



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



**O comportamento da corrente elétrica em materiais condutores:
Uma aula para o Ensino Médio sobre a lei de Ohm**
(Guia de orientação para o professor)

Daniel Fernandes de Moraes
Vitorvani Soares

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Daniel Fernandes Moraes, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Dezembro de 2018

Ficha catalográfica

M827c Moraes, Daniel Fernandes de
O comportamento da corrente elétrica em materiais condutores: Uma aula para o Ensino Médio sobre a lei de Ohm (Guia de orientação para o professor) / Daniel Fernandes de Moraes
Vitorvani Soares. – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2018.
v, 42 f. : il. ; 30 cm.
Orientador: Vitorvani Soares.
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.
Referências Bibliográficas: f. 36.
1. Ensino de Física. 2. Corrente elétrica. 3. Resistor ôhmico. I. Soares, Vitorvani. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. O comportamento da corrente elétrica em materiais condutores: Uma aula para o Ensino Médio sobre a lei de Ohm (Guia de orientação para o professor).

Sumário

1	Introdução	6
2	Comportamento da corrente nos condutores	7
2.1	O material empregado nas atividades	7
2.1.1	O resistor alternativo	7
2.1.2	Calibração das fitas	9
2.2	Comportamento da corrente com o comprimento das fitas	10
2.3	Comportamento da corrente com a voltagem aplicada às fitas	16
2.3.1	Circuito com duas baterias em série	17
2.3.2	Circuito com três baterias em série	19
2.4	Análogo mecânico da lei de Ohm	24
3	Aplicação da proposta de aula	27
4	Considerações finais	35
	Referências	36
A	Guia de trabalho para as aulas	37
A.1	Objetivo	37
A.2	Desenvolvimento	37
A.3	Recursos didáticos	38
A.4	Duração	38
A.5	Avaliação	38
A.6	Um modelo para o guia de trabalho	38

Lista de ilustrações

Figura 1	Material utilizado nas atividades	7
Figura 2	Fitas de cartolina pintadas com lápis e grafite em pó	8
Figura 3	Algumas das fitas de cartolina, de diferentes larguras W	8
Figura 4	Dependência da resistência elétrica R com o comprimento L da fita	10
Figura 5	Esquema simplificado do circuito elétrico	10
Figura 6	Circuito elétrico da primeira atividade	11
Figura 7	Comportamento da corrente I vs. comprimento L das tiras	12
Figura 8	Comportamento do produto IL vs. comprimento L das tiras	13
Figura 9	Corrente I vs. comprimento L das fitas para $V = 9.0\text{ V}$	14
Figura 10	Produto IL vs. comprimento L para $V = 9.0\text{ V}$	15
Figura 11	Produto IL vs. largura W para $V = 9.0\text{ V}$	16
Figura 12	Corrente I vs. comprimento L das fitas para $V = 18.0\text{ V}$	17
Figura 13	Produto IL vs. largura W para $V = 18.0\text{ V}$	18
Figura 14	Produto IL vs. largura W para $V = 9.0\text{ V}$ e $V = 18.0\text{ V}$	19
Figura 15	Corrente I vs. comprimento L das fitas para $V = 27.0\text{ V}$	20
Figura 16	Produto IL vs. comprimento L das fitas para $V = 27.0\text{ V}$	21
Figura 17	Produto IL vs. largura W para $V = 9.0\text{ V}$, $V = 18.0\text{ V}$ e $V = 27.0\text{ V}$	21
Figura 18	Coeficiente IL/W vs. ddp V aplicada às fitas	22
Figura 19	Modelo geométrico da fita condutora	22
Figura 20	Apresentação da proposta de trabalho para os alunos	27
Figura 21	Apresentação das atividades para os alunos	28
Figura 22	Guia de trabalho empregado pelos alunos	29
Figura 23	Materiais usados para construção do experimento	29
Figura 24	Primeira etapa da atividade, a montagem do circuito em série	30
Figura 25	Tabela dos resultados obtidos pelos alunos	30
Figura 26	Corrente I vs. comprimento L da fita do grupo A_1	31
Figura 27	Corrente I vs. comprimento L da fita do grupo A_2	31
Figura 28	Respostas dos estudantes de um dos grupos	32
Figura 29	Respostas dos estudantes do outro grupo	32
Figura 30	Tabela dos resultados obtidos por um dos grupos	33
Figura 31	Realização junto com os alunos da etapa final	34
Figura 32	Outro momento da realização da etapa final	34

Lista de tabelas

Tabela 1	Calibração das fitas	9
Tabela 2	Corrente que circula na fita de largura $W = 1.0$ cm	11
Tabela 3	Produto entre a corrente e o comprimento da fita	12
Tabela 4	Corrente que circula no circuito para $V = 9.0$ V	14
Tabela 5	Corrente que circula no circuito para $V = 18.0$ V	17
Tabela 6	Corrente que circula no circuito para $V = 27.0$ V	20

1 Introdução

Apresentamos, neste guia para o professor, uma aula sobre a lei de Ohm, para alunos de uma turma de Ensino Médio. Sugerimos, nessa aula, que esta lei seja apresentada, inicialmente, como uma lei empírica que descreve o comportamento da corrente elétrica em materiais condutores. Descrevemos, nos próximos capítulos, três atividades didáticas para serem realizadas durante a aula, de maneira a representar 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, relacionamos a corrente que flui pelo condutor com o seu comprimento e a sua largura, para uma diferença de potencial fixa. Observamos, na segunda atividade, como a corrente se comporta com a variação da diferença de potencial sobre o material condutor. Na terceira atividade, estabelecemos a lei de Ohm a partir dos resultados obtidos previamente. Concluímos a aula apresentando o análogo mecânico deste comportamento elétrico. Este conjunto de atividades envolve a discussão dos conceitos iniciais de um circuito elétrico com o auxílio dos métodos de análise gráfica dos resultados experimentais obtidos pelos alunos.

Este material instrucional está associado à dissertação de mestrado de Daniel Fernandes Moraes ??, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

2 Comportamento da corrente nos condutores

Neste capítulo apresentamos 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. Medimos a corrente que passa pelo circuito enquanto variamos o comprimento do condutor. A partir dos dados obtidos estabelecemos uma lei que descreve a variação da intensidade da corrente elétrica em um circuito.

2.1 O material empregado nas atividades

O material empregado nas atividades estão ilustrados na Figura 1 e 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”.

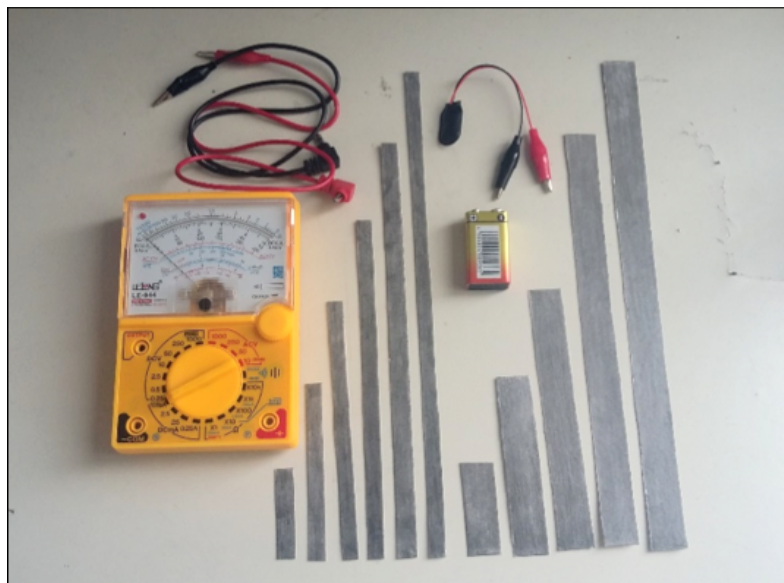


Figura 1. – Material utilizado na montagem das atividades discutidas neste trabalho.

2.1.1 O resistor alternativo

O resistor alternativo utilizado em nosso projeto segue uma proposta de trabalho de 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, construímos 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.



Figura 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.

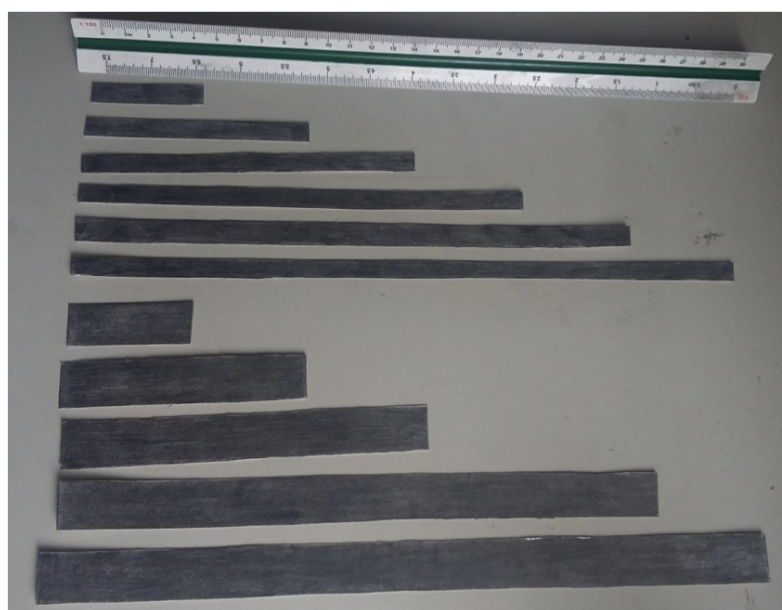


Figura 3. – Algumas das fitas de cartolina, de largura W de 1.0 cm, 2.0 cm e 3.0 cm e comprimento L de 5.0 cm, 10.0 cm, 15.0 cm, 20.0 cm, 25.0 cm e 30.0 cm.

