



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

MANUAL DE FÍSICA III

MANAUS - AM

2013

MANUAL DE LABORATÓRIO

Autores:

Profa. Marta Gusmão

Profa. Simara Seixas

Prof. Haroldo Guerreiro

Prof. Marcelo Brito

Prof. Marcílio de Freitas

Prof. Waltair Machado

Prof. Walter Castro Jr.

Profa. Gláucia de Oliveira

Prof. Heyrton Bessa

3^a EDIÇÃO
2013

Sumário

1 UNIDADE I	1
1.1 TÍTULO: RESISTORES LINEARES E NÃO LINEARES	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.3 TEORIA	1
1.4 PARTE EXPERIMENTAL	2
1.5 EXPERIMENTO	2
2 UNIDADE II	4
2.1 TÍTULO: LEI DE OHM E RESISTIVIDADE ELÉTRICA	4
2.2 OBJETIVO	4
2.3 TEORIA	4
2.4 PARTE EXPERIMENTAL	5
2.5 EXPERIMENTO	5
3 UNIDADE III	9
3.1 TÍTULO: LEIS DE KIRCHHOFF	9
3.2 OBJETIVOS	9

3.3	TEORIA	9
3.4	PARTE EXPERIMENTAL	11
3.5	EXPERIMENTO	11
4	UNIDADE IV	13
4.1	TÍTULO: CALIBRAÇÃO DE UM TERMOPAR	13
4.2	OBJETIVO	13
4.3	TEORIA	13
4.4	PARTE EXPERIMENTAL	16
4.5	EXPERIMENTO	16
5	UNIDADE V	18
5.1	TÍTULO: DEMONSTRAÇÃO DA FORÇA DE LORENTZ	18
5.2	OBJETIVO	18
5.3	TEORIA	18
5.4	PARTE EXPERIMENTAL	21
5.5	EXPERIMENTO	21

UNIDADE	1
---------	----------

UNIDADE I

1.1 TÍTULO: RESISTORES LINEARES E NÃO LINEARES

1.2 OBJETIVOS

Traçar e analisar a curva de tensão como função da corrente, $V = f(i)$, de elementos resistivos.

1.3 TEORIA

Os elementos resistivos lineares ou ôhmicos são aqueles para os quais é válida a Lei de Ohm, ou seja, a função potencial elétrico (também denominada de tensão) $V = f(i)$ é linear, o que não se verifica com elementos resistivos não lineares, que possuem resistência aparente ($R_a = V/i$) e uma resistência diferencial ($R_d = dV/di$) que variam com a corrente. Esse comportamento não linear pode depender de fatores diversos, tais como: temperatura (filamento de lâmpadas), iluminação (LDR), tensão (VDR), etc.

1.4 PARTE EXPERIMENTAL

MATERIAL NECESSÁRIO

- 1 resistor
- 1 lâmpada incandescente
- 1 diodo
- 1 fonte de CC variável
- 1 amperímetro
- 1 protoboard



Figura 1.1: Montagem do experimento.

1.5 EXPERIMENTO

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Monte um circuito em série colocando inicialmente o resistor, Fig.1.1. Use as saídas + e – da fonte. Importante: o ponteiro do instrumento não pode ultrapassar a escala; ligue os instrumentos inicialmente nas escalas mais baixas e só depois procure a escala apropriada.
2. Iniciando com o valor de $1,0V$, varie a tensão de entrada até $6,0V$, anotando os valores correspondentes de corrente i . Utilize a escala de $200mA$.

3. Desligue a fonte e troque o resistor pela lâmpada. Iniciando com o valor de $0,5V$, varie a tensão até $3,0V$, anotando os valores correspondentes de corrente i . Utilize a escala de $200mA$.
4. Desligue a fonte e troque a lâmpada pelo diodo. Iniciando com a tensão de entrada de $0,5V$, varie a tensão de $0,1V$ até $1,0V$, anotando os valores correspondentes de corrente i . Inverta a posição do diodo em caso de dificuldades na leitura. Utilize a escala de $10A$.

