da sua especificidade.

Essa aula é planejada para quatro tempos de aula de 50 minutos cada, em uma turma de Ensino Médio. Essa descrição tem o objetivo de apenas servir como uma sugestão de protocolo de aplicação. Obviamente, muito embora, as possibilidades de aplicação desses experimentos são muitas, permitindo que o docente tenha certa autonomia de adaptar a atividade para o público alvo de acordo com as especificidades da turma.

É recomendado que os referidos turma alunos já haviam estudado, de maneira formal, em aulas anteriores, os princípios da eletrodinâmica. Sendo assim, a princípio é sugerido uma introdução, apresentando um breve resumo do cenário econômico e científico entre os séculos XVII e XIX. Isto permite os alunos a compreenderem melhor os interesses econômicos e sociais vinculados ao desenvolvimento científico-tecnológico da época e a contribuição de personagens importantes na história da eletricidade e do magnetismo tais como Humphry Davy, Coulomb, Volta, Fourier, Oersted e Seebeck. Naturalmente esse prefácio expressa uma certa interdisciplinaridade com outras disciplinas

do Ensino Médio, permitindo, então, por exemplo, uma vinculação do tema com a disciplina de Historia e/ou Geografia (especificamente a parte de Geografia política).

A seguir, ao finalizar o contexto histórico com a motivação da criação do conceito, aplicação e importância do conceito de eletrodinâmica, é proposto como desafio, aos alunos, obter uma lei que descreva o comportamento da corrente que atravessa o circuito em função dos parâmetros geométricos das fitas.

Para tal, serão propostas três atividades:

- a) Montagem do circuito, à medição da corrente que passava através do circuito ao usar as fitas nas diferentes dimensões e à organização dos dados coletados em uma tabela fornecida pelo professor.
- b) A partir dos dados obtidos construir os gráficos da corrente (I) em função do comprimento (L) das diferentes fitas e que o estudante, com suas palavras, descreva o comportamento da corrente observado nos gráficos. Após essa etapa é levantada a questão de como descrever esse comportamento através de uma expressão matemática.
- c) Formalização matemática entre os parâmetros físicos envolvidos no problema.

Em seguida, os grupos recebem, então, um roteiro guia para o desenvolvimento da atividade e as tabelas onde irão registrar os dados coletados (Anexo 1). Em seguida, deve ser fornecido os componentes para a montagem do circuito: a bateria de 9,0V, o amperímetro analógico, e as fitas de diferentes dimensões.

A primeira discussão a ser realizada entre o professor e os alunos é sobre a identificação de cada componente do circuito e como associá-los aos desenhos usados para sua representação nos esquemas tradicionais encontrados nos livros. Em seguida é discutida qual a configuração necessária dos componentes na montagem do circuito para que a grandeza de interesse (corrente) possa ser medida.

Na primeira parte da atividade é requerido aos alunos identificarem cada um dos componentes para, então, começarem a montagem do circuito a partir do material disponível: multímetro, bateria de 9,0 V, dois conjuntos de fitas de cartolina pintadas com lápis 6B e grafite em pó, um de largura W igual a 1,0 cm e comprimento L igual a 5,0 cm, 10,0 cm, 15,0 cm, 20,0 cm, 25,0 cm e 30,0 cm e o outro de largura W igual a 2,0 cm e comprimento L igual a 5,0 cm, 10,0 cm, 15,0 cm, 20,0 cm, 25,0 cm e 30,0 cm. Por fim, os alunos medem a corrente para diferentes fitas e organizam os dados na tabela.

A primeira parte da segunda tarefa é destinada a construção do gráfico a partir dos dados obtidos. Após a construção dos gráficos, na segunda parte da tarefa, os alunos devem tentar descrever,

em poucas palavras, a dependência da intensidade da corrente (I) em função do comprimento (L). Nesse momento o professor deve ter intervir, no intuito de refinar as respostas caso seja necessário, para lembrar aos estudantes algumas das principais características de algumas funções matemáticas que lhes são familiares.

Por fim, a terceira e última tarefa é caracterizada pela formalização matemática do problema. Em geral, esta tarefa não é muito familiar para os alunos de Ensino Médio e, por essa razão, foi redigido um pequeno texto auxiliar, descrito no parágrafo a seguir:

6.1 FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA DAS OBSERVAÇÕES

Como podemos deduzir uma equação que descreva o comportamento das grandezas em questão? Neste contexto, procuramos trabalhar com os dados através do método gráfico, ferramenta essencial na atividade científica. Nosso objetivo é determinar uma relação algébrica que seja a mais simples possível entre as variáveis estudadas: o comprimento do condutor L , sua largura W e a corrente I , a partir somente da análise das observações experimentais. A primeira tentativa, naturalmente, é relacionar as grandezas consideradas, construindo um gráfico da corrente (I) em função do comprimento do condutor (L), com os dados das séries experimentais W_1 e W_2 . A curva encontrada com os dados através do gráfico representa uma relação não linear entre a corrente e o comprimento do fio. Observamos, ainda a partir do mesmo gráfico, que quanto maior é o comprimento do fio (L), menor é o valor da corrente (I). Este comportamento nos sugere então analisar o produto destas duas grandezas (IL) em função de uma delas como, por exemplo, o comprimento L do fio.

Apesar de, em um primeiro momento, não ser claro para os alunos o motivo em utilizar essa técnica, é possível que por conta própria eles notem que o valor do produto IL se comporta praticamente como uma constante do problema, ainda que a série W_2 tenha o dobro do valor da série W_1 . Os alunos, ao perceberem este comportamento, compreendem a utilidade desta técnica: Se uma grandeza é inversamente proporcional a outra, o seu produto permanece constante. Caso os alunos não tenham essa sensibilidade, cabe ao professor instigar essa idéia de forma a surgir esse entendimento a partir da atividade proposta.

É interessante observar que, ao se depararem com um valor discrepante dos demais, na mesma tabela, caso isso ocorra, surgirá a dúvida sobre o motivo de tal medida ser tão diferente das demais e como o experimentador deve se comportar. O professor então deverá lembrar a expressão “ponto fora da curva”. Este é um bom momento para recomendar que esse não é o procedimento científico padrão. Nesse caso, as medidas discrepantes são indicadas mas não são incluídas na presente análise.

Desse modo, concluímos, junto com os alunos, que a intensidade da corrente (I) é uma função linear do inverso do comprimento (L), depende linearmente da largura (W) e pode ser representada pela Equação 3.1.

$$I(L, W) = s \frac{W}{L} V \quad (3.1)$$

Os parâmetros V e s são constantes que dependem da bateria, da espessura e do material do qual as fitas são constituídas. Ao realizar a substituição do produto sW/L por R , a expressão é identificada será Lei de Ohm. É possível q ao fazer essa ultima substituição, a partir da Equação 3.1, os alunos consigam reconhecer, por si só, a Lei de Ohm, caso isso não ocorra, é provável que retóricas e pequenos comentários estimulem o cognitivo do alunos, fazendo com que essa descoberta seja, ainda que com certa ajuda, genuína.

7 CONCLUSÃO

Esse trabalho propõem uma aula sobre o comportamento da corrente que flui através de diferentes fitas condutoras. Nesta proposta, foi combinado o trabalho experimental com o teórico de forma a construir uma estratégia que motive os alunos e os desperte para a ciência de forma didática e explorativa.

A realização de experimentos em sala de aula contribui para uma maior interação dos alunos com os conceitos físicos, permitindo que eles sejam, também, protagonistas no processo de aprendizagem, enxergando a Física como algo prazeroso, intrigante e desafiador. Ao fim das atividades propostas, é esperado que os alunos desenvolvam e/ou reforcem as seguintes habilidades e competências:

- Compreender o conceito de resistência elétrica;
- Diferenciar corpos condutores de isolantes e identificar, na natureza, os condutores e os isolantes;
- Entender a lei de Ohm e seus limites de aplicabilidade;
- Desenvolver competências matemáticas que o capacite a estabelecer analogias entre fenômenos mecânicos e elétricos;
- Compreender o conceito de potencial elétrico e sua importância no movimento de cargas elétricas;
- Realizar medidas com aparelhos experimentais;
- Construir gráficos e interpretá-los;

- Desenvolver, através da análise gráfica, as relações existentes entre as grandezas físicas envolvidas no problema considerado.

Um outro aspecto relevante está relacionado a utilização de uma abordagem a conceitos físicos fora do padrão tradicional, na qual propicia perguntas e comentários, de forma a construir o conhecimento de forma orgânica e natural, abrindo espaço para diálogos que vão além da temática da aula.

REFERÊNCIAS

- ARONS, Arnold B. Phenomenology and logical reasoning in introductory physics courses. **American Journal of Physics**, v. 50, n. 1, p. 13-20, 1982.
- BRASIL, P. C. N.; MÉDIO, Ensino. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. **MEC-SEMTEC, Brasília**, 2002.
- COHEN, Rafael; EYLYON, B.; GANIEL, Uri. Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. **American Journal of Physics**, v. 51, n. 5, p. 407-412, 1983.
- DUARTE, Sergio Eduardo. Física para o Ensino Médio usando simulações e experimentos de baixo custo: um exemplo abordando dinâmica da rotação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 525-542, 2012.
- HODSON, Derek. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.
- KIPNIS, Nahum. A law of physics in the classroom: The case of Ohm's law. **Science & Education**, v. 18, n. 3-4, p. 349, 2009.
- MCDERMOTT, Lillian C.; SHAFFER, Peter S. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. **American journal of physics**, v. 60, n. 11, p. 994-1003, 1992.
- SHIPSTONE, D. M. A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. **European journal of science education**, v. 6, n. 2, p. 185-198, 1984.
- VYGOTSKY, Lev Semenovich; DA MENTE, A. Formação Social. Martins Fontes. **São Paulo**, 1994.