2.1.2 Calibração das fitas

A resistência elétrica da fita depende não só de suas dimensões, largura W e comprimento L , mas também da espessura h da camada de grafite depositada sobre ela. Observe que a resistência elétrica da fita não depende da espessura da cartolina. A não uniformidade da camada de grafite compromete o resultado didático que pretendemos, pois descaracteriza o comportamento da corrente quando observada em condutores como fios de cobre, que apresentam grande uniformidade. Conseguir uma uniformidade da camada de grafite é muito difícil simplesmente pintando as fitas e realizando a atividade. Por causa deste comportamento, para garantir a constância da espessura das fitas, se torna necessário calibrá-las antes da realização das três atividades propostas.

Ao confeccionar a primeira fita para o trabalho didático, a de $1.0\text{ cm} \times 30.0\text{ cm}$, por exemplo, devemos realizar as medidas de corrente para ela e procurar manter constante o produto da corrente I pelo comprimento da fita L para as demais fitas de mesma largura. Igual procedimento deve ser observado ao 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 nossas 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 $V = 9.0\text{ V}$.

$W_1 = 1.0(1)\text{ cm}$			$W_2 = 2.0(1)\text{ cm}$			$W_3 = 3.0(1)\text{ cm}$		
L (cm)	I (mA)	R (k Ω)	L (cm)	I (mA)	R (k Ω)	L (cm)	I (mA)	R (k Ω)
5,0	0,361	25	5,0	0,754	12	5,0	1,083	8
10,0	0,183	49	10,0	0,360	25	10,0	0,545	17
15,0	0,121	74	15,0	0,246	37	15,0	0,363	25
20,0	0,090	100	20,0	0,178	51	20,0	0,270	33
25,0	0,072	125	25,0	0,145	62	25,0	0,216	42
30,0	0,061	148	30,0	0,122	74	30,0	0,181	50

A maneira com que obtivemos esses resultados foi por meio de tentativas, onde pequenas quantidades de grafite em pó eram 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.

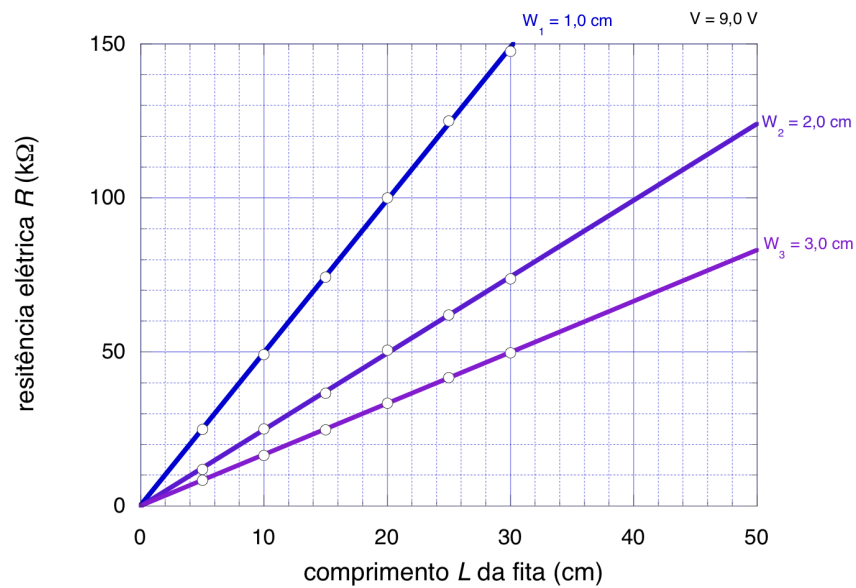


Figura 4. – Dependência da resistência elétrica R das nossas fitas com o seu comprimento L , para diferentes larguras W . O comportamento linear dos coeficientes angulares com a largura das fitas revela que as fitas usadas nas atividades com os alunos possuem a mesma espessura h .

2.2 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. Nessa atividade pretendemos explorar a análise do circuito esquemático indicado na Figura 5 como uma atividade prática.

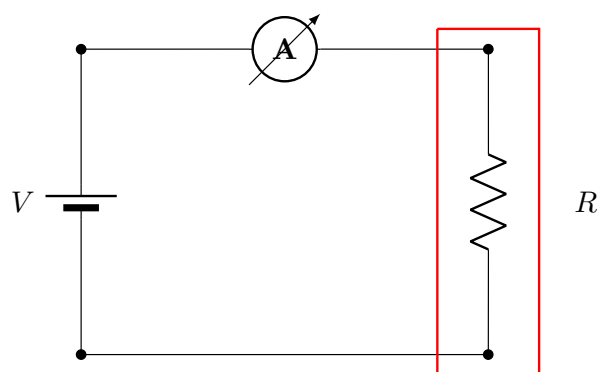


Figura 5. – Esquema simplificado do circuito elétrico empregado nas três atividades práticas. O retângulo em vermelho indica a fita de resistência elétrica R .

Uma vez montado o circuito, nosso objetivo com a realização desta atividade é estabelecer a relação algébrica mais simples possível entre as variáveis envolvidas no problema. Neste contexto, analisamos os dados obtidos de corrente elétrica para diferentes resistores empregando o método gráfico, ferramenta de grande valia na atividade científica.

Inicialmente, com o material preparado conforme as orientações discutidas na Sec. 2.1.2, foi montado o arranjo experimental, descrito na Figura 6, que apresenta uma ligação em série entre a fita, o amperímetro e a bateria.



Figura 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 do arranjo experimental, indicado na Figura 6, foram realizadas diferentes medidas da corrente que circula 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, construímos os gráficos da corrente I (mA) vs. 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.

L (cm)	I (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

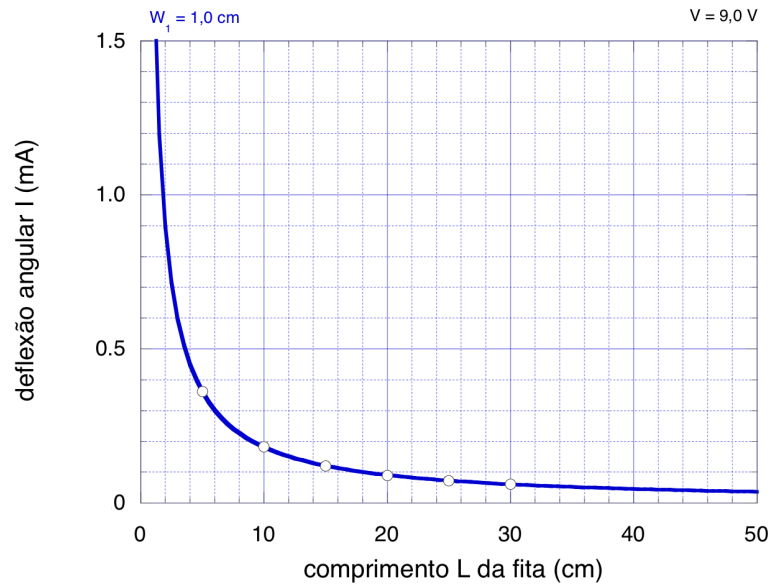


Figura 7. – Comportamento da corrente I vs. comprimento L das tiras, sob uma diferença de potencial $V = 9,0 \text{ V}$, para a tira de largura $W = 1,0 \text{ cm}$.

Observamos, 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, podemos 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 $W = 1,0 \text{ cm}$, sob uma voltagem $V = 9,0 \text{ V}$, 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

Ao analisarmos o gráfico da Figura 8, com uma régua, por exemplo, obtemos uma relação na forma de potência entre os parâmetros envolvidos:

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

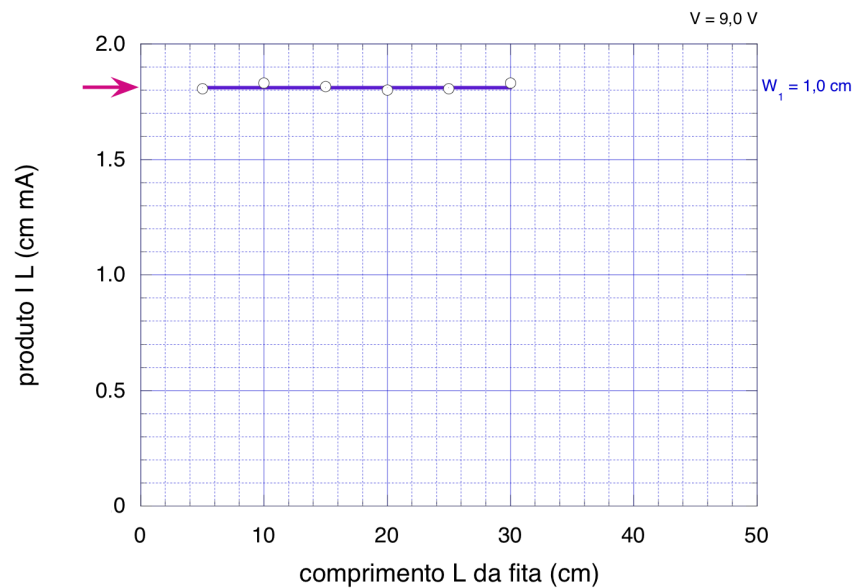


Figura 8. – Comportamento do produto da corrente I pelo comprimento L das fitas vs. comprimento L das tiras, sob uma diferença de potencial $V = 9.0\text{ V}$, para a tira de largura $W = 1.0\text{ cm}$. A seta indica o valor do produto IL .

onde

$$a \approx 1.81(2)\text{ cm mA} \quad (2.2)$$

corresponde ao coeficiente linear da reta do gráfico. Do mesmo gráfico, observamos que a incerteza desse valor é da ordem da metade da menor divisão da escala das ordenadas. Assim, para os valores das fitas consideradas, podemos afirmar que

$$I = \frac{a}{L} \quad (2.3)$$

e, portanto, a corrente I que percorre o circuito varia com o inverso do comprimento L das fitas empregadas no experimento.