RESISTOR	
$V(V)$	$i(A)$
1,0	
2,0	
3,0	
4,0	
5,0	
6,0	

LÂMPADA	
$V(V)$	$i(A)$
0,5	
1,0	
1,5	
2,0	
2,5	
3,0	

DIODO	
$V(V)$	$i(A)$
0,5	
0,6	
0,7	
0,8	
0,9	
1,0	

TRATAMENTO DE DADOS

1. Construa tabelas com os valores de tensão e corrente para cada um dos elementos resistivos.
2. Em papel milimetrado, faça um gráfico de $V = f(i)$ para cada um dos elementos resistivos.
3. Determine a resistência aparente ($R_a = V/i$) e uma resistência diferencial ($R_d = dV/di$) para três pontos equidistantes da curva em cada gráfico.

QUESTÃO

Faça um breve comentário sobre o comportamento dos três elementos resistivos estudados, com base nos resultados obtidos.

UNIDADE 2

UNIDADE II

2.1 TÍTULO: LEI DE OHM E RESISTIVIDADE ELÉTRICA

2.2 OBJETIVO

Medir, através da relação V/i , a variação da resistência de um condutor linear em função do comprimento e da área de sua seção transversal.

2.3 TEORIA

Na Unidade I, ficou evidenciado que alguns materiais apresentam uma resistência linear à passagem da corrente elétrica. São os resistores ôhmicos. Nesta Unidade, serão analisadas as influências do comprimento (L) e da área (S) do condutor sobre a resistência.

2.4 PARTE EXPERIMENTAL

MATERIAL NECESSÁRIO

- 1 fio de constantan ($0,2\text{mm}$ de diâmetro)
- 2 fios de conexão
- 1 régua
- 2 garras de montagem
- 1 fonte de CC variável
- 1 amperímetro
- 2 isoladores

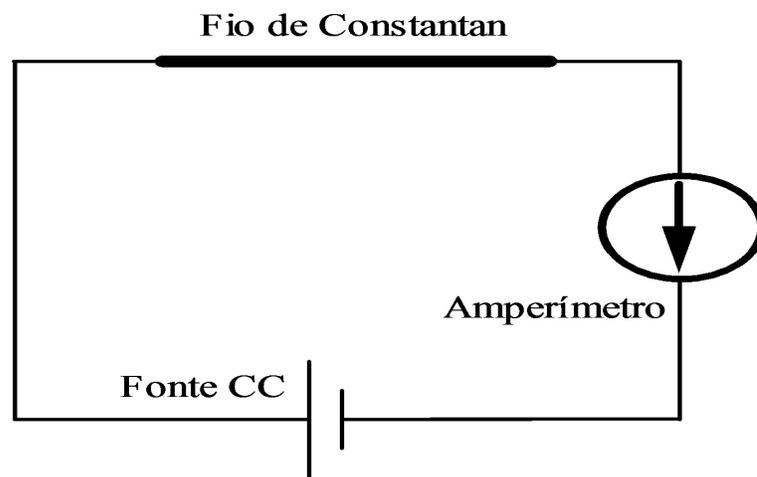


Figura 2.1: Esquema elétrico da montagem.

2.5 EXPERIMENTO

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Prenda dois isoladores na borda da mesa, distantes $0,60\text{m}$ um do outro, conectando-os com o fio de constantan. Não corte o fio, basta desenrolar o carretel o suficiente e deixá-lo sobre a mesa.
2. Monte o circuito conforme a Fig.2.1.
3. Ajuste a corrente da fonte para $i = 0,10\text{A}, 0,20\text{A}, \dots$ até $0,50\text{A}$, anotando a tensão (V) correspondente, e suas respectivas incertezas, na Tabela abaixo.