ANEXO 1

I. Roteiro de trabalho para as aulas

O objetivo desse roteiro é auxiliar a dinâmica do conteúdo trabalhado durante a realização das aulas.

I.1 Objetivo

Esperamos que ao final das aulas os alunos sejam capazes de:

- Compreender o conceito de resistência elétrica;
- Diferenciar corpos condutores de isolantes e identificar, na natureza, os condutores e os isolantes;
- Entender a lei de Ohm e seus limites de aplicabilidade;
- Desenvolver competências matemáticas que o capacite a estabelecer analogias entre fenômenos mecânicos e elétricos;
- Compreender o conceito de potencial elétrico e sua importância no movimento de cargas elétricas;
- Realizar medidas com aparelhos experimentais;
- Construir gráficos e interpretá-los;
- Desenvolver, através da análise gráfica, as relações existentes entre as grandezas físicas envolvidas no problema considerado;

I.2 Desenvolvimento

A proposta da aula é estabelecer a lei de Ohm por meio da construção de um circuito elétrico simples e da análise do comportamento das grandezas físicas envolvidas no processo: o potencial elétrico, a corrente elétrica e as fitas condutoras. O ponto de partida da aula é a solicitação para que os alunos realizem em grupo a montagem de um circuito em série composto por uma bateria, pela fita e um amperímetro. Os conceitos físicos relacionados ao processo de corrente contínua podem ser discutidos pelo professor com os alunos durante a apresentação dos trabalhos. O professor deve encerrar as atividades realizando uma formalização matemática dos resultados obtidos pelos alunos.

I.3 Recursos didáticos

As três atividades didáticas apresentadas e discutidas nesta dissertação.

I.4 Duração

3 horas (4 tempos de aula).

I.5 Avaliação

A avaliação deve ser realizada a partir da observação do envolvimento de cada grupo nas atividades desenvolvidas e a partir da análise do relatório que cada grupo deve entregar ao final das atividades.

MODELO PARA O GUIA DE TRABALHO

II. Estudo da Corrente sobre os Condutores

Objetivo: Encontrar uma Lei que descreva a variação da intensidade da corrente elétrica em um circuito.

II.1 Atividade 1: Encontrar a relação entre a Intensidade da Corrente Elétrica e as Dimensões dos Condutores

Arranjo Experimental: Multímetro, bateria de 9V, tiras de cartolina pintadas com tinta de carbono condutiva nas dimensões; largura (W_1) 1cm e comprimento (L) 30cm, 25cm, 20cm, 15cm, 10cm e 5cm e largura (W_2) 2 cm e comprimento 30cm, 25cm, 20cm, 15cm, 10cm e 5cm.

- 1) Monte o circuito e faça a medição da intensidade da corrente.
- 2) Organize os dados coletados na tabela abaixo.

W (1cm)		W (2cm)	
L (cm)	I (μ A)	L (cm)	I (μ A)

II.2 Atividade 2: Organização e análise dos dados.

- 1) Com os dados anotados construa os gráficos que mostrem o comportamento do valor da corrente I em função do comprimento L da fita.

- 2) Descreva com poucas palavras a dependência da intensidade da corrente I com comprimento L da fita. Você conhece alguma formula matemática que descreva esse comportamento?

III.3 Atividade 3: Formalização Matemática

Como podemos deduzir uma equação descreveria o comportamento das grandezas em questão? Neste contexto de iremos buscar trabalhar com os dados através do método gráfico, ferramenta essencial na atividade científica. Nosso objetivo agora é determinar a relação algébrica mais simples possível entre as variáveis estudadas, o comprimento do condutor L, sua largura W e a corrente I, a partir somente da análise das observações experimentais. Nossa primeira tentativa, foi naturalmente, relacionar diretamente as grandezas consideradas, construindo um gráfico da corrente I em função do comprimento do condutor L com os dados das séries experimentais W_1 e W_2 .

A curva encontrada com os dados através do gráfico representa uma relação não linear entre a corrente e o comprimento do fio. Observamos ainda a partir do mesmo gráfico que quanto maior é o comprimento do fio L, menor é a corrente I. Este comportamento nos sugere então confrontar o produto destas duas grandezas ($I \cdot L$) em função de uma delas — o comprimento L do fio, por exemplo.

- 1) Complete a tabela 2 usando os dados da tabela 1

W (1cm)			W (2cm)		
L (cm)	I (μ A)	IxL	L (cm)	I (μ A)	IxL

- 2) Com os dados obtidos construa o gráfico (I.L) em função de L.
3) Descreva com poucas palavras o comportamento da grandeza (I.L) em relação a W_1 e W_2 .