Repetimos o procedimento 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.

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.

Observamos, partir do gráfico da Figura 9 que, para as três larguras consideradas, quanto maior é o comprimento L do fio, menor é o valor da corrente I que circula no circuito. Também observamos, da mesma figura, 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, procedemos como no caso da fita de largura W igual 1.0 cm. Construimos

Tabela 4. – Medidas da corrente que circula no circuito utilizando os condutores de diferentes dimensões, sob uma diferença de potencial $V = 9.0\text{ V}$.

$W_1 = 1.0\text{ cm}$			$W_2 = 2.0\text{ cm}$			$W_3 = 3.0\text{ cm}$		
L (cm)	I (mA)	LI (cm mA)	L (cm)	I (mA)	LI (cm mA)	L (cm)	I (mA)	LI (cm mA)
5,0	0,361	1,8	5,0	0,754	3,8	5,0	1,083	5,4
10,0	0,183	1,8	10,0	0,360	3,6	10,0	0,545	5,5
15,0	0,121	1,8	15,0	0,246	3,7	15,0	0,363	5,4
20,0	0,090	1,8	20,0	0,178	3,6	20,0	0,270	5,4
25,0	0,072	1,8	25,0	0,145	3,6	25,0	0,216	5,4
30,0	0,061	1,8	30,0	0,122	3,7	30,0	0,181	5,4

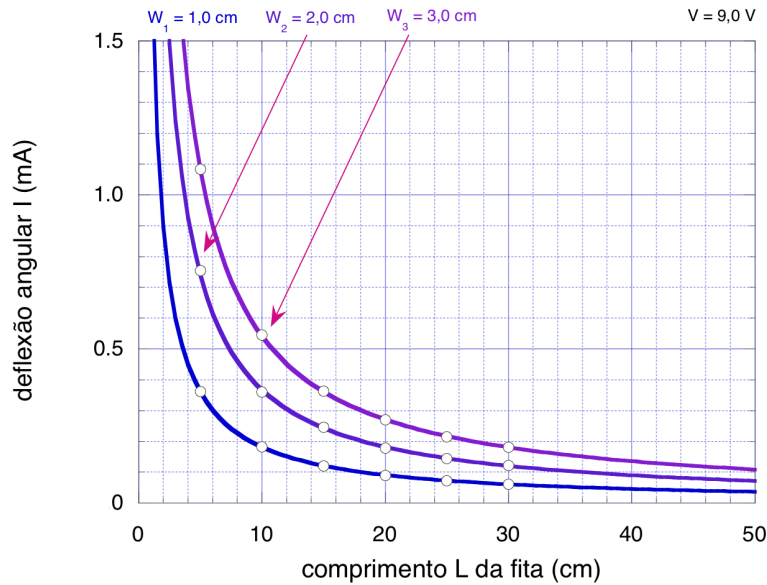


Figura 9. – Comportamento da corrente I vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1.0\text{ cm}$, 2.0 cm e 3.0 cm , sob uma diferença de potencial $V = 9.0\text{ V}$.

outro gráfico 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.

Ao analisarmos as curvas do gráfico da Figura 10, obtemos uma relação na forma de potência entre os parâmetros envolvidos. Para a tira de largura $W = 2.0\text{ cm}$ obtemos

$$IL = a, \tag{2.4}$$

onde

$$a \approx 3.61(2)\text{ cm mA} \tag{2.5}$$

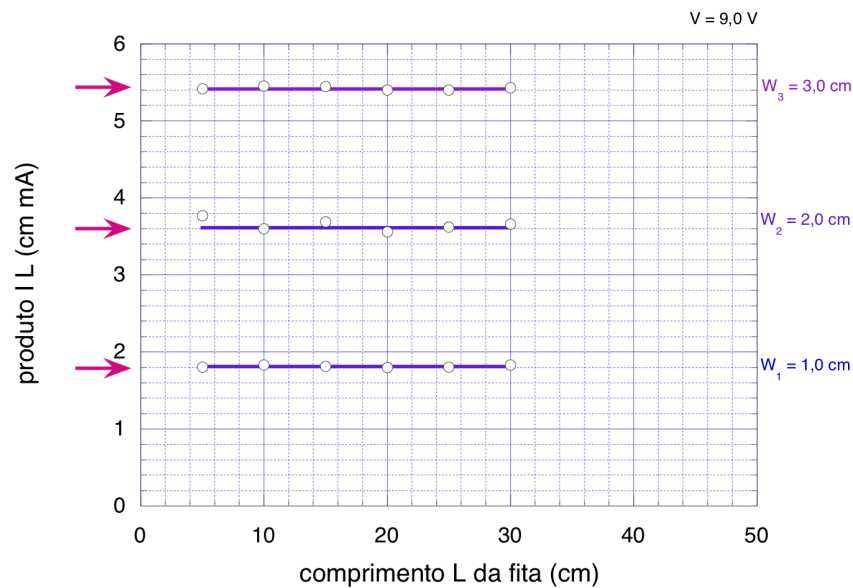


Figura 10. – Comportamento do produto da corrente I pelo comprimento L das fitas vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1.0$ cm, 2.0 cm e 3.0 cm, sob uma diferença de potencial $V = 9.0$ V. As setas indicam o valor do produto IL para as diferentes larguras W das fitas.

e, para a tira de largura $W = 3.0$ cm, obtemos

$$IL = a, \quad (2.6)$$

onde

$$a \approx 5.41(2) \text{ cm mA} \quad (2.7)$$

Destes resultados, podemos afirmar que

$$I = \frac{a}{L} \quad (2.8)$$

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.

Ao analisarmos a reta do gráfico da Figura 11, obtemos uma relação linear entre os parâmetros envolvidos:

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

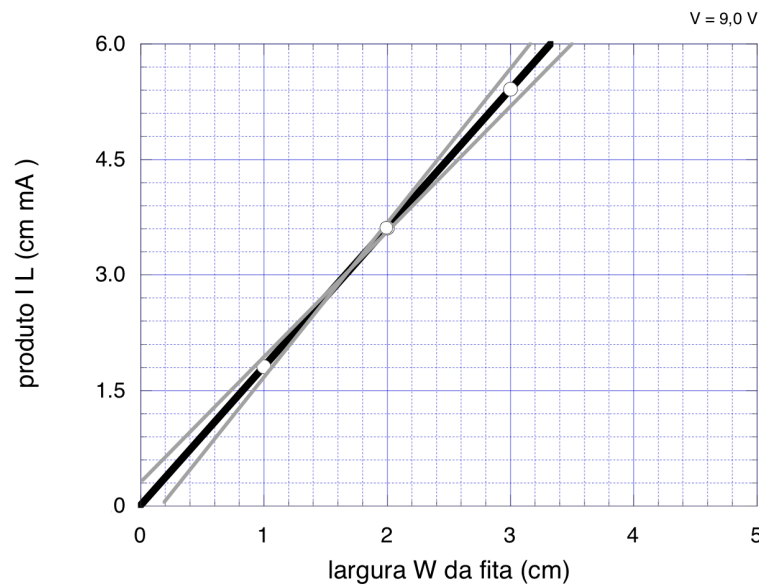


Figura 11. – Comportamento do coeficiente linear $a = IL$ com a variação da largura W das fitas, indicado pela reta preta, para fitas submetidas a uma diferença de potencial $V = 9.0\text{ V}$. Em cinza estão as retas auxiliares para a determinação da incerteza dos coeficientes.

onde

$$b = \frac{\Delta(IL)}{\Delta W} \approx 1.81(2)\text{ mA} \quad (2.10)$$

corresponde ao coeficiente angular da reta e a sua incerteza. Os coeficientes são dados por

$$b = \frac{b_1 + b_2}{2} \quad \text{e} \quad db = \frac{b_1 - b_2}{2}, \quad (2.11)$$

onde b_1 e b_2 são os coeficientes angulares das retas auxiliares da Figura 11. Desse modo, concluímos nesta atividade que

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

A interpretação desta equação é bastante simples: Ao manter a voltagem V e o comprimento L fixos, e *dobrarmos* a largura, também *dobramos* a corrente que circula pela fita; Ao manter fixo o valor da voltagem V e da largura W da fita, se *dobrarmos* o comprimento da fita, a corrente que circula na fita se *reduz à metade*.

2.3 Comportamento da corrente com a voltagem aplicada às fitas

Nesta atividade investigamos o comportamento da corrente I com o comprimento L das fitas e sua dependência com a diferença de potencial V aplicada às fitas. Refazemos o procedimento da atividade anterior, variando o número de baterias em série. Primeiramente, analisamos o comportamento do circuito com duas baterias em série e, em seguida, analisamos o comportamento do mesmo circuito mas com três baterias em série.