4. Repita o procedimento anterior aumentando o comprimento do fio de constantan (basta alterar a posição de um dos isoladores) para $L = 0,70m, 0,80m, 0,90m$ e $1,00m$.
5. Com o isolador na posição de $1,00m$, repita o procedimento 3 para 2, 3 e 4 pernas de fio de constantan (enrole o fio em paralelo).

	VOLTAGEM							
$i(A)$	$0,60m$	$0,70m$	$0,80m$	$0,90m$	$1,00m$	2 pernas	3 pernas	4 pernas
0,10								
0,20								
0,30								
0,40								
0,50								

TRATAMENTO DE DADOS

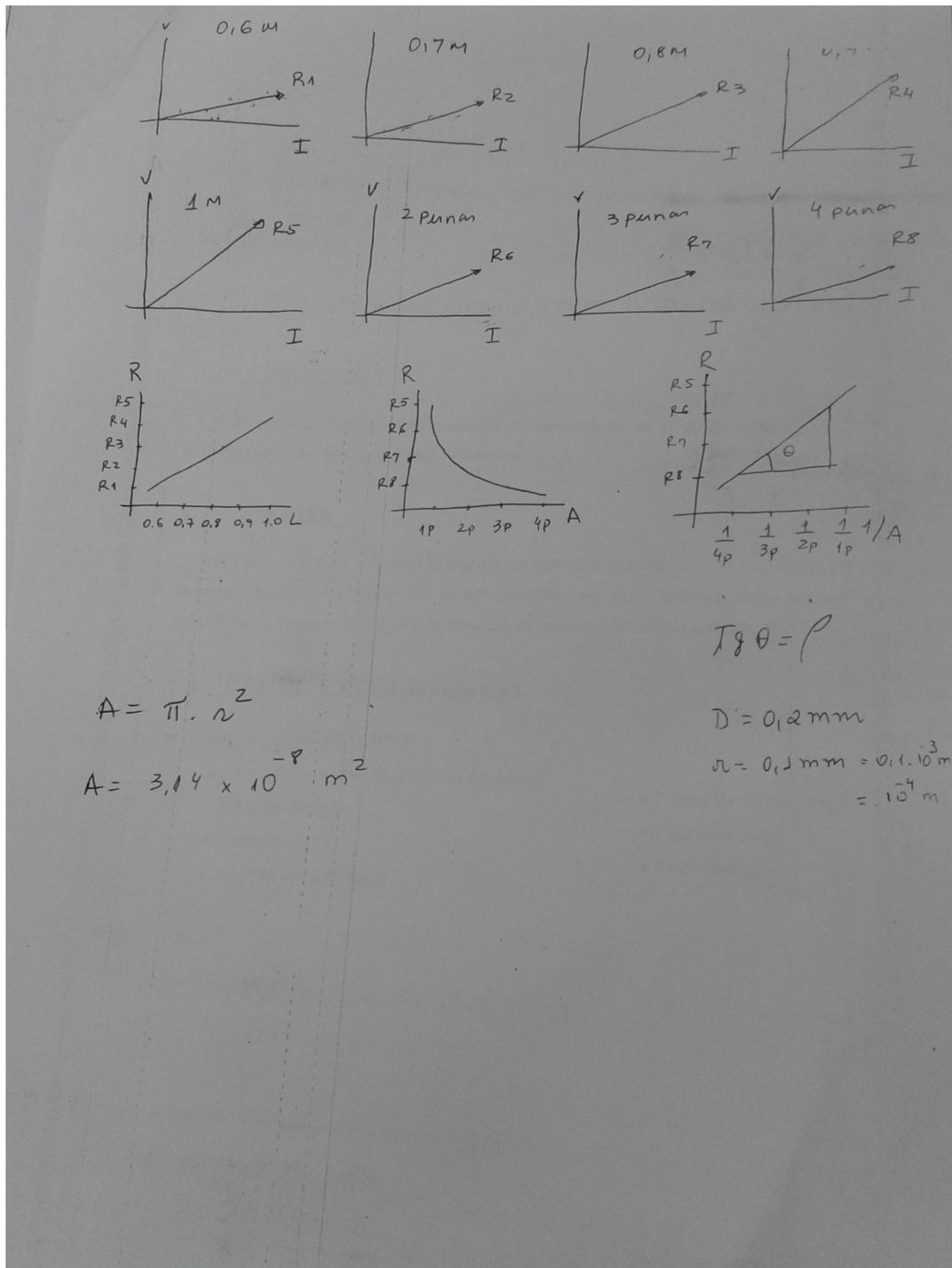
1. Faça um gráfico cartesiano de $V = f(i)$ para cada uma das séries de medidas e calcule a inclinação de cada reta (resistência). Com uma escolha adequada da escala, podem ser feitos 4 gráficos em uma mesma folha.
2. Com os valores de $(R \pm \Delta R)$ obtidos, faça o gráfico $R = f(L)$, referente aos procedimentos 3 e 4, bem como o gráfico $R = f(S)$, relativo ao procedimento 5, onde S é a área da seção transversal do fio. Lembre-se que as áreas são $S, 2S, 3S$ e $4S$, respectivamente.
3. Faça ainda o gráfico $R = f(1/S)$. Calcule a resistividade ($\rho \pm \Delta\rho$) do constantan através da inclinação da reta deste gráfico.