2.3.1 Circuito com duas baterias em série

Inicialmente substituímos a bateria de $V = 9.0\text{ V}$ por duas baterias idênticas e obtemos os resultados indicados na Tabela 5 e representados na 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 (cm)	I (mA)	LI (cm mA)	L (cm)	I (mA)	LI (cm mA)	L (cm)	I (mA)	LI (cm mA)
5,0	0,794	4,0	5,0	1,588	7,9	5,0	2,382	11,9
10,0	0,402	4,0	10,0	0,805	8,1	10,0	1,207	12,1
15,0	0,266	4,0	15,0	0,532	8,0	15,0	0,798	12,0
20,0	0,198	4,0	20,0	0,396	7,9	20,0	0,594	11,9
25,0	0,158	4,0	25,0	0,317	7,9	25,0	0,476	11,9
30,0	0,137	4,1	30,0	0,278	8,3	30,0	0,394	11,8

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.

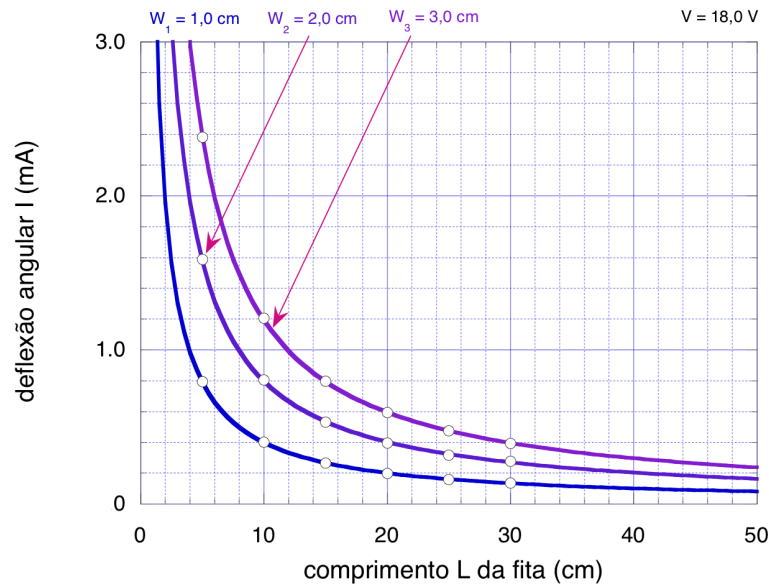


Figura 12. – Comportamento da corrente I vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1.0\text{ cm}$, 2.0 cm e 3.0 cm , sob uma diferença de potencial $V = 18.0\text{ V}$.

Observamos um comportamento similar àquele das curvas apresentadas no gráfico da Figura 7. Procedemos como na atividade anterior e analisamos 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.

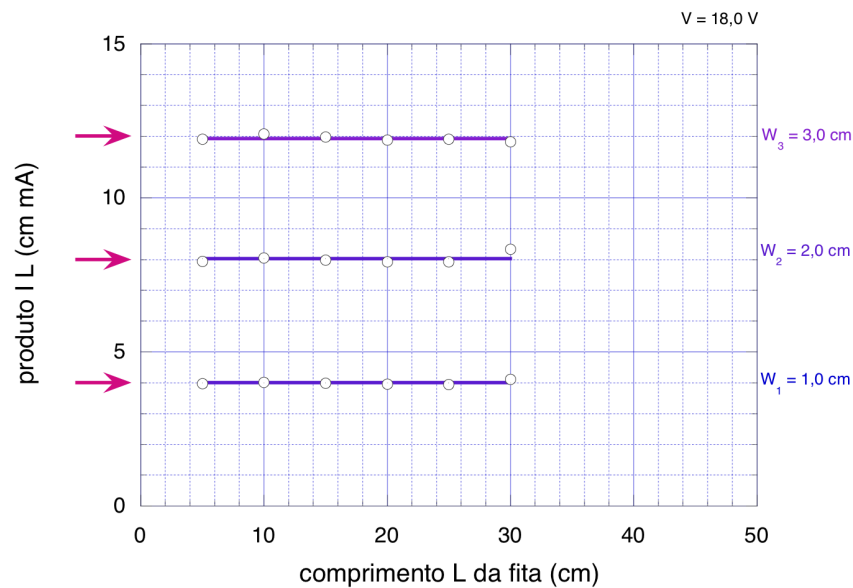


Figura 13. – Comportamento do produto da corrente I pelo comprimento L das fitas vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1,0\text{ cm}$, $2,0\text{ cm}$ e $3,0\text{ cm}$, sob uma diferença de potencial $V = 18,0\text{ V}$. As setas indicam o valor do produto IL para as diferentes larguras W das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

Ao analisarmos as curvas do gráfico da Figura 13, obtemos novamente uma relação na forma de potência entre os parâmetros envolvidos:

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

Portanto, a corrente I que percorre o circuito continua a variar com o inverso do comprimento L das fitas empregadas no experimento e tanto o valor da corrente I quanto a taxa de variação depende da largura W da fita.

Observamos 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, observamos da Figura 14 que, para a voltagem $V = 18,0\text{ V}$, os valores de IL agora são praticamente o dobro daqueles valores encontrados na atividade anterior, quando a fita estava submetida a uma voltagem $V = 9,0\text{ V}$. 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. Este comportamento sugere que o produto IL varia linearmente com a largura W da fita

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

e, portanto,

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

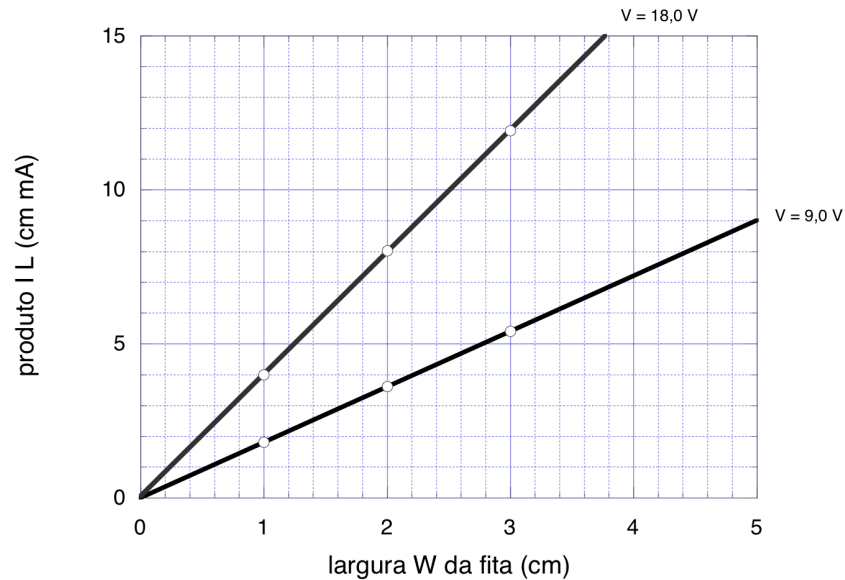


Figura 14. – Comportamento do coeficiente linear $a = IL$ com a variação da largura W das fitas, para fitas submetidas a uma diferença de potencial $V = 9.0 \text{ V}$ e $V = 18.0 \text{ V}$.

Desse modo, podemos concluir que

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

Entretanto, o parâmetro b (o coeficiente angular das retas da Figura 14) apresenta alguma dependência com a diferença de potencial aplicada à fita:

$$b \equiv b(V). \quad (2.17)$$

Para verificar esta hipótese realizamos mais uma vez o experimento, empregando agora três baterias em série, em lugar das duas empregadas no presente experimento.

2.3.2 Circuito com três baterias em série

Analisamos, nesta seção, o mesmo circuito anterior mas a fonte de tensão é constituída por três baterias. Desse modo, a fita fica agora submetida a uma voltagem $V = 27.0 \text{ V}$. 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. Investigamos o comportamento do produto IL com o comprimento L da fita, verificamos se existe uma relação entre este produto e a largura W da fita, e comparamos estes resultados com os resultados anteriores.

Observamos, 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 $V = 27.0\text{ V}$.

$W_1 = 1.0\text{ cm}$			$W_2 = 2.0\text{ cm}$			$W_3 = 3.0\text{ cm}$		
L (cm)	I (mA)	LI (cm mA)	L (cm)	I (mA)	LI (cm mA)	L (cm)	I (mA)	LI (cm mA)
5,0	1,137	5,7	5,0	2,274	11,4	5,0	3,411	17,2
10,0	0,576	5,8	10,0	1,152	11,5	10,0	1,729	17,2
15,0	0,381	5,7	15,0	0,762	11,4	15,0	1,143	17,2
20,0	0,283	5,7	20,0	0,567	11,3	20,0	0,850	17,2
25,0	0,227	5,7	25,0	0,454	11,4	25,0	0,682	17,2
30,0	0,198	5,9	30,0	0,410	12,3	30,0	0,590	17,2

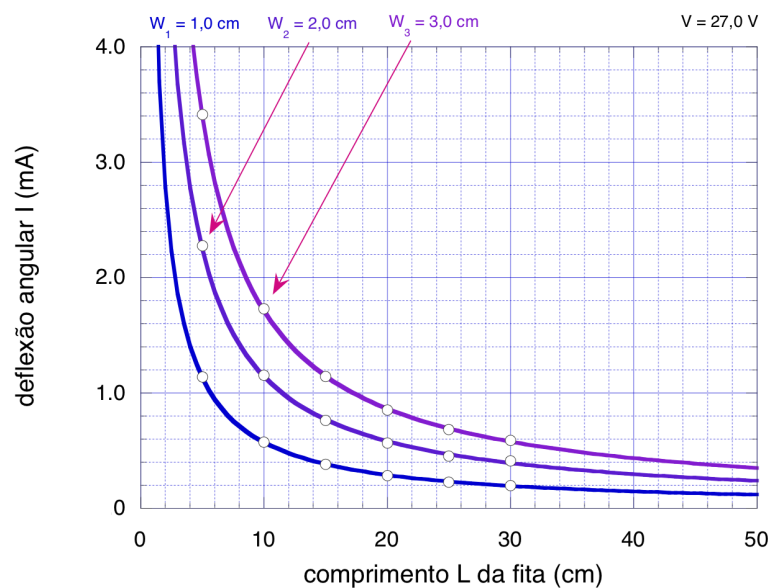


Figura 15. – Comportamento da corrente I vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1.0\text{ cm}$, 2.0 cm e 3.0 cm , sob uma diferença de potencial $V = 27.0\text{ V}$.

Ao analisarmos o produto IL com o auxílio da Figura 16 percebemos uma vez mais que o produto IL depende tanto da largura W da fita quanto da voltagem V a qual ela é submetida, como indicado na Figura 17.

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.

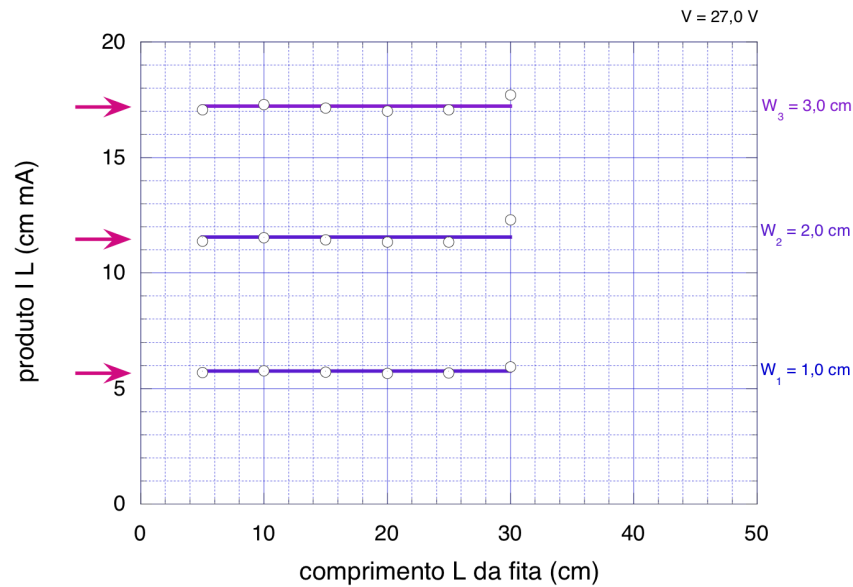


Figura 16. – Comportamento do produto da corrente I pelo comprimento L das fitas vs. comprimento L das fitas de largura $W = 1.0$ cm, 2.0 cm e 3.0 cm, sob uma diferença de potencial $V = 27.0$ V. As setas indicam o valor do produto IL para as diferentes larguras W das fitas.

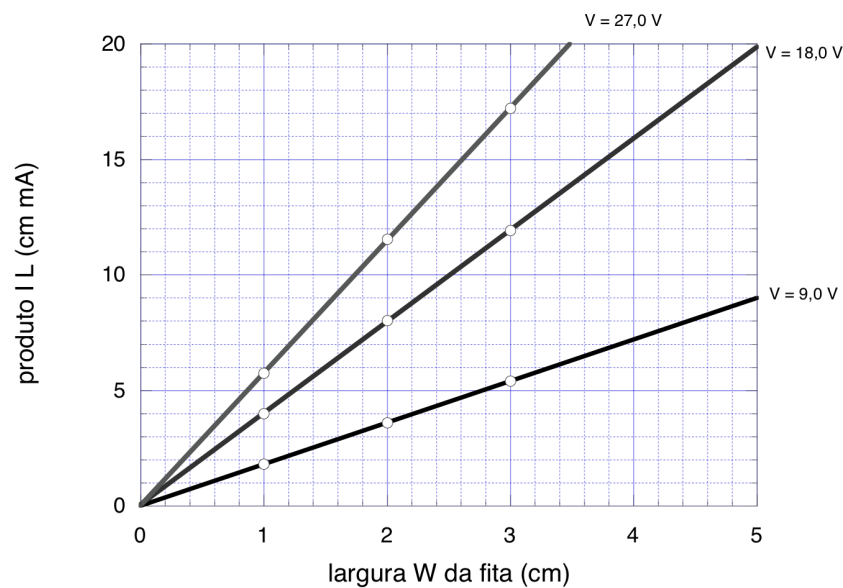


Figura 17. – Comportamento do coeficiente linear $a = IL$ com a variação da largura W das fitas, para fitas submetidas a uma diferença de potencial $V = 9.0$ V, $V = 18.0$ V e $V = 27.0$ V.

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:

$$b = sV, \tag{2.18}$$

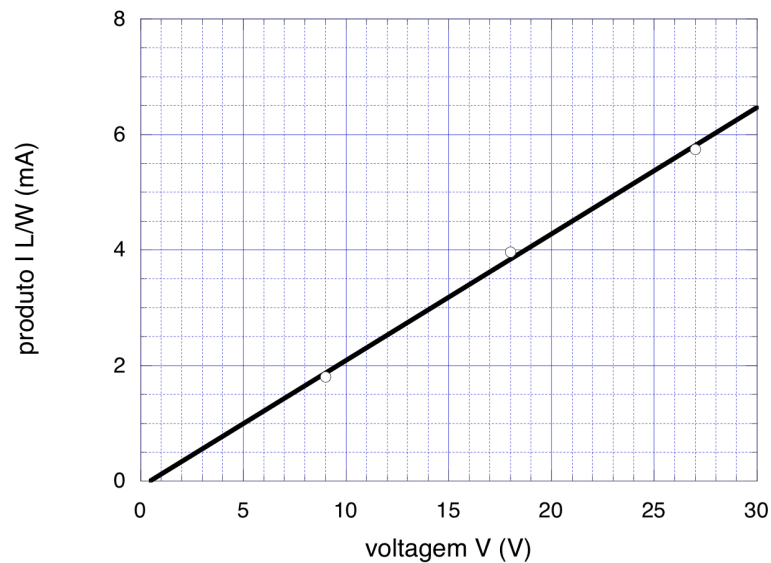


Figura 18. – Comportamento do coeficiente linear $b = IL/W$ com a variação da diferença de potencial V aplicada às fitas.

onde

$$s = \frac{\Delta b}{\Delta V} \approx 0.22(1) \text{ mA/V} \quad (2.19)$$

corresponde ao coeficiente angular da reta do gráfico da Figura 18.

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

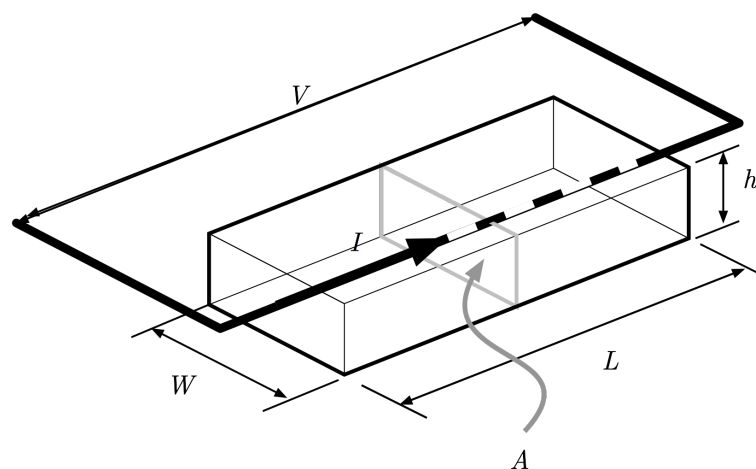


Figura 19. – Modelo geométrico da fita condutora de comprimento L , seção transversal A e condutividade σ .

Da Figura 19, podemos 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

s deve ser uma função linear de h de modo que

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

e, assim,

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

Observamos, ainda da Figura 19, que o produto hW corresponde a área A da seção transversal da fita condutora. Desse modo, concluímos nesta atividade que

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

ou, ainda, que

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

onde escrevemos

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

O parâmetro R pode ainda ser escrito na forma

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

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 nosso experimento 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 , dada pela expressão (2.23), 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 extrair a corrente gerada no circuito. este é o papel desempenhado pelas baterias.

Portanto, em nosso circuito temos uma densidade de corrente J que atravessa a seção transversal A dada por

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

ou, ainda, que

$$J = \frac{V}{AR} \quad (2.27)$$

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

Portanto, a densidade de corrente J é dada pelo produto

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

onde

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

corresponde ao módulo do campo elétrico E que acelera os portadores de carga elétrica da fita condutora. 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 $10^4 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1} = 10^6 \text{Sm}^{-1}$. 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 $10^3 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1} = 10^5 \text{Sm}^{-1}$, à temperatura ambiente.

2.4 Análogo mecânico da lei de Ohm

É bastante útil em física comparar dois sistemas diferentes com a mesma descrição matemática, com o propósito de desenvolver uma compreensão física melhor para ambos os sistemas considerados. Um exemplo importante do emprego de analogias ocorre entre o fluxo de corrente elétrica em condutores e o movimento de esferas ao longo de um plano inclinado, preenchido com obstáculos distribuídos regularmente ao longo do plano.