QUESTÃO

1. Discuta o comportamento da relação V/i .
2. Conclua sobre a variação da resistência de um fio em função do seu comprimento e da sua área transversal.

3. Generalize suas observações para exemplos concretos, como linhas de transmissão ou instalações elétricas em geral.

ANEXO



UNIDADE III

3.1 TÍTULO: LEIS DE KIRCHHOFF

3.2 OBJETIVOS

Determinar as correntes (i_1, i_2 e i_3) em um circuito por meio das regras de Kirchhoff.

3.3 TEORIA

Circuitos elétricos simples formados por uma única malha podem ser analisados com base nas regras para associações de resistores em série e em paralelo e na relação $V = Ri$. Circuitos mais complexos são analisados mais facilmente utilizando-se duas regras, conhecidas como regras de Kirchhoff, que se baseiam nas leis de conservação de energia e de carga elétrica.

Há duas definições que se fazem necessárias quando se usam as regras de Kirchhoff: a de nó e a de malha em um circuito. Um ponto de um circuito a que três ou mais elementos estão conectados é denominado de nó, e um percurso fechado do circuito é chamado de

malha. No circuito mostrado da figura 1, por exemplo, os pontos B e E são nós, e os percursos ABEFA, BCDEB E ABCDEFA são malhas.

As regras de Kirchhoff são as seguintes:

- A soma das correntes que chegam a um nó qualquer do circuito é igual à soma das correntes que saem desse mesmo nó (conservação de energia).

- Em uma malha qualquer de um circuito, a soma das forças eletromotrizes das fontes é igual à soma das diferenças de potencial nos demais elementos da malha (conservação de energia).

Para analisar um circuito utilizando as regras de Kirchhoff, é preciso, inicialmente, definir um sentido arbitrário para todas as correntes existentes nele. Na fig. 1, estão indicadas os sentidos atribuídos às correntes i_1 , i_2 e i_3 , respectivamente nas resistências R_1 , R_2 e R_3 .

Aplicando a regra dos nós em B, obtém-se:

$$i_1 = i_2 + i_3 \quad (3.1)$$

Aplicando a regra das malhas para a malha ABEFA do circuito da fig. 1, tem-se:

$$V_1 = i_1 R_1 + i_2 R_2 \quad (3.2)$$

Na malha BCDEB, obtém-se a seguinte relação:

$$V_2 = -i_2 R_2 + i_3 R_3 \quad (3.3)$$

Resolvendo as equações 1, 2 e 3, obtém-se as correntes i_1 , i_2 e i_3 . Se o valor obtido for negativo para uma determinada corrente ou força eletromotriz, isso indica que o sentido correto para ela é o oposto ao que lhe foi atribuído.