Consideramos que os elétrons (os portadores de carga do condutor) podem ser identificados com o conjunto de esferas que obedecem às leis clássicas do movimento. A interação entre elas é, portanto, completamente ignorada e as possíveis interações entre as esferas (os elétrons) e os obstáculos (os íons) é reduzida a simples colisões mecânicas perfeitamente elásticas.

A diferença de potencial elétrico está relacionada à inclinação do plano e os obstáculos são os íons do material condutor. A inclinação de plano gera, então, um campo análogo ao campo elétrico que atua sobre os elétrons, representados pelas esferas. Esta analogia é explorada de forma experimental e computacional nos artigos de Bagnato (1994) e Tavares, Fonte Boa e Oliveira (1991). O modelo matemático que apresentamos a seguir é discutido por Wolkenstein (1985), Murzin (1994) e Lykov (1991).

Ao aplicar um campo elétrico \mathbf{E} sobre o elétron, uma força $\mathbf{F} = -e\mathbf{E}$ atua sobre ele e impõe uma aceleração $\mathbf{a} = -e\mathbf{E}/m$, onde m e e são a massa e a carga eletrônica, respectivamente: massa $m \approx 9.1 \times 10^{-31}$ kg e carga elétrica $e \approx -1.6 \times 10^{-19}$ C. Representemos a velocidade do i -ésimo elétron imediatamente após uma colisão por \mathbf{v}_i . Em um instante arbitrário entre dois espalhamentos, a nova velocidade do i -ésimo elétron será

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{v}_i - \frac{e\mathbf{E}}{m}t_i \quad (2.31)$$

onde t_i é o intervalo de tempo transcorrido desde a última colisão. A velocidade média dos N elétrons é portanto igual a

$$\begin{aligned}\mathbf{u} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\mathbf{v}_i - \frac{e\mathbf{E}}{m} t_i \right) \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{v}_i - \frac{e\mathbf{E}}{m} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \right).\end{aligned}\tag{2.32}$$

A primeira parcela desta soma corresponde à média das velocidades eletrônicas imediatamente após a colisão. Como estas velocidades podem estar orientadas em qualquer direção, seu valor médio é nulo. Deste modo, a velocidade média \mathbf{u} dos N elétrons é

$$\begin{aligned}\mathbf{u} &= -\frac{e\mathbf{E}}{m} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \right) \\ &= -\frac{e\mathbf{E}}{m} \tau\end{aligned}\tag{2.33}$$

onde τ corresponde ao intervalo de tempo médio entre duas colisões. Assim, sob a ação de um campo elétrico \mathbf{E} , todos os elétrons adquirem uma velocidade adicional, a “velocidade de arraste” \mathbf{u} , cujo módulo é igual a $eE\tau/m$ e é dirigida no sentido oposto ao do campo elétrico \mathbf{E} aplicado ao condutor.

Deste modo, quando aplicamos o campo elétrico ao gás de elétrons, um movimento orientado é adicionado ao movimento caótico original, resultando em uma direção dominante para o fluxo de elétrons e, por conseqüência, estabelecendo a corrente elétrica.

O modelo de Drude. — Se a concentração de elétrons no condutor é n e a velocidade de deriva é u , a densidade de corrente $J = I/A$ pode ser reescrita como

$$\begin{aligned}J &= neu \\ J &= \frac{ne^2\tau}{m} E \\ &= \sigma E.\end{aligned}\tag{2.34}$$

Portanto, a condutividade do material σ , dada por

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}.\tag{2.35}$$

Esta é a conhecida fórmula de Drude para a condutividade dos metais. Quanto maior for a concentração n ou o intervalo de tempo médio entre duas colisões, maior será a condutividade do material. Observamos ainda que a lei de Ohm é válida somente se nenhuma das grandezas físicas consideradas nesta fórmula depende do campo elétrico E .

Observamos, ainda, que o campo elétrico E que acelera os elétrons entre duas colisões e mantém a corrente, realiza um trabalho mecânico sobre as partículas carregadas ao deslocá-las ao longo do condutor. Este trabalho realizado, por unidade de tempo, por unidade de volume, corresponde a

$$n(eE) \frac{\Delta L}{\Delta t} = neuE = JE. \quad (2.36)$$

Essa energia corresponde à energia recebida pelas partículas, entre duas colisões com os obstáculos, por unidade de tempo, por unidade de volume. A cada colisão, ela é transferida para os obstáculos e se transforma em calor. Desse modo, podemos interpretar o produto JE como sendo a quantidade de calor liberada pelo condutor, por unidade de tempo, por unidade de volume:

$$\begin{aligned} JE &= \sigma E^2 \\ &= \frac{J^2}{\sigma} \end{aligned} \quad (2.37)$$

Portanto, a quantidade de calor por unidade de tempo (P) liberada pelo condutor corresponde a

$$\begin{aligned} P &= AL(JE) \\ &= RI^2 \\ &= \frac{V^2}{R}. \end{aligned} \quad (2.38)$$

Essa é a lei de Joule-Lenz: a potência do calor gerado pelo condutor elétrico é proporcional ao produto da sua resistência elétrica R pelo quadrado da corrente I que circula por ele.

3 Aplicação da proposta de aula

Aplicamos a proposta deste trabalho no Colégio Estadual Matemático Joaquim Gomes de Souza Intercultural Brasil-China, com alunos do 3º ano do Ensino Médio. O planejamento foi feito para dois tempos de aula de 50 minutos cada. Esses alunos já haviam estudado, de maneira formal, em aulas anteriores, os princípios da eletrodinâmica. Eles também já haviam recebido aulas expositivas sobre circuitos elétricos, seus componentes e a Lei de Ohm.

Os alunos foram divididos em dois grupos, Grupo A_1 e Grupo A_2 , assim denominados devido à numeração que atribuímos às fitas de cartolina. Após a formação dos grupos, foi feita uma introdução, apresentando um breve resumo do cenário econômico e científico entre os séculos XVII e XIX. Isto ajudou a compreender quais 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.



Figura 20. – Apresentação da proposta de trabalho para os alunos da turma do 3º ano do Ensino Médio no Colégio Estadual Matemático Joaquim Gomes de Souza Intercultural Brasil-China.

O principal objetivo da atividade, e que é posto como desafio aos alunos, é obter a uma lei que descreva o comportamento da corrente que atravessa o circuito em função dos parâmetros geométricos das fitas. A atividade é dividida em três tarefas, descritas a seguir. A primeira tarefa é subdividida em três etapas: à 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; A segunda tarefa consiste em duas etapas: a partir dos dados obtidos construir os gráficos da corrente



Figura 21. – Apresentação das atividades para os alunos do 3º ano do Ensino Médio no Colégio Estadual Matemático Joaquim Gomes de Souza Intercultural Brasil-China.

(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. A terceira tarefa é dedicada à formalização matemática entre os parâmetros físicos envolvidos no problema.

Em seguida, os dois grupos recebem, então, o roteiro guia para o desenvolvimento da atividade e as tabelas onde registraram os dados coletados. Os alunos recebem os componentes para a montagem do circuito: a bateria de 9.0 V, o amperímetro analógico, e as fitas de diferentes dimensões. O guia de trabalho está ilustrado na Figura 22 e o material disponibilizado para os alunos é mostrado na Figura 23.

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, os alunos, após identificarem cada um dos componentes, começam 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

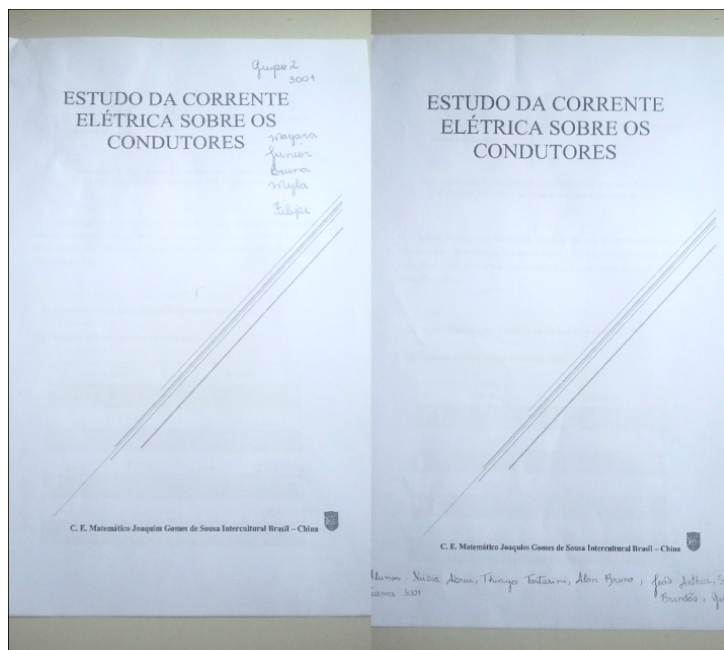


Figura 22. – Guia de trabalho empregado pelos alunos na realização das atividades em aula no Colégio Estadual Matemático Joaquim Gomes de Souza Intercultural Brasil-China.