3.4 PARTE EXPERIMENTAL

MATERIAL NECESSÁRIO

- 3 resistores
- 3 fios de conexões
- 2 fonte de CC variável
- 1 amperímetro
- 1 protoboard

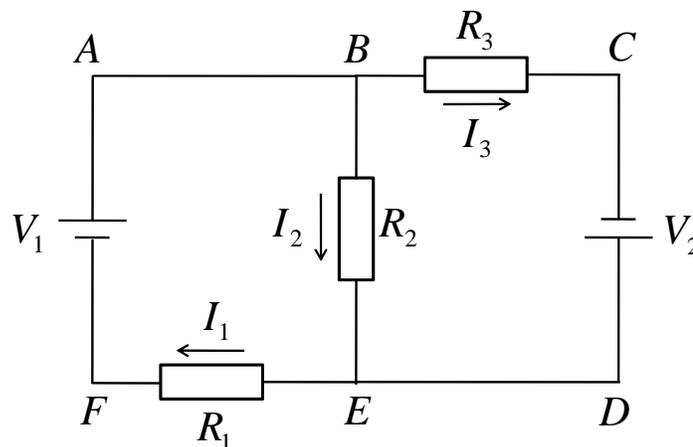


Figura 3.1: Circuito elétrico com 3 malhas (ABEFA, BCDEB, ABCDEFA) e 2 nós (B e E). Os sentidos das correntes foram atribuídos arbitrariamente.

3.5 EXPERIMENTO

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Monte o circuito da Fig.3.1. Faça a leitura dos três resistores através do código de cores.
2. Ajuste a fonte V_1 para 6V e a fonte V_2 para 3V.
3. Repita os procedimentos anteriores substituindo o resistor na montagem pela lâmpada incandescente e depois pelo diodo. No amperímetro use a escala de 10A.

TRATAMENTO DE DADOS

1. Com esses valores, use as regras de Kirchhoff para calcular as correntes i_1 , i_2 e i_3 no circuito da fig.1. A seguir calcule as diferenças de potencial V_{R_1} , V_{R_2} e V_{R_3} nos resistores R_1 , R_2 e R_3 .
2. Compare os valores das correntes medidas com os valores calculados utilizando as regras de Kirchhoff.
3. Com o multímetro na função de corrente contínua e escala de $200mA$, meça as correntes i_1 , i_2 e i_3 .

UNIDADE 4

UNIDADE IV

4.1 TÍTULO: CALIBRAÇÃO DE UM TERMOPAR

4.2 OBJETIVO

Calibrar um termopar.

4.3 TEORIA

Termopares são termômetros bastante utilizados, na indústria e em laboratórios de pesquisa, para medições em uma ampla faixa de temperatura de, aproximadamente, 250°C a 1500°C. Por se basear na medição de uma diferença de potencial, um termopar apresenta facilidade de leitura e de monitoramento de temperatura à distância e é de fácil adaptação em sistemas de controle e automação. Neste experimento, serão discutidos o princípio de funcionamento de termopares e o modo como eles são construídos e calibrados.

Sabe-se que um campo elétrico pode produzir uma corrente elétrica em sólidos. Da mesma forma, variações de temperaturas também podem produzir correntes elétricas. Considere, por exemplo, um metal cujas extremidades são mantidas em temperaturas diferentes por meio de contato térmico com reservatórios de calor. Nessa situação, a densidade de

elétrons livres é diferente nas duas extremidades, o que dá origem a um campo elétrico no metal; um outro campo elétrico é produzido pelo gradiente de temperatura no metal (variações de temperatura ao longo do metal) ; e, juntos, dão origem a uma corrente elétrica. Os efeitos causados pela interação entre correntes elétricas e as térmicas em material são chamados de efeitos termoelétricos. O funcionamento de um termopar baseia-se em um deles, conhecido como efeito Seebeck.

Para mostrar o Efeito Seebeck e o modo como medi-lo, considere dois fios metálicos (A e B), de matérias diferentes, ligados um ao outro, como representado na figura 1. As duas junções dos fios são colocadas em contato térmico com dois reservatórios de calor, cujas temperaturas são T_1 e T_2 . Um voltímetro é ligado entre dois pontos de um dos fios, ambos à temperatura T_0 . Como o circuito formado pelos fios está aberto, a corrente elétrica, nele, é nula. Nessa situação, surge uma força eletromotriz nas extremidades livres, que depende do material dos fios e da variação de temperatura entre as junções. Esse fenômeno é conhecido como efeito Seebeck cuja a descrição está detalhada no apêndice F.

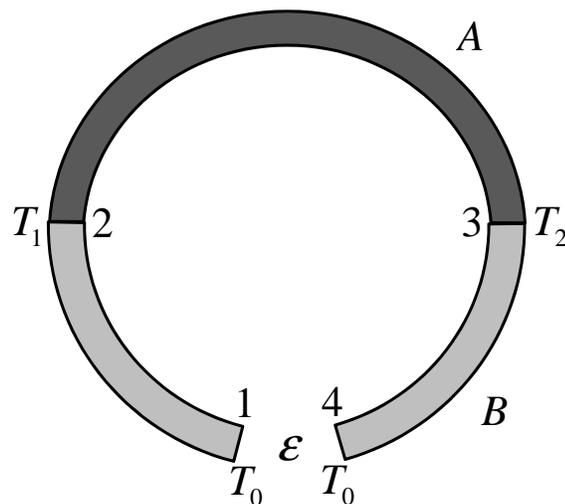


Figura 4.1: Dois fios (A e B) de materiais diferentes, ligados um ao outro para formar as junções 2 e 3. Quando as temperaturas dessas junções são diferentes, uma força eletromotriz é produzida nas extremidades 1 e 4, que estão a uma mesma temperatura T_0 .

Para pequenas diferenças de temperatura entre as junções, a força eletromotriz ϵ é

proporcional a essa diferença, ou seja, é dada por

$$\varepsilon = \alpha (T_2 - T_1),$$

sendo α chamado de coeficiente Seebeck, depende do material dos fios e da temperatura.

O dispositivo esquematizado na Fig.4.1 é a base de um termopar utilizado como termômetro. Para isso, uma das junções é colocada em contato térmico com o objeto cuja temperatura se deseja determinar, enquanto a outra é mantida em uma temperatura constante, chamada de temperatura de referência, como representado na Fig.4.2. Usualmente, utiliza-se a temperatura do gelo em fusão como referência. Conhecido o coeficiente de Seebeck, a temperatura do objeto pode ser determinada por meio da medição da força eletromotriz que é gerada.

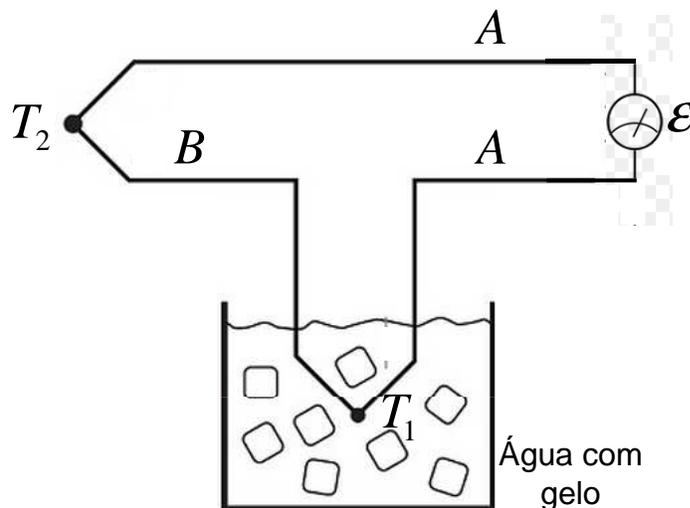


Figura 4.2: Diagrama esquemático de um termopar, constituído de dois fios (A e B) de materiais diferentes. Uma das junções dos fios é mantida a uma temperatura T_1 , e a outra deve estar em contato térmico com o objeto cuja temperatura se deseja determinar, um voltímetro mede a força eletromotriz produzida.