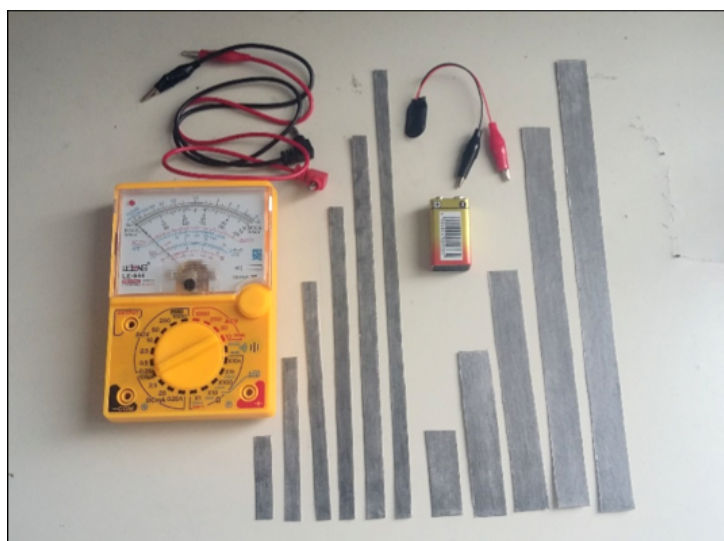


Figura 23. – Materiais usados para construção do experimento: amperímetro, bateria de 9.0 V e conjunto de fitas de diferentes dimensões.

a 5.0 cm, 10.0 cm, 15.0 cm, 20.0 cm, 25.0 cm e 30.0 cm.

Em geral, os dois grupos rapidamente percebem o padrão das fitas e as classificam por suas larguras. Porém ao começarem a montagem, apesar de já terem estudado de maneira formal e de fazer o desenho esquemático do circuito até com alguma facilidade, os alunos apresentam grandes dificuldades na montagem do circuito. Essa etapa se revela uma tarefa bem complexa e que consome uma boa parcela de tempo da aula (cerca de 15 min).

Na terceira parte da primeira tarefa, os alunos medem a corrente para diferentes fitas



Figura 24. – Primeira etapa da atividade, a montagem do circuito em série da bateria, do amperímetro e da fita.

e organizam os dados na tabela. A Figura 25 apresenta duas das tabelas confeccionadas pelos alunos.

W (1cm)		W (2cm)	
L (cm)	I (μ A)	L (cm)	I (μ A)
5cm	107.3	5cm	192
10cm	39.8	10cm	109
15cm	45.5	15cm	27.7
20cm	14.6	20cm	22.8
25cm	13.5	25cm	23.2
30cm	12.8	30cm	23.5

I		II	
W (1cm)		W (2cm)	
L (cm)	I (μ A)	L (cm)	I (μ A)
4,9	271	5	1060
9,9	165	10	354
14,8	106	15	223
20	80	20	162
25	66	25	144
29,9	55	30	114

Figura 25. – Tabela dos resultados obtidos pelos dois grupos A_1 e A_2 .

A primeira parte da segunda tarefa é a construção do gráfico a partir dos dados obtidos. Em nossa prática em aula, nenhum dos dois grupos apresenta muita familiaridade com alguns detalhes de construção de gráficos como, por exemplo, uso de área adequada da

folha de papel milimetrado. Os grupos, em geral, escolhem maneiras distintas de construir os gráficos. O grupos optam ou por representar os resultados obtidos para as larguras W_1 (1.0 cm) e W_2 (2.0 cm) em eixos diferentes ou em duas séries em um mesmo eixo, como ilustrado ns Figuras 26 e 27.

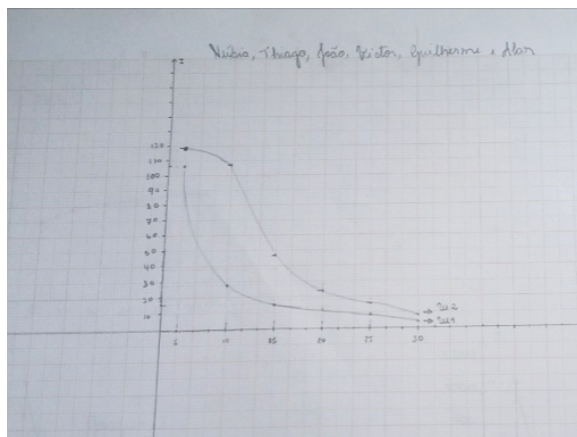


Figura 26. – Gráfico do comportamento da corrente I vs. comprimento L da fita de larguras W_1 e W_2 , realizado pelo grupo A_1

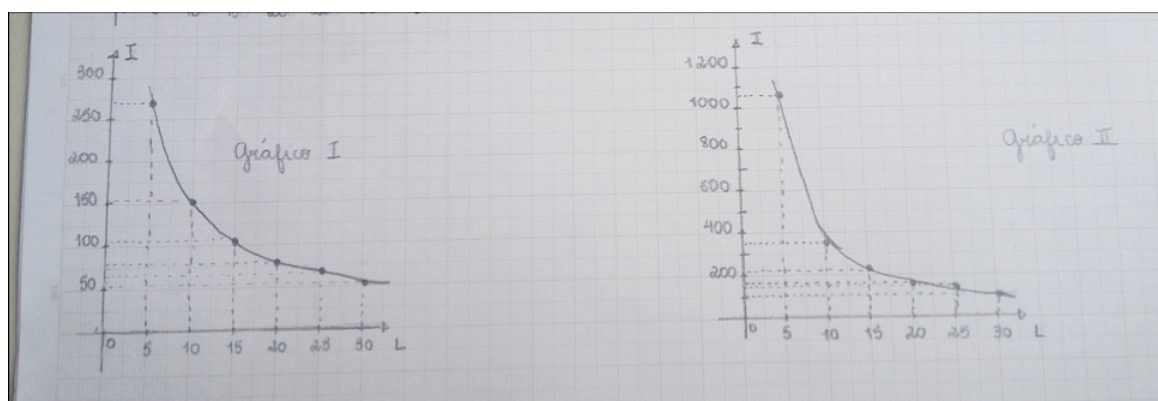


Figura 27. – Gráficos do comportamento da corrente I vs. comprimento L da fita de larguras W_1 e W_2 , realizados pelo grupo A_2

Após a construção dos gráficos, na segunda parte da tarefa, pedimos aos alunos que descrevam em poucas palavras a dependência da intensidade da corrente (I) em função do comprimento (L). Embora fique nítido que há um entendimento do comportamento da corrente no circuito, ambos os grupos apresentam dificuldades em formular a explicação de maneira clara e concisa. A intervenção do professor se faz necessária para lembrar aos estudantes algumas das principais características de algumas funções matemáticas que lhes são familiares. Indicamos algumas respostas produzidas pelos estudantes de um dos grupos, na Figura 28.

O outro grupo, neste exemplo, não apresenta uma resposta à pergunta sobre qual expressão matemática que permite descrever o comportamento da corrente. Porém, este

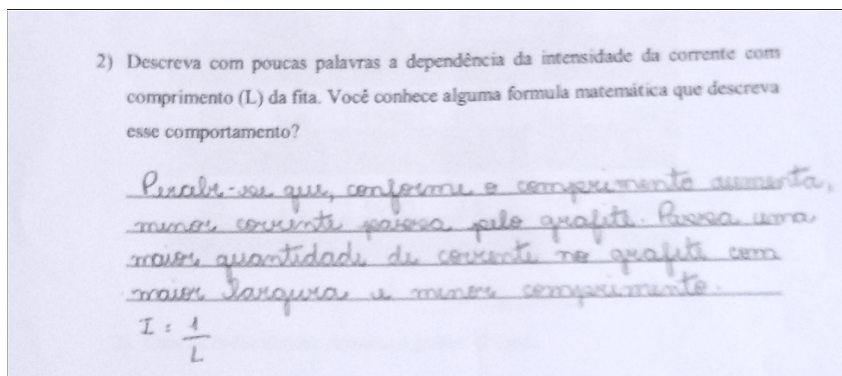


Figura 28. – Respostas dos estudantes de um dos grupos para descrever algumas das principais características do comportamento do circuito analisado.

grupo observa que a largura da fita também é um parâmetro relevante para a intensidade da corrente que atravessa o circuito. A resposta desse grupo está indicada na Figura 29.

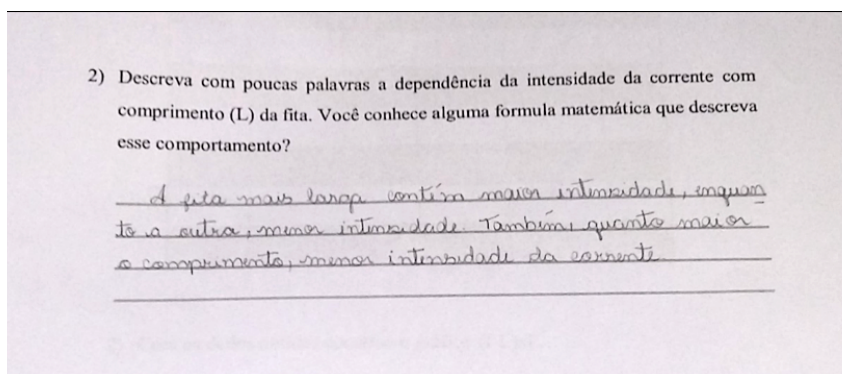


Figura 29. – Respostas dos estudantes do outro grupo para descrever algumas das principais características do comportamento do circuito analisado.

Iniciamos, então, a terceira e última tarefa, a formalização matemática do problema. Em geral, esta tarefa não é muito familiar para os alunos de Ensino Médio e, por essa razão, preparamos um pequeno texto auxiliar, descrito a seguir:

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.

A partir dessa orientação, os alunos determinam o produto (IL) e registram na tabela de resultados, como indicado na Figura 30.