4.4 PARTE EXPERIMENTAL

MATERIAL NECESSÁRIO

- 2 pedaços de fios de Constantan
- 1 pedaço de fio de cobre
- 1 ebulidor de imersão
- 1 termômetro
- 1 voltímetro
- 1 haste
- 2 grampos com isoladores
- 2 fios de conexões
- 1 recipiente com água

4.5 EXPERIMENTO

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Faça a montagem representada na Fig.4.2. Neste experimento, a junção de referência será mantida à temperatura ambiente.
2. Mergulhe a junção de medida do termopar na água à temperatura ambiente. Feito isso, meça, com o voltímetro, a diferença de potencial e, com o termômetro de mercúrio, a temperatura da água (T_0).
3. Meça a diferença de potencial no termopar para diversos valores de temperatura da água, conforme a tabela abaixo.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Diferença de potencial (mV)
$(T_0 + 5)^{\circ}\text{C}$	
$(T_0 + 10)^{\circ}\text{C}$	
$(T_0 + 15)^{\circ}\text{C}$	
$(T_0 + 20)^{\circ}\text{C}$	
$(T_0 + 25)^{\circ}\text{C}$	
$(T_0 + 30)^{\circ}\text{C}$	

TRATAMENTO DE DADOS

1. Faça o gráfico da diferença de potencial no termopar em função da temperatura da água. Com base nesse gráfico, verifique se o coeficiente Seebeck desse termopar é constante na faixa de temperatura observada. Faça uma regressão linear e determine o valor desse coeficiente. Escreva então, a equação de calibração do termopar.
2. Agora que o termopar está calibrado, utilize-o para medir a temperatura ambiente e a temperatura de uma pessoa. Meça essas temperaturas, também, com um termômetro de mercúrio e compare os valores obtidos.

UNIDADE 5

UNIDADE V

5.1 TÍTULO: DEMONSTRAÇÃO DA FORÇA DE LORENTZ

5.2 OBJETIVO

Estudar o funcionamento da balança de corrente, determinando os parâmetros que influenciam na força sobre o braço na balança. Aplicar os conceitos envolvidos na Força de Lorentz para calcular a indução magnética.

5.3 TEORIA

Neste experimento estudaremos o efeito da força de Lorentz através de um arranjo muito útil conhecido como balança de corrente. O segmento de um condutor é preso de uma balança de corrente. O segmento de um condutor é preso ao braço de uma balança e suspenso entre um pólo de um imã, conforme a Fig.5.1.

Quando as cargas em movimentos (corrente elétrica) passaram pelo condutor que



Figura 5.1: Montagem da balança e o condutor.

este imerso no campo magnético do imã, cada carga que estará submetida a uma força de Lorentz dada por:

$$\vec{F} = q.(\vec{v} \times \vec{B}), \quad (5.1)$$

onde \vec{v} é vetor velocidade de cada uma das cargas elétricas no condutor. No ramo horizontal do condutor, \vec{v} esta sempre perpendicular ao campo magnético \vec{B} , então podemos escrever o modulo da força sobre cada carga i que atravessa o fio condutor como

$$F = q.v.B \quad (5.2)$$

A força total que a balança registrará é dada pela somatória das forças sobre todos os elétrons que atravessam o comprimento L do fio, que está imerso no campo magnético,

isto é,

$$F = NevB, \quad (5.3)$$

onde N é o número de elétrons que atravessam o condutor, e a carga do elétron e v é velocidade média dos elétrons. Como Ne representa a carga total que atravessa o condutor, é possível reescrever o termo Nev em função da corrente elétrica que atravessa o comprimento do fio L da seguinte forma:

$$Nev = IL, \quad (5.4)$$

e a força total sobre o fio como:

$$F = iLB. \quad (5.5)$$

Para casos mais gerais podemos escrever

$$\vec{F} = i\vec{L} \times \vec{B} \quad (5.6)$$

Suponha que o campo esteja perpendicular ao plano da página (eixo- z) e que o fio esteja no plano da página e paralelo ao eixo- x , a direção da força será sempre perpendicular ao fio e a de \vec{B} (eixo- y), e o sentido será para cima ou para baixo dependendo do sentido do campo na região entre os pólos do ímã, e do sentido da corrente no fio. Desta forma dependemos da corrente i , a força que aparecerá no fio puxará o braço da balança.

5.4 PARTE EXPERIMENTAL

MATERIAL NECESSÁRIO

- 1 balança de corrente
- 1 fonte CC variável
- 1 teslâmetro digital
- 1 imã formato U
- fios de conexão
- 1 espira, $L = 12,5\text{mm}$, $n = 1$
- 1 espira, $L = 25,0\text{mm}$, $n = 1$
- 1 espira, $L = 50,0\text{mm}$, $n = 1$
- 1 espira, $L = 50,0\text{mm}$, $n = 2$
- 1 calço dos pólos

5.5 EXPERIMENTO

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Observe o arranjo montado sobre a bancada. Coloque o calço dos pólos sobre o imã mantendo a distância de, aproximadamente, 1cm entre os pólos.
2. Instale a placa de $L = 12,5\text{mm}$, $n = 1$ no braço da balança, tomando o cuidado de manter o (s) fio (s) horizontal completamente dentro da região entre os polos do imã.
3. Conecte a placa com o fio (espiras) as fitas condutoras flexíveis e estas a um suporte e o suporte a uma fonte de tensão.
4. Antes de ligar a fonte, determine a massa da placa utilizando a balança¹.
5. Aumente lentamente a corrente na espira e observe o que ocorreu. A placa é puxada para cima ou para baixo? Por que?
6. De acordo com a sua resposta, modifique as suas ligações para que a placa seja puxada para baixo.
7. Varie lentamente a corrente na placa de intervalo de $0,5$ até $4,0\text{A}$ e meça a massa aparente da placa utilizando a balança, para dez valores de corrente.

¹Cada graduação no seletor da balança tem um valor de $0,1\text{g}$. O vernier adjacente ao seletor quebra este valor em incrementos de $0,01\text{g}$. Para ler uma medida, leia o valor em grama do mais próximo número a direita do zero de vernier de graduação. Adicione a esta medida o valor da graduação do vernier, observando qual a linha na escala do vernier que mais se alinha com a escala a graduação do seletor.

8. Repita o passo de 2 a 7 para as outras espiras.
9. Ao terminar, desligue a fonte de tensão e meça utilizando o medidor de campo magnético, o campo magnético gerado pelo imã de sua bancada.

TRATAMENTO DE DADOS

1. Subtraindo o valor da massa real de cada placa, faça uma tabela de força aplicada na placa para cada valor de corrente para todas as placas.
2. Em uma única escala, faça o gráfico de $F \times i$ para cada valor de L . Lembre-se que $L = 50mm/n = 2$, portanto o valor real de L é de $100mm$. Qual a dependência funcional de F e i obtido experimentalmente? Qual a dependência funcional esperada?
3. Obtenha o valor do módulo do campo magnético \vec{B} em cada reta através de sua inclinação e compare com o valor medido com o teslâmetro.
4. Faça um gráfico de $F \times L$ para um valor de corrente fixo e igual em cada uma das placas. Qual a dependência funcional de F e L obtida experimentalmente? Qual a dependência esperada?