Complete a tabela 2 usando os dados da tabela 1

W (1cm) III			W (2cm) IV		
L (cm)	I (μ A)	IxL	L (cm)	I (μ A)	IxL
5	271	1355	5	1060	5300
10	155	1550	10	354	3540
15	106	1590	15	223	3345
20	80	1600	20	162	3240
25	66	1650	25	144	3600
30	55	1650	30	144	3420

A metade

Figura 30. – Tabela dos resultados obtidos por um dos grupos para o produto da corrente I que percorre a fita pelo seu comprimento L , para as larguras W_1 e W_2 .

Apesar de, em um primeiro momento, não ser claro para os alunos o motivo em utilizar essa técnica, não demora muito para 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.

É interessante observar que, ao se depararem com um valor discrepante dos demais, na mesma tabela, surge a dúvida sobre o motivo de tal medida ser tão diferente das demais e como o experimentador deve se comportar. O professor então lembra a eles a expressão “ponto fora da curva” e, ao ouvir a frase a resposta do alunos é quase imediata, “então devemos ‘jogar fora’”. 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.

O grupo A_2 , citado no presente trabalho, foi um pouco mais lento que o outro grupo e não chegou a essa parte da atividade devido a proximidade do final da aula. O restante da tarefa foi feita com auxílio do professor. Tanto os passos a serem seguidos quanto a manipulação algébrica para chegar ao resultado final, foram desenvolvidas no quadro. As Figuras 31 e 32 ilustram uma das exposições realizadas.

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)



Figura 31. – Realização junto com os alunos da etapa final, a manipulação matemática dos resultados para obter a lei de Ohm.

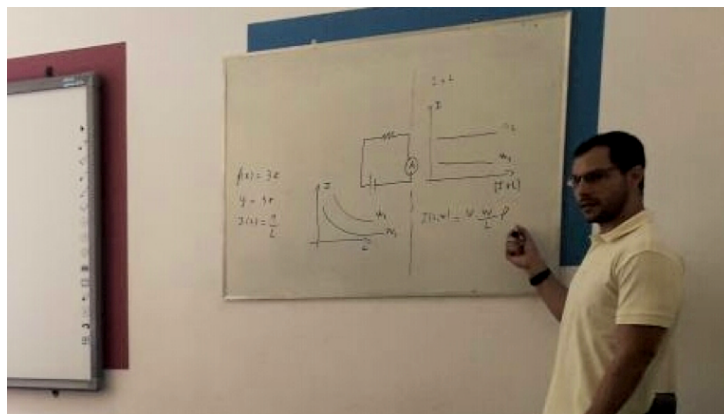


Figura 32. – Outro momento da realização da etapa final, a manipulação matemática dos resultados para obter a lei de Ohm, a partir da análise dos gráficos de I vs. W e de IL vs. L , para as diferentes larguras W .

e pode ser representada na forma

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

onde os parâmetros V e s são constantes que dependem da bateria, da espessura e do material do qual as fitas são constituídas. Nesse momento da aula, alguns dos alunos recordam que ... “tá parecido com $I = V/R!$ ”. Ao realizar a substituição do produto sW/L por R , a expressão é identificada como a Lei de Ohm.

Ainda que, inicialmente, a atividade tenha sido preparada para duas aulas de 50 minutos, é mais indicado que ela seja realizada em quatro aulas de 50 minutos, divididas em dias diferentes. Isso oferece aos alunos o intervalo de tempo necessário para que formulem as suas hipóteses e façam uma melhor reflexão sobre os métodos de análise que são empregados durante a atividade.

4 Considerações finais

Com a realização, em sala de aula, dos procedimentos apresentados neste guia de orientação para o professor, esperamos que a interação dos alunos com as atividades permita que eles vejam no processo de aprendizagem algo prazeroso, intrigante e desafiador. Procuramos empregar uma abordagem simples, de maneira que o aluno possa compreender os conceitos físicos relativos ao comportamento da corrente em um condutor durante a realização da aula, familiarizando-os com o vocabulário e a linguagem correta para o estudo destes conceitos, e sempre procurando captar a atenção do aluno durante o seu estudo em sala. Também procuramos propor, neste trabalho, um conjunto de atividades que permita aos alunos desenvolver algumas das suas habilidades e competências em diferentes domínios da sua formação tais como, por exemplo:

- 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 aparatos experimentais;
- Construir gráficos e interpretá-los;
- Desenvolver, através da análise gráfica, as relações existentes entre as grandezas físicas envolvidas no problema considerado.

Destacamos, ainda, a possibilidade da interdisciplinaridade entre professores de Física e de outras disciplinas, de maneira a realizar uma prática docente interligada e contextualizada. Por exemplo, em conjunto com as atividades propostas neste guia, o professor de Matemática trabalharia os conceitos de função, construção e análise de gráficos, enquanto o professor de História, por sua vez, poderia discutir as implicações históricas envolvendo a história do eletromagnetismo e todas as suas implicações sócio-culturais em nossa sociedade.

Referências

BAGNATO, V. S. O análogo mecânico da lei de Ohm. *Rev. Bras. Ens. Física*, v. 16, n. 1-4, p. 129–131, 1994.

LYKOV, S. N. Patterns of predictability: Symmetry, anisotropy, and Ohm's law. *Quantum*, Nov/Dec, p. 37–41, 1991.

MURZIN, S. Beyond the reach of Ohm's law. *Quantum*, Nov/Dec, p. 24–29, 1994.

TAVARES, M. d. C.; FONTE BOA, M. C.; OLIVEIRA, P. M. C. de. A mechanical analogy for Ohm's law. *Phys. Edu.*, v. 26, n. 3, p. 195, 1991.

WOLKENSTEIN, T. *Electrons and Crystals*. Moscou: Mir Publishers, 1985.

A Guia de trabalho para as aulas

Apresentamos nesse apêndice o guia de trabalho para as aulas ministradas no C.E. Matemático Joaquim Gomes de Sousa Intercultural Brasil–China. Esse modelo de roteiro da aula dada no Colégio auxiliou na dinâmica do conteúdo trabalhado durante a realização das aulas.

A.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 aparatos experimentais;
- Construir gráficos e interpretá-los;
- Desenvolver, através da análise gráfica, as relações existentes entre as grandezas físicas envolvidas no problema considerado;

A.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.

A.3 Recursos didáticos

As três atividades didáticas apresentadas e discutidas nesta dissertação.

A.4 Duração

1h e 30 minutos.

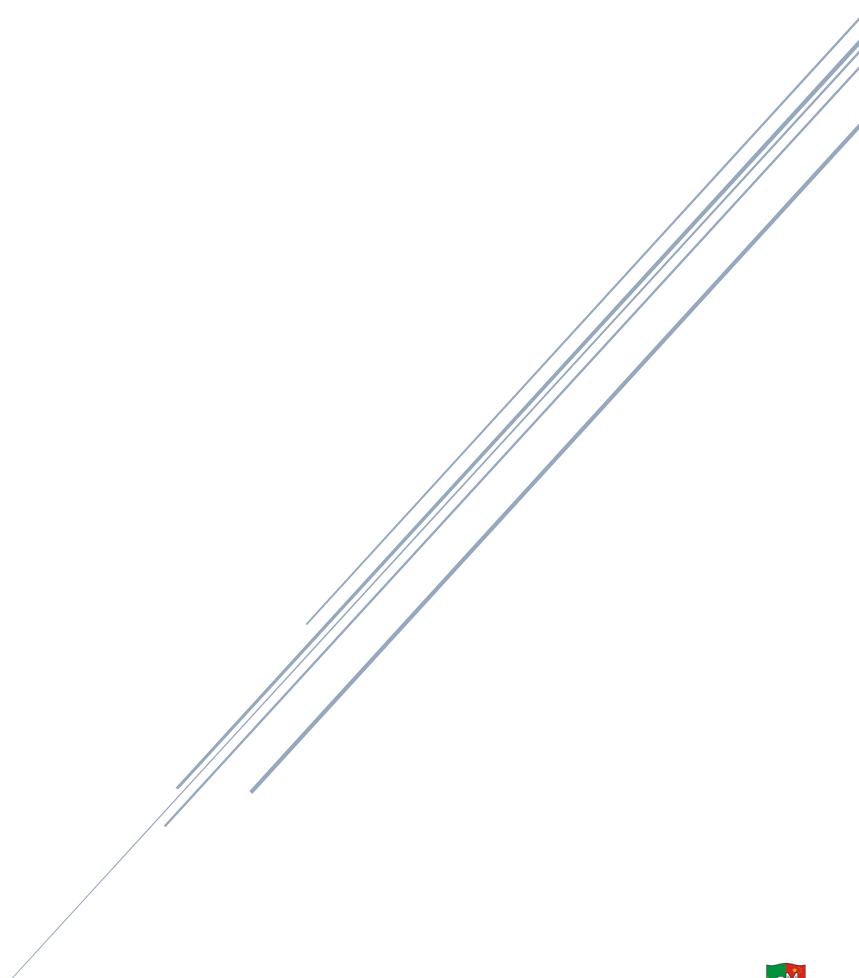
A.5 Avaliação

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..

A.6 Um modelo para o guia de trabalho

Nas páginas seguintes apresentamos um modelo do guia de trabalho que usamos no C.E. Matemático Joaquim Gomes de Sousa Intercultural Brasil–China.

ESTUDO DA CORRENTE ELÉTRICA SOBRE OS CONDUTORES



1.2. 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 fórmula matemática que descreva esse comportamento?

1.3. Atividade 3: Formalização Matemática.

Como podemos deduzir uma equação que descreveria o comportamento das grandezas em questão? Neste contexto 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 ($I \times L$) 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 (μA)	IxL	L (cm)	I (μA)	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 W1 e W2

1.4. Conclusão:
