



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA**
Campus Blumenau

Física Experimental III



Marcio R. Loos, P.hD.

www.loos.prof.ufsc.br

www.labcti.ufsc.br

REGRAS DO LABORATÓRIO

Visando um bom funcionamento do laboratório e para que todos tenham um semestre muito produtivo são estabelecidas as seguintes regras:

- **ATRASOS:** Haverá uma tolerância de 15 minutos para atrasos. Alunos que não comparecerem na aula até 15 minutos após o início da aula não poderão mais participar da aula.
- Uma vez iniciada a aula evite sair do laboratório por motivos irrelevantes.
- Não deixe sobre as mesas sua mochila ou outros pertences desnecessários.
- É proibido comer ou beber dentro do laboratório.
- Não utilize o celular durante as aulas (a menos que o professor solicite).
- Evite conversas desnecessárias com seus colegas.
- Concentre-se na aula para aumentar o seu aprendizado.
- Respeite as datas de entrega de trabalho estabelecidas.
- Evite situações que possam danificar os equipamentos. Se tiver dúvida sobre como ligar algum circuito ou fonte chame o Professor.
- Observe o uso apropriado de todos os equipamentos.
- Os relatórios de experimentos realizados no laboratório deverão ser manuscritos (escrito a mão, não digitado ou impresso). Caso seja preciso fazer algum gráfico o mesmo poderá ser feito em algum software, impresso e colado no relatório manuscrito.
- Ao fazer os relatórios não cometa plágio. Alunos que copiarem textos na íntegra de outras fontes serão penalizados.

Regras do Laboratório	v
1 Conceitos de Física III através de vídeos	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivo Geral	1
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Materiais/Recursos	2
1.4 Procedimento Experimental	2
1.4.1 Procedimento	2
2 Projeto de Física III	3
2.1 Introdução	3
2.2 Objetivos	3
2.2.1 Objetivo Geral	3
2.2.2 Objetivos Específicos	3
2.3 Materiais/Recursos	4
2.4 Procedimento Experimental	4
2.4.1 Procedimento	4
2.4.2 O que devo entregar?	4
3 Como usar um multímetro	7
3.1 Introdução	7
3.2 Objetivos	8
3.2.1 Objetivo Geral	8
3.2.2 Objetivos Específicos	8
3.3 Materiais	8
3.4 Procedimento Experimental	9

3.4.1	Parte I: Função continuidade do multímetro	9
3.4.2	Parte II: Medidas de tensão e corrente em circuitos de leds	9
3.4.3	Parte III: Ligação de um motor CC	10
3.4.4	Parte IV: Funcionamento de um potenciômetro	10
3.4.5	Parte V: Uso de um LDR (Light dependente resistor)	10
3.4.6	Parte VI: Energia da luz	11
4	Lei de Ohm	13
4.1	Introdução	13
4.2	Objetivos	13
4.2.1	Objetivo Geral	13
4.2.2	Objetivos Específicos	13
4.3	Materiais	13
4.4	Procedimento Experimental	14
5	Circuitos em série e paralelo	17
5.1	Introdução	17
5.2	Objetivos	18
5.2.1	Objetivo Geral	18
5.2.2	Objetivos Específicos	18
5.3	Materiais	19
5.4	Procedimento Experimental	19
5.4.1	Parte I: Circuito em série	19
5.4.2	Parte II: Circuito em paralelo	20
5.4.3	Parte III: Correntes em circuitos em série e em paralelo	21
6	Leis de Kirchhoff	23
6.1	Introdução	23
6.2	Objetivos	24
6.2.1	Objetivo Geral	24
6.2.2	Objetivos Específicos	24
6.3	Materiais	24
6.4	Procedimento Experimental	25
6.4.1	Parte I: Circuito em série	25
7	Capacitores em circuitos	27
7.1	Introdução	27
7.2	Objetivos	29
7.2.1	Objetivo Geral	29
7.2.2	Objetivos Específicos	29

7.3	Materiais	29
7.4	Procedimento Experimental	29
8	Resistividade	33
8.1	Introdução	33
8.2	Objetivos	34
8.2.1	Objetivo Geral	34
8.2.2	Objetivos Específicos	34
8.3	Materiais	34
8.4	Procedimento Experimental	35
8.4.1	Parte I: Resistência versus comprimento ($R \times l$)	35
8.4.2	Parte II: Resistência versus diâmetro ($R \times d$)	35
8.4.3	Parte III: Resistividade do latão	36
9	Resistência de um termistor	37
9.1	Introdução	37
9.2	Objetivos	38
9.2.1	Objetivo Geral	38
9.2.2	Objetivos Específicos	38
9.3	Materiais	38
9.4	Procedimento Experimental	39
10	O campo magnético em uma bobina	43
10.1	Introdução	43
10.2	Objetivos	44
10.2.1	Objetivo Geral	44
10.2.2	Objetivos Específicos	44
10.3	Materiais	44
10.4	Procedimento Experimental	45
10.4.1	Parte I: Campo magnético em função da corrente	45
10.4.2	Parte II: Campo em função do número de voltas na bobina	47
11	Transformadores	49
11.1	Introdução	49
11.2	Objetivos	50
11.2.1	Objetivo Geral	50
11.2.2	Objetivos Específicos	50
11.3	Materiais	50
11.4	Procedimento Experimental	51
11.4.1	Parte I: Princípios básicos do transformador e importância do núcleo	51

11.4.2	Parte II: Efeito do número de voltas no primário e no secundário	52
12	Medidor de campo magnético	55
12.1	Introdução	55
12.2	Objetivos	56
12.2.1	Objetivo Geral	56
12.2.2	Objetivos Específicos	56
12.3	Materiais	57
12.4	Procedimento Experimental	57
12.4.1	Medidor de campo magnético I	57
12.4.2	Medidor de campo magnético II	58
A	Modelo de Relatório	61
B	Código de cores para resistores	5
	Referências	3

CAPÍTULO 1

Conceitos de Física III através de vídeos

1.1. Introdução

Existem várias formas alternativas para se aprender um conceito físico. As formas mais comuns envolvem aulas e a realização de experimentos tradicionais em laboratório. Contudo, muito se pode aprender através de vídeos. Existem várias cenas de filmes, seriados animados e vídeos explicativos que demonstram de forma clara e didática conceitos fundamentais. A Figura 1.1 mostra um exemplo inusitado.



Figura 1.1: Peter Griffin demonstrando o conceito de eletricidade estática [1].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Apresentar vídeos que demonstrem conceitos físicos relevantes no âmbito de Física III.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Pesquisar vídeos relacionados a temas pré-definidos.
 - Apresentar e discutir os vídeos selecionados.
-

1.3. Materiais/Recursos

- Website www.youtube.com;
 - Googledoc: veja link no site do Professor.
 - Computador/notebook ou celular;
 - Opcional: fone de ouvido.
-

1.4. Procedimento Experimental

1.4.1. Procedimento

1.4.1.1. Aula 1

1. Pesquise vídeos relacionados aos seguintes tópicos: Eletricidade, Carga elétrica, Condutores, Isolantes, Semicondutores e Super condutores, Lei de Coulomb, Princípio da Superposição, Teoremas para cascas esféricas, Quantização da carga, O campo elétrico, Movimento de cargas no campo elétrico, Torque sobre dipolos elétricos e Lei de Gauss;
2. Os vídeos a serem apresentados devem ter de 2 a 4 minutos de duração. Se você escolheu um vídeo com 1 minuto de duração deverá escolher outro para completar no mínimo 2 minutos de vídeo. Se o vídeo tem duração maior de 4 minutos e você só quer mostrar uma parte dele você deverá editar o vídeo e criar um novo vídeo com a duração desejada. Este novo vídeo deverá ser postado no youtube e o link deverá ser copiado para compartilhar.
3. Uma vez que o vídeo já tenha sido selecionado de acordo com as instruções acima entre no site do Professor (www.loos.prof.ufsc.br) e preencha a tabela (googledocs: Videos FEX3).

1.4.1.2. Aula 2

4. Os vídeos serão apresentados na ordem do googledocs. Cada aluno terá até 6 minutos para sua apresentação e explicação.

2.1. Introdução

Uma das formas mais efetivas de se aprender física é colocando em prática a teoria aprendida em sala de aula. Uma opção para se alcançar este objetivo é através da realização de aulas práticas em laboratórios. Contudo, experimentos já montados e preparados esperando que o aluno apenas o manuseie podem limitar a criatividade. Muitas vezes tais experimentos servem apenas para comprovar que a teoria aprendida em sala está correta. A situação muda quando temos que desenvolver nosso próprio experimento partindo do zero. Somos levados a alguns erros e dificuldades que comprovarão se realmente entendemos a teoria e conceitos por trás deste experimento. Este é o espírito do Projeto de Física III.

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo Geral

Apresentar na prática (hands on) conceitos físicos relevantes no âmbito de Física III.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Pesquisar atividades experimentais relacionadas aos tópicos abordados em Física III.
- Discutir com o Professor as atividades pesquisadas de modo que o Professor avalie a viabilidade da atividade proposta e aprove o tema selecionado.
- Construir a atividade experimental.
- Preparar um poster e um trabalho escrito conforme modelos fornecidos.

- Entregar a atividade, o trabalho e o poster.
- Apresentar a atividade em um evento de divulgação científica.

2.3. Materiais/Recursos

Os materiais necessários dependerão do tipo de atividade selecionada. A estrutura do Laboratório de Ciência, Tecnologia e Inovação (LabCTI - www.labcti.ufsc.br) estará a disposição dos alunos interessados. Conversem com o Professor sobre esta possibilidade.

2.4. Procedimento Experimental

2.4.1. Procedimento

Esta atividade será desenvolvida parcialmente nas aulas de Física Experimental 3 e em sua grande parte fora da sala de aula.

1. Pesquise atividades experimentais de seu interesse relacionadas à Física III.
2. Avalie a viabilidade (tempo, custo, dificuldade, etc) das atividades que lhe interessaram.
3. Apresente ao Professor (verbalmente e usando links ou material que você encontrou) sua proposta para o projeto.
4. Uma vez que o Professor tenha aprovado sua proposta comece a trabalhar na parte prática. **NÃO ESQUEÇA DE TIRAR VÁRIAS FOTOS DE TODOS OS PASSOS ENVOLVIDOS NA CONSTRUÇÃO DO EXPERIMENTO. TIRE MUITAS FOTOS!**
5. Não deixe para a última hora! Adiante o projeto no início do semestre antes que se acumulem as provas de várias disciplinas.
6. Ajude o membro de sua equipe. As notas serão individuais. Alunos que não contribuíram para o projeto ou que não saibam explica-lo terão nota reduzida.
7. Durante todo o desenvolvimento do seu projeto mantenha o Professor informado para que ele possa auxiliar com sugestões que melhorarão o projeto. Procure o Professor especificamente no horário de atendimento ao aluno ou agende um horário para que ele possa auxiliá-lo.
8. As datas importantes para entrega do projeto estão no website da disciplina.

2.4.2. O que devo entregar?

Em consonância com as datas postadas no website da disciplina deveram ser entregues:

1. A atividade experimental de forma apresentável contendo uma etiqueta com o título da atividade, os nomes dos alunos e o curso. Exemplo:

Transformador
João Wiltmorr - Eng. de Materiais
Maria Wiltmorr - Eng. de Controle e Automação
Marieta Wiltmorr - Eng. Têxtil

2. Um roteiro explicando detalhadamente como o experimento foi construído. O roteiro deve estar claro de forma que outra pessoa consiga construir o mesmo experimento se baseando apenas neste roteiro. Quando no roteiro houverem perguntas/questões o mesmo deverá conter um gabarito.
3. O poster do experimento de acordo com modelo fornecido no website do Professor. O poster deverá ter as dimensões de $297 \times 420 \text{ mm}$ (A3).

Os itens 2 e 3 devem ser entregues impressos e todos em um CD devidamente identificado com o título do projeto e nome dos alunos. Use uma etiqueta como a do modelo acima para identificar o cd.

O poster deve estar no formato **.ppt/.pptx**, no formato **pdf** e no formato **.png** (Nos 3 formatos!).

O roteiro em formato **.doc/.docx** e no formato **.pdf** (Nos 2 formatos).

Leia atentamente as instruções acima para evitar transtornos.

3.1. Introdução

Um Multímetro é um aparelho para testes e medição de grandezas elétricas, extremamente popular entre técnicos e engenheiros devido à sua grande versatilidade. Utilizando o multímetro pode-se efetuar a medição de corrente, tensão e resistência elétricas, de modo a realizar diversos tipos de diagnósticos em circuitos elétricos. Alguns modelos mais incrementados permitem realizar medições adicionais, como capacitância, frequência, temperatura, indutância e outras. Vamos utilizar um multímetro digital, pois é o tipo mais amplamente usado. Porém, existem também os multímetros Analógicos.

Alguns erros comuns no uso do multímetro:

1. Medir corrente em lugar de tensão: Em uma tomada ou fonte de tensão não existe corrente, mas sim uma diferença de potencial (tensão). A corrente só irá circular quando alguma coisa é ligada a essa fonte e ela o alimenta. Essa corrente vai depender da resistência que o dispositivo alimentado apresenta. Assim, o que se mede numa tomada ou fonte é a tensão. Caso você medir a corrente (que não existe), o multímetro será colocado numa condição de muito baixa resistência, ou seja, ele será um curto circuito! Ou seja, a corrente circulante será extremamente alta causando sua queima imediata. Veja a Figura 3.1.
2. Medir resistências num circuito ligado: Não se deve medir a resistência de um componente de um circuito ligado. A corrente no circuito vai afetar a leitura e o valor da resistência medido não corresponderá à realidade. Em adição a corrente circulante no circuito pode danificar o multímetro.
3. Utilizar escalas erradas: Não use o multímetro para medir tensões com o multímetro ajustado para a escala de correntes ou de resistências. A tensão pode ser suficiente para queimar o aparelho. Nunca mude de escala com as pontas de prova no circuito. Desligue-as sempre antes de escolher uma nova escala. SEMPRE USE O FUNDO DE ESCALA.



Figura 3.1: Uma charge para motivar os alunos a serem cuidadosos quanto ao uso do multímetro [2].

Quer medir uma tensão a qual você não sabe a ordem de grandeza? Comece pela escala maior do voltímetro (por exemplo 1000V).

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo Geral

Aprender a operar um multímetro.

3.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar medidas de tensão, corrente e resistência.
- Familiarizar-se com componentes eletrônicos como o led, potenciômetro, resistores e motores CC.
- Usar um protoboard para ligação de circuitos.

3.3. Materiais

- Protoboard





- Fonte de tensão Pasco DC (PI 9880)



- Multímetro digital SE-9786A



- Potenciômetro 
- 3 leds 

3.4. Procedimento Experimental

3.4.1. Parte I: Função continuidade do multímetro

1. Ligue o multímetro na função “continuidade”.
2. Usando duas garras jacaré conecte dois pedaços de fio nas extremidades das ponteiros
3. Avalie a continuidade das conexões presentes na protoboard.

Q1: O que você observou?

3.4.2. Parte II: Medidas de tensão e corrente em circuitos de leds

1. Conecte a fonte de tensão à placa protoboard usando dois jumpers. **NÃO LIGUE A FONTE!**
2. Conecte um led na placa de forma que ele possa ser alimentado pela fonte de tensão. Observe a polaridade do led: A “perna” comprida é o positivo e a curta o negativo.
3. Ligue a fonte e aumente a tensão usando o potenciômetro FINE. Aumente a tensão lentamente observando o brilho do led. **Cuide para não ultrapassar 1,90V pois o led irá queimar.**
4. Conecte o multímetro às pernas do led e meça a tensão. Anote este valor:
5. Meça a corrente que chega ao led. Anote este valor:
6. Ligue um segundo led em paralelo com o primeiro. Meça a corrente que chega aos dois leds. Anote este valor:
7. Ligue um terceiro led em paralelo com o segundo. Meça a corrente que chega aos três leds. Anote este valor:
8. Meça a corrente que chega do primeiro led ao segundo. Anote este valor:
9. Meça a corrente que chega do segundo led ao terceiro. Anote este valor:
10. Meça a tensão em cada led e anote os valores:

Q2: O que você concluiu sobre a tensão e corrente nos leds ligados em paralelo?

11. Desligue a fonte. Ligue três leds em série.
12. Aumente a tensão lentamente observando o brilho dos leds. **Cuide para não ultrapassar 5,70V pois os leds poderão queimar.**

13. Meça a tensão em cada led e anote os valores:
14. Meça a corrente que chega da fonte ao primeiro led. Anote este valor:
15. Meça a corrente que chega do primeiro led ao segundo. Anote este valor:
16. Meça a corrente que chega do segundo led ao terceiro. Anote este valor:

Q3: O que você concluiu sobre a tensão e corrente nos leds ligados em série?

3.4.3. Parte III: Ligação de um motor CC

1. Conecte o motor CC ao multímetro.
2. Selecione a função para medir resistência. Observe o valor da resistência do motor estático.
3. Movimente o eixo do motor e observe a resistência.

Q4: O que você notou?

4. Selecione a escala de 2V CC no multímetro. Observe a leitura no display do multímetro.
5. Gire o eixo do motor e observe a nova leitura.

Q5: O que você notou?

3.4.4. Parte IV: Funcionamento de um potenciômetro

1. Conecte o multímetro no potenciômetro de $20k\Omega$. Olhando de frente para o potenciômetro, ligue as garras jacaré do multímetro nas duas primeiras conexões ("perninhas").
2. Meça a resistência do potenciômetro em função da posição: gire o potenciômetro e observe a resistência.

Q6: O que você notou?

3. Conecte as garras jacaré do multímetro nas duas últimas conexões do potenciômetro. Meça a resistência do em função da posição.

Q7: O que você notou?

3.4.5. Parte V: Uso de um LDR (Light dependente resistor)

1. Conecte o multímetro no LDR e meça sua resistência.
2. Coloque sua mão aberta aproximadamente 10 cm acima do LDR. Lentamente aproxime sua mão do LDR de modo a reduzir a quantidade de luz que chega ao LDR. Faça este movimento até cobrir completamente o LDR.

Q8: O que você notou?

3.4.6. Parte VI: Energia da luz

1. Ligue 3 leds em série no protoboard sem usar nenhuma fonte de tensão.
2. Utilizando o multímetro meça a voltagem gerada pelos leds.
3. Com sua mão varie a luminosidade sobre os leds.

Q9: O que você observou?

4. Repita os passos 1-3 para 3 leds em paralelo e compare os resultados.

Q10: O que você observou?

Q11: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

CAPÍTULO 4

Lei de Ohm

4.1. Introdução

A lei de Ohm afirma que a corrente fluindo através de um dispositivo é diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada ao dispositivo. Um dispositivo condutor obedece à lei de Ohm quando sua resistência é independente do valor e da polaridade da diferença de potencial aplicada. A característica mais importante da lei de Ohm é que um gráfico de i x V é linear, logo, o valor da resistência é independente do valor de V .

4.2. Objetivos

4.2.1. Objetivo Geral

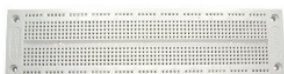
Verificar a Lei de Ohm.

4.2.2. Objetivos Específicos

- Analisar a tensão e corrente em resistores.
- Relacionar a corrente e tensão em um resistor à sua resistência.

4.3. Materiais

- Protoboard



- Fonte de tensão Pasco DC (PI 9880)



- Multímetro digital SE-9786A



- 1 resistor de $1k\Omega$



4.4. Procedimento Experimental

1. Utilizando o código de cores do Apêndice B, determine a resistência do resistor fornecido. Compare esse valor com o valor obtido utilizando o multímetro.
2. Monte um circuito contendo a fonte, o resistor, um multímetro na função tensão e outro multímetro na função corrente. A fonte deve estar ligada ao resistor. Os multímetros devem ser colocados de modo que permitam medir a tensão e corrente no resistor.
3. Chame o Prof. para revisar o circuito. **NÃO LIGUE A FONTE SEM A AUTORIZAÇÃO DO PROFESSOR!**
4. Varie a tensão de 1,0 – 10,0V de 1,0 em 1,0 e preencha a Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Dados medidos ou calculados.

Voltagem (V)	Corrente (mA)	Resistência (Ω)	$P = Vi$	$P = Ri^2$

Q1: Para cada conjunto de tensão e corrente na Tabela 4.1, calcule a resistência, a potência fornecida pela fonte e a potência dissipada no resistor.

Complete a Tabela 4.1.

Q2: Construa um gráfico da corrente em função da resistência.

Q3: Qual a relação matemática que se obtêm a partir do gráfico entre corrente e resistência?

Q4: Qual a relação entre a potência fornecida pela fonte e a potência dissipada no resistor? Houve alguma diferença? Por quê?

Q5: Quais são as principais fontes de erro nesse experimento?

Q6: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

5.1. Introdução

Em um circuito é possível interligar ou associar resistores. O comportamento desta associação varia de acordo com o tipo de ligação entre os resistores. As duas principais formas de associação são em série e em paralelo.

Em uma associação em série os resistores estão conectados em uma única rota (Figura 5.1). Haverá apenas um caminho para a passagem da corrente e esta será a mesma em todos os resistores. A voltagem em cada resistor varia de acordo com sua resistência ($V = Ri$).

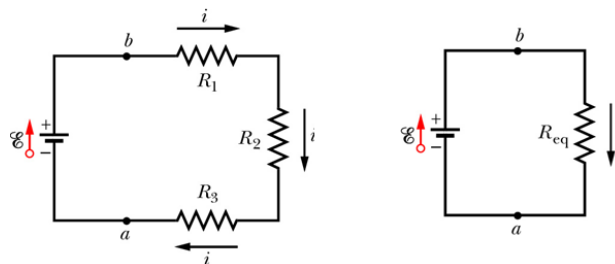


Figura 5.1: Resistores associados em série e o circuito equivalente.

Na situação representada na Figura 5.1 temos:

$$i = i_1 = i_2 = i_3 \quad (5.1)$$

$$\varepsilon - iR_1 - iR_2 - iR_3 = 0 \quad (5.2)$$

$$i = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (5.3)$$

$$\varepsilon - iR_{eq} = 0 \quad (5.4)$$

$$i = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} \quad (5.5)$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (5.6)$$

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i \quad (5.7)$$

Em uma associação em paralelo os resistores estão conectados de tal forma que todos estão sobre a mesma diferença de potencial (Figura 5.2). Haverá mais de um caminho para a passagem da corrente e esta será dividida entre os resistores de tal forma que a mesma tensão é mantida em cada resistor ($V = Ri$).

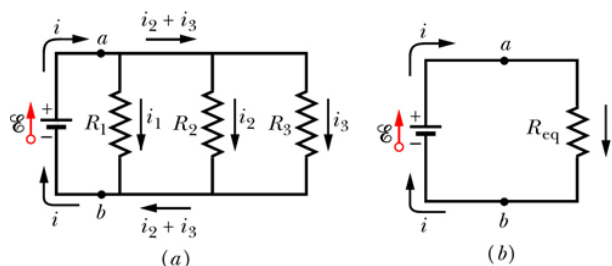


Figura 5.2: Resistores associados em paralelo e o circuito equivalente.

Na situação representada na Figura 5.2 temos:

$$\varepsilon = V_1 = V_2 = V_3 \quad (5.8)$$

$$i_1 = \frac{\varepsilon}{R_1}; \quad i_2 = \frac{\varepsilon}{R_2}; \quad i_3 = \frac{\varepsilon}{R_3}; \quad (5.9)$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \quad (5.10)$$

$$i = \varepsilon \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad (5.11)$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (5.12)$$

5.2. Objetivos

5.2.1. Objetivo Geral

Estudar as propriedades de circuitos em série e em paralelo.

5.2.2. Objetivos Específicos

- Estudar a associação de resistores em série e em paralelo.
- Avaliar a corrente e a tensão em circuitos em série e em paralelo.
- Usar a Lei de Ohm para calcular a resistência equivalente em circuitos em série e paralelo.

5.3. Materiais

- 2 multímetros digitais SE-9786A



- Protoboard



- Fonte de tensão Pasco DC (PI 9880)



- 2 resistores de 10Ω



- 2 resistores de 33Ω



- 2 resistores de 100Ω



5.4. Procedimento Experimental

5.4.1. Parte I: Circuito em série

1. Monte o circuito mostrado na Figura 5.3. Use um resistor de 10Ω como R_1 e outro idêntico como R_2 .
2. Meça as resistências de R_1 e R_2 e anote os valores na Tabela 5.1 (linha 1). Ligue a fonte e regule a tensão para $3,0V$. Meça o valor da corrente no circuito (I) e da tensão total (V_{TOT}). Anote estes valores na Tabela 5.1.

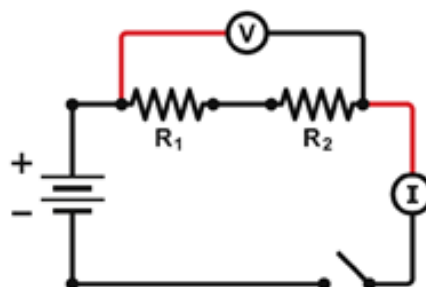


Figura 5.3: Circuito em série.

3. Meça a tensão no resistor 1 (V_1) e anote o valor na Tabela 5.1. Repita o procedimento para o resistor 2.

4. Repita os passos **1-3** substituindo R_2 por um resistor de 33Ω . Preencha a linha 2 da Tabela 5.1.
5. Repita os passos **1-3** usando resistores de 33Ω como R_1 e R_2 . Preencha a linha 3 da Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Circuito em série.

	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$I(A)$	$V_1(V)$	$V_2(V)$	$R_{eq}(\Omega)$	$V_{TOT}(V)$
1							
2							
3							

Q1: Examine os resultados da Tabela 5.1. Qual a relação entre as três tensões medidas V_1 , V_2 e V_{TOT} ?

Q2: Usando as medidas acima e seu conhecimento da Lei de Ohm, calcule a resistência equivalente (R_{eq}) do circuito para cada um dos três circuitos testados. Anote os valores na Tabela 5.1.

Q3: Meça a resistência equivalente dos circuitos em série. Tente criar uma regra para calcular a resistência equivalente de um circuito em série com dois resistores.

Q4: Para cada um dos três circuitos em série compare os resultados experimentais com o valor calculado para resistência usando sua regra.

5.4.2. Parte II: Circuito em paralelo

1. Monte o circuito mostrado na Figura 5.4. Use um resistor de 33Ω como R_1 e outro idêntico como R_2 .

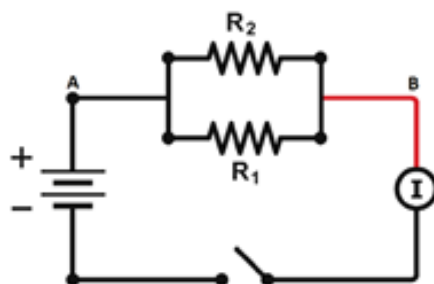


Figura 5.4: Circuito em paralelo.

2. Meça as resistências de R_1 e R_2 e anote os valores na Tabela 5.2 (linha 1). Ligue a fonte e regule a tensão para $3,0V$. Meça o valor da corrente no circuito (I) e da tensão total

- (V_{TOT}). Anote estes valores na Tabela 5.2. Note que para medir V_{TOT} as ponteiros do multímetro devem ser posicionadas nos pontos A e B.
- Meça a tensão no resistor 1 (V_1) e anote o valor na Tabela 5.2. Repita o procedimento para o resistor 2.
 - Repita os passos **1-3** substituindo R_2 por um resistor de 100Ω . Preencha a linha 2 da Tabela 5.2.
 - Repita os passos **1-3** usando resistores de 100Ω como R_1 e R_2 . Preencha a linha 3 da Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Circuito em paralelo.

	$R_1 (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	I (A)	V_1 (V)	V_2 (V)	R_{eq} ()	V_{TOT} (V)
1							
2							
3							

Q5: Usando as medidas acima e seu conhecimento da Lei de Ohm, calcule a resistência equivalente (R_{eq}) do circuito para cada um dos três circuitos em paralelo testados. Anote os valores na Tabela 5.2.

Q6: Meça a resistência equivalente dos circuitos em paralelo. Proponha uma regra para calcular a resistência equivalente de um circuito em paralelo com dois resistores.

Q7: Analise os resultados da Parte II. O que você notou sobre a relação entre as 3 tensões V_1 , V_2 e V_{TOT} medidas em circuitos em paralelo?

5.4.3. Parte III: Correntes em circuitos em série e em paralelo

- Monte o circuito mostrado na Figura 5.5. Use um resistor de 10Ω como R_1 e um resistor de 33Ω como R_2 .

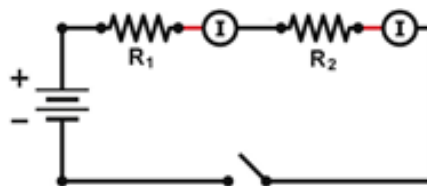


Figura 5.5: Circuito em série.

- Meça as resistências de R_1 e R_2 e anote os valores na Tabela 5.3 (linha 1). Note que os dois resistores são diferentes. Você espera que as correntes passando por cada resistor sejam iguais ou diferentes?

- Ligue a fonte e regule a tensão para 3,0V. Meça o valor da corrente no circuito (I). As correntes medidas são as correntes entrando e saindo dos resistores. Anote estes valores na linha 1 da Tabela 5.3.
- Monte o circuito da Figura 5.6. Use um resistor de $33\ \Omega$ como R_1 e um resistor de $100\ \Omega$ como R_2 .

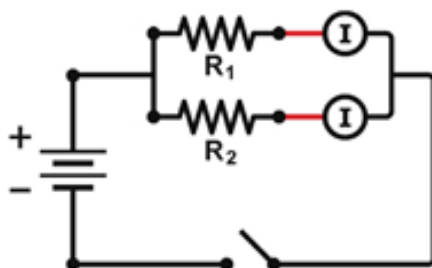


Figura 5.6: Circuito em paralelo.

- Meça as resistências de R_1 e R_2 e anote os valores na Tabela 5.3 (linha 2). Note que os dois resistores são diferentes. Você espera que as correntes passando por cada resistor sejam iguais ou diferentes?
- Ligue a fonte e regule a tensão para 3,0V. Meça o valor da corrente no circuito (I) para cada resistor. Anote estes valores na linha 2 da Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Corrente em circuitos.

	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$I_1(A)$	$I_2(A)$
1				
2				

Q8: O que você descobriu sobre a corrente em circuitos em série?

Q9: O que você descobriu sobre a corrente em circuitos em paralelo?

Q10: Se as duas correntes medidas no circuito em paralelo não são a mesma, qual resistor tem a maior corrente passando através dele? Por quê?

Q11: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

6.1. Introdução

A lei das malhas de Kirchhoff afirma que a soma algébrica das diferenças de potencial em qualquer malha fechada é zero. Aplicando a lei das malhas para a primeira e segunda malha do circuito mostrado na Figura 6.1 temos:

$$\text{Malha1} : -V_F + V_1 + V_2 + V_5 = 0 \quad (6.1)$$

$$\text{Malha2} : -V_2 + V_3 + V_4 = 0 \quad (6.2)$$

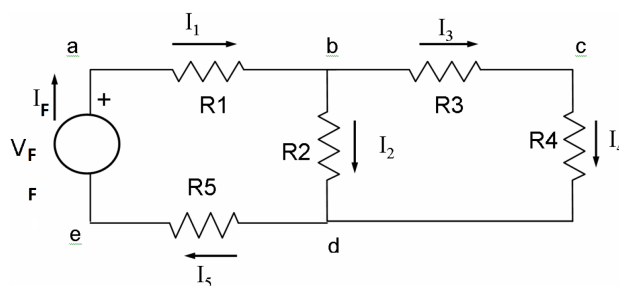


Figura 6.1: Circuito com várias malhas.

A lei dos nós afirma que a soma algébrica das correntes chegando e saindo de qualquer nó é zero. Aplicando a lei dos nós para os quatro primeiros nós do circuito mostrado na Figura 6.1 temos:

$$\text{Nó a} : -I_F + I_1 = 0 \quad (6.3)$$

$$\text{Nó b} : -I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (6.4)$$

$$\text{Nó c : } -I_3 + I_4 = 0 \quad (6.5)$$

$$\text{Nó d : } -I_2 - I_4 + I_5 = 0 \quad (6.6)$$

6.2. Objetivos

6.2.1. Objetivo Geral

Verificar as leis de Kirchhoff.

6.2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as malhas e nós de um circuito de várias malhas.
 - Determinar as correntes e tensões nos resistores de um circuito por meio das leis de Kirchhoff.
-

6.3. Materiais

- 2 multímetros digitais SE-9786A
- Fonte de tensão Pasco DC (PI 9880)



- Protoboard



- 2 resistores de $1k\Omega$



- 2 resistores de $4,7k\Omega$



- 1 resistor de 560Ω



6.4. Procedimento Experimental

6.4.1. Parte I: Circuito em série

1. Monte o circuito mostrado na Figura 6.1. Use

$$R_1 = R_3 = 1k\Omega$$

$$R_2 = R_5 = 4,7k\Omega$$

$$R_4 = 560\Omega$$

2. Ligue a fonte e regule a tensão (V_F) para 5 Volts.
3. Meça todas as voltagens e correntes no circuito e preencha a Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Dados medidos e calculados.

	Voltagem (V)	Corrente (mA)	Resistência (ω)
V_1, I_1			
V_2, I_2			
V_3, I_3			
V_4, I_4			
V_F, I_F			

Q1: Verifique a regra das malhas para as malhas do circuito usando as Equações 6.1 e 6.2.

Q2: Verifique a regra dos nós para os nós do circuito usando as Equações 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6.

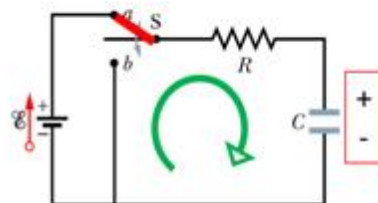
Q3: Calcule o erro percentual comparando os valores medidos e calculados. Explique as possíveis fontes para a diferença de valor observada (caso haja).

Q4: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

7.1. Introdução

Circuitos RC: Carregando um Capacitor

- Circuito RC: corrente varia com o tempo! (q(t))!
- Para carregar o capacitor, ligamos "a".
- Regra das malhas: $\varepsilon - iR - \frac{q}{C} = 0$



• Mas $i = \frac{dq}{dt}$

- Substituindo e rearranjando: $R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \varepsilon$ **Eq. de carga** Eq. diferencial: qual a função q(t) ?

- Condições de contorno: $q(t=0) = 0; \quad i(t=0) = \frac{\varepsilon}{R}; \quad q(\text{max}) = C\varepsilon; \quad i = 0;$

• Logo: $\frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q}{RC} \quad \frac{dq}{dt} = \frac{C\varepsilon}{RC} - \frac{q}{RC} = -\frac{q - C\varepsilon}{RC} \quad \frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC} dt$

• Integrando: $\int_0^q \frac{dq}{q - C\varepsilon} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt \quad \ln\left(\frac{q - C\varepsilon}{-C\varepsilon}\right) = -\frac{t}{RC} \quad \frac{q - C\varepsilon}{-C\varepsilon} = e^{-\frac{t}{RC}}$

Circuitos RC: carregando um capacitor

$$q(t) = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC})$$

Capacitor carregando

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC}$$

- $q(t)$ pode ser obtido experimentalmente medindo-se a ddp no capacitor V_C :

$$V_C(t) = \frac{q(t)}{C} = \varepsilon(1 - e^{-t/RC})$$

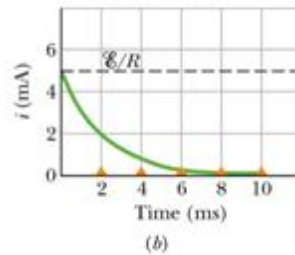
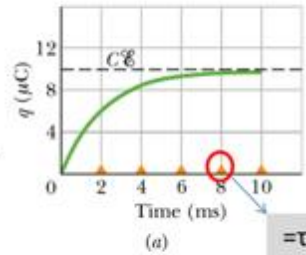
- $i(t)$ pode ser obtido experimentalmente medindo-se a ddp no resistor V_R :

$$V_R(t) = i(t)R = \varepsilon e^{-t/RC}$$

- $t = 0$: $q = 0$, $V_C = 0$, $i = \varepsilon/R$;
- $t \rightarrow \infty$: $q = C\varepsilon$, $V_C = \varepsilon$, $i = 0$;

$RC \equiv \tau$ Constante de tempo capacitiva

- $t = RC$: $q = C\varepsilon(1 - e^{-1}) = 0.63C\varepsilon$; $i = \varepsilon/Re^{-1} = 0.37 \varepsilon/R$



Circuitos RC: descarregando um capacitor

- Circuito RC: corrente varia com o tempo! ($q(t)$)!
- Para DESCARREGAR o capacitor, ligamos "b".
- Regra das malhas:

$$-\frac{q}{C} - iR = 0$$

- Logo:

$$-R \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} \quad \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} dt$$

- Condições de contorno:

$$q(t = 0) = q_0$$

- Logo:

$$\int_{q_0}^q \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt \quad \ln\left(\frac{q}{q_0}\right) = -\frac{t}{RC} \quad \frac{q}{q_0} = e^{-\frac{t}{RC}}$$

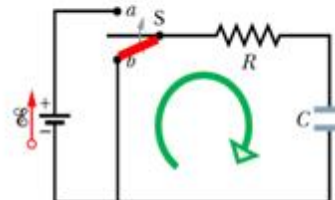
- Portanto:

$$q(t) = q_0 e^{-t/RC}$$

Capacitor descarregando

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{q_0}{RC} e^{-t/RC}$$

- $t = 0$: $q = q_0 = CV_0$, $i = q_0/RC$;
- $t \rightarrow \infty$: $q = 0$, $i = 0$;



7.2. Objetivos

7.2.1. Objetivo Geral

Analisar o comportamento de um circuito RC.

7.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar como se comportam os capacitores em circuitos RC.
 - Estudar a maneira pela qual os capacitores se combinam.
-

7.3. Materiais

- Protoboard 
 - Fonte de tensão Pasco DC (PI 9880) 
 - Multímetro digital SE-9786A 
 - Cronometro ou temporizador com resolução de 0,1 seg
 - Resistores de $10\text{ k}\Omega$ e 22Ω 
 - Capacitores de $10\ \mu\text{F}$, $100\ \mu\text{F}$ e $330\ \mu\text{F}$ 
-

7.4. Procedimento Experimental

Antes de começar: Selecione os capacitores e resistores que serão necessários para o experimento. Use o código de cores no Apêndice B para identificar os resistores.

1. Monte o circuito mostrado na Figura 7.1, usando um resistor de $10\text{ k}\Omega$ e um capacitor de $330\ \mu\text{F}$. Note que o capacitor possui uma polaridade. O polo negativo é indicado por flechas. O lado positivo geralmente é o que possui um estrangulamento. Ao montar o circuito conecte o lado negativo do capacitor ao negativo da fonte.

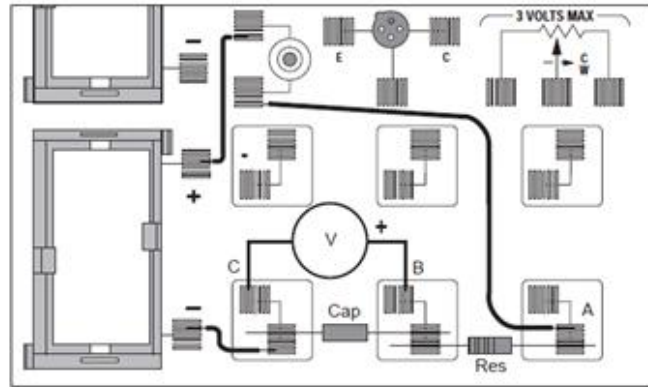


Figura 7.1: Esquema de montagem do circuito.

2. Conecte o Multímetro Digital de modo que o polo negativo (preto) fique ligado ao lado negativo do capacitor. Configure o multímetro para uma leitura máxima de 2 V DC. Caso o multímetro acuse alguma leitura, isso significa que há carga no capacitor. Será necessário descarregá-lo! Para isso ligue o capacitor em série com o resistor. Você pode usar um pedaço de fio para fazer isso (Conecte as extremidades do fio aos pontos A e C mostrados na Figura 7.1 para descarregar o capacitor). Agora a leitura no multímetro deverá ser zero.
3. O circuito não será alimentado por uma pilha. Usaremos a fonte DC PI-9880. Conecte o fio vermelho da fonte ao lado “+” do suporte para pilha e o fio preto ao lado “-“. **NÃO LIGUE A FONTE SEM ANTES CHAMAR O PROFESSOR PARA VERIFICAR O CIRCUITO.** A fonte deverá então ser ligada e configurada para 2.00 V DC.
4. Agora feche o interruptor, empurrando e segurando o botão vermelho pressionado. Observe a leitura de voltagem no Multímetro, que indica a voltagem sobre o capacitor.

Q1: Descreva FÍSICAMENTE a maneira pela qual ocorreu o processo de carregamento do capacitor. Utilize um diagrama (desenho) para auxiliar na sua explicação.
5. Agora solte o botão do interruptor. O capacitor deve permanecer com a voltagem aproximadamente constante com uma queda muito lenta ao longo do tempo.

Q2: Explique porque o capacitor descarrega, mesmo não estando ligado em curto ao resistor.
6. Ligue um fio entre os pontos A e C no circuito, permitindo que a carga seja drenada através do resistor. Observe as leituras de voltagem no multímetro conforme a carga flui.

Q3: Como descrever a maneira pela qual a tensão diminui neste caso? Qual a diferença deste caso para o anterior (Q2)?
7. Repita os passos 4 a 6 até que você sinta segurança no processo de carregar e descarregar um capacitor através de uma resistência.

8. Agora repita os passos 4 a 6, desta vez anotando o tempo necessário para carregar o capacitor " t_c ", e o tempo gasto para descarregar o capacitor " t_d ". Anote os tempos na Tabela 7.1. Sugestão: Peça para um membro da equipe cronometrar o tempo enquanto você segura o botão vermelho.
9. Caso a leitura do multímetro não diminua até zero no processo de descarga, observe o menor valor atingido e considere este valor como nulo. Repita o procedimento e meça o tempo necessário para a voltagem atingir este valor.
10. Caso a leitura do multímetro não aumente até 2,00 V no processo de carregamento, observe o maior valor atingido de tensão e considere este valor como máximo. Repita o procedimento e meça tempo necessário para a voltagem atingir este valor.

Tabela 7.1: Tempos de carga e descarga.

d	Resistência	Capacitância	t_c (s)	t_d (s)
1	10 k Ω	330 μ F		
2	10 k Ω	100 μ F		
3	10 k Ω	10 μ F		
4	22 k Ω	330 μ F		
5	22 k Ω	100 μ F		
6	22 k Ω	10 μ F		

11. Desligue a fonte de tensão. Substitua o capacitor de 330 μ F por um capacitor de 100 μ F. OBSERVE A POLARIDADE DO CAPACITOR. CHAME O PROFESSOR ANTES DE LIGAR A FONTE DE TENSÃO NOVAMENTE. A fonte deverá então ser ligada e configurada para 2.00 V CC. Repita o passo 8, e anote o tempo necessário para carregar e descarregar o capacitor Tabela 7.1.
12. Repita o procedimento 9 e 8 até preencher a Tabela 7.1.
Q4: Qual é o efeito sobre a carga e descarga, se o valor de capacitância é aumentado? Que relação matemática existe entre o tempo e a capacitância?
Q5: Qual é o efeito sobre a carga e descarga se o valor da resistência do circuito é aumentado? Que relação matemática existe entre o tempo e a resistência?
13. Monte um novo circuito. Volte ao resistor original 10 k Ω , mas o use o capacitor de 100 μ F em série com o capacitor de 330 μ F. Repita o passo 8, anote os resultados na Tabela 7.2.
14. Agora repita o passo 8, mas com o capacitores de 100 μ F e 330 μ F em paralelo. Anote os resultados na Tabela 7.2.

Tabela 7.2: Tempos de carga e descarga.

Tipo de circuito	t_c (s)	t_d
Serie		
Paralelo		

Q6: Com base nos resultados da Tabela 7.2, a capacitância da associação em série é maior, ou menor do que a capacitância da associação em paralelo?

Q7: Deduza as equações para o cálculo da capacitância equivalente em circuitos em série e paralelo. Apresente as deduções e equações.

Q8: Calcule (mostre os cálculos) a capacitância equivalente da associação em série e em paralelo. O resultado está de acordo com a resposta dada na questão 6.

Q9: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

8.1. Introdução

Uma das características dos materiais condutores é a sua resistência. Determina-se a resistência de um condutor, aplicando-se uma diferença de potencial V entre dois pontos e mede-se a corrente i resultante. Desse modo, a resistência de um condutor é definida como:

$$R = \frac{V}{i} \quad (8.1)$$

Existe uma propriedade que é intrínseca de cada material, chamada resistividade. Há uma diferença entre a resistividade e a resistência. Enquanto a resistência se refere ao objeto ou dispositivo, a resistividade se refere ao material. A resistividade não é relacionada a i e V como a resistência, mas sim com o campo E , e a densidade de corrente J . Assim, a resistividade é definida como:

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (8.2)$$

É importante ressaltar que a habilidade para a corrente fluir em um material não depende apenas do material, mas também da conexão elétrica dele.

Ao conhecer a resistividade de um material, é possível calcular a resistência de um fio, de comprimento e diâmetro conhecidos, feito daquele material. Supondo que as linhas de corrente, que representam a densidade de corrente forem uniformes por todo o fio, o campo elétrico e a densidade de corrente serão constantes em todos os pontos dentro do fio e terão os valores:

$$E = \frac{V}{l} \quad J = \frac{i}{A}$$

Logo, a resistividade pode ser escrita como:

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V/l}{i/A} = \frac{RA}{l} \quad (8.3)$$

A resistência a partir da resistividade pode ser definida como:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (8.4)$$

A resistividade de um material varia com a temperatura. Quanto maior a agitação térmica, mais difícil será criar um fluxo ordenado de eletricidade. O efeito da temperatura na resistividade é definido através da seguinte equação:

$$\rho - \rho_0 = \rho_0 \alpha (T - T_0) \quad (8.5)$$

Onde T_0 é uma temperatura de referência, ρ_0 é a resistividade a T_0 , e α é o coeficiente de temperatura da resistividade.

8.2. Objetivos

8.2.1. Objetivo Geral

Familiarizar-se com o conceito de resistividade e sua relação com resistência.

8.2.2. Objetivos Específicos

- Usar um multímetro para medir a corrente e a tensão em diferentes comprimentos de hastes metálicas.
- Determinar a relação entre resistência e o comprimento de diferentes hastes metálicas.
- Determinar a relação entre resistência e o diâmetro de hastes metálicas feitas de um mesmo material.
- Calcular a resistividade do latão com base em dados obtidos experimentalmente.

8.3. Materiais

- Aparato para medida de resistência Pasco (EM-8812)



- 2 multímetros digitais (SE-9786A)





- Fonte de tensão Pasco DC (SE-8828)

8.4. Procedimento Experimental

8.4.1. Parte I: Resistência versus comprimento ($R \times l$)

1. Selecione a haste de aço cujo diâmetro é de 0.10 cm.
2. Instale a haste no aparato de resistividade.
3. Conecte o multímetro nas referências (+) e (-) das ponteiros deslizantes, de modo que a tensão possa ser medida.
4. Posicione a ponteira de referência (-) na marca 0 cm e a ponteira deslizante (+) na marca 1 cm.
5. Conecte a fonte ao aparato de resistividade de modo que a corrente possa ser medida pelo amperímetro, ou seja, o amperímetro deve estar ligado em série com a fonte e o aparato de resistividade. **NÃO LIGUE A FONTE SEM A AUTORIZAÇÃO DO PROFESSOR!**
6. Com o auxílio do Professor regule a fonte para uma corrente de 0,90 A.
7. Meça V e i para $l=1$ cm, 2 cm, ..., 23 cm e 24 cm. De 1 a 24 cm de 1 em 1 cm. Preencha a Tabela 8.1.

Q1: Faça um gráfico de $R \times l$. A relação é linear? O melhor ajuste de curvas passa (aproximadamente) pela origem? O que esse resultado sugere sobre a relação entre R e l ?

8.4.2. Parte II: Resistência versus diâmetro ($R \times d$)

1. Selecione as hastes de latão com diâmetros de 0,13 cm, 0,10 cm, 0,081 cm e 0,051 cm.
2. Instale a haste mais grossa no aparato de resistividade.
3. Fixe a ponteira deslizante (+) na marca 24 cm.
4. Meça V e i para $d=0,13$ cm, 0,10 cm, 0,081 cm e 0,051 cm. Preencha a Tabela 8.2.

Q2: Faça um gráfico de $R \times d$. A relação é linear? Ou do tipo $1/d$? Ou $1/d^2$? Qual o melhor ajuste? O que esse resultado sugere sobre a relação entre R e d ?

Tabela 8.1: Dados medidos e calculados.

Comprimento l (cm)	Corrente (A)	Tensão (mV)	Resistência R

Tabela 8.2: Dados medidos e calculados.

d (cm)	Corrente (A)	Tensão (mV)	Resistência R
0,13			
0,10			
0,081			
0,051			

8.4.3. Parte III: Resistividade do latão

1. Calcule a área A para cada uma das hastes de latão com diâmetros de 0,13 cm, 0,10 cm, 0,081 cm e 0,051 cm.

Q3: Use as Equações 1 e 3 e os valores de R e l da parte II para calcular a resistividade de cada haste de latão. Os valores são parecidos? Como o valor teórico se compara com valor experimental?

Q4: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

9.1. Introdução

Um termistor é um componente que possui uma resistência elétrica que varia com a temperatura. Existem dois tipos de termistores: os cuja resistência aumenta com a temperatura (Positive Temperature Coefficient – PTC) e os cuja resistência diminui com o aumento da temperatura (Negative Temperature Coefficient – NTC). A Figura 9.1 mostra um gráfico da variação da resistência elétrica de metais (cobre) e semicondutores com a temperatura.

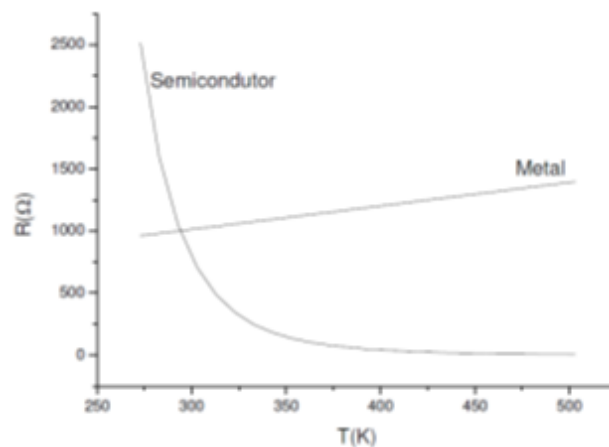


Figura 9.1: Variação da resistência elétrica com a temperatura em metais e semicondutores.

Para metais a variação da resistência com a temperatura é dada por:

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (9.1)$$

Para semicondutores a variação da resistência com a temperatura é dada por:

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (9.2)$$

onde:

α é o coeficiente de variação térmica da resistência (para o cobre $1,89 \times 10^{-3} K^{-1}$);

R é a resistência à temperatura T;

R_0 resistência à temperatura T_0 (normalmente temperatura ambiente);

β é a constante característica do material semicondutor, normalmente varia entre 3.000 e 4.500 K.

9.2. Objetivos

9.2.1. Objetivo Geral

Familiarizar-se com o dispositivo conhecido como termistor (termômetro que usa medidas de resistência elétrica de um material semicondutor).

9.2.2. Objetivos Específicos

Analisar a variação da resistência elétrica do termistor em função da temperatura.

9.3. Materiais

- Chapa aquecedora Pasco SE-8830



- Multímetro digital SE-9786A com termopar



- Xícara metálica



- Termistor 10 k Ω



- Água

9.4. Procedimento Experimental

1. Monte o aparato experimental mostrado na Figura 9.2.
2. Coloque a xícara metálica em repouso sobre uma chapa aquecedora.

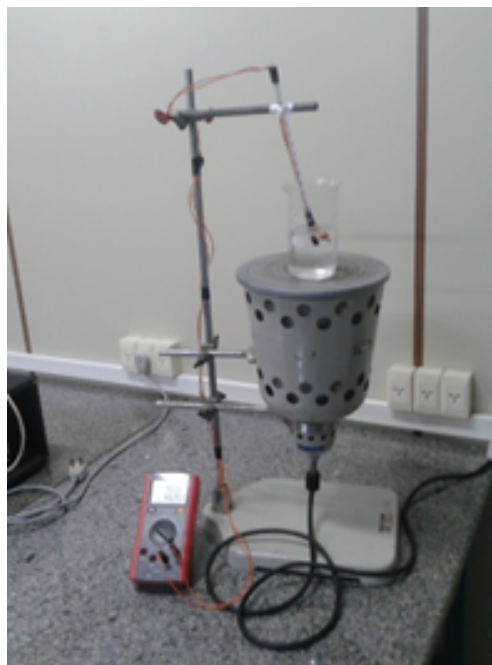


Figura 9.2: Arranjo experimental para análise de um termistor.

3. Coloque dentro da xícara o termopar e o termistor. Usando um pedaço de fio una a ponta do termopar ao termistor, de modo que eles fiquem presos lado a lado. O par termopar-termistor deve estar a uma altura de aproximadamente 1 cm do fundo da xícara.
4. Coloque água na xícara o suficiente para cobrir o par termopar-termistor.
5. Note que o termistor está ligado a dois fios. Conecte as outras extremidades dos fios ao multímetro digital, na área para medição de resistência (Ω)
6. Conecte o plugue do termopar a um segundo multímetro. Note que a polaridade do plugue deve ser respeitada. Caso a polaridade esteja errada o termopar não irá funcionar corretamente.
7. Ligue o multímetro escolhendo a escala adequada para medir a resistência elétrica do termistor (Ω)
8. Espere algum tempo (cerca de 1 minuto) até que o sistema termistor/termopar + água entre em equilíbrio térmico. Leia então a temperatura no multímetro e o valor correspondente da resistência elétrica do termistor. Anote estes valores na Tabela 9.1. Não esqueça de anotar os respectivos erros do termômetro e do multímetro.

9. CHAME O PROFESSOR PARA VERIFICAR SE A MONTAGEM EXPERIMENTAL ESTÁ CORRETA. A chapa aquecedora deverá então ser ligada na escala “6” para aquecer o sistema termistor/termopar + água.
10. À medida que a água se aquece, leia simultaneamente a temperatura no termopar e a resistência elétrica do *termistor*. Faça medidas a intervalos de $1^{\circ}C$, desde a temperatura ambiente até $70^{\circ}C$. Anote os valores na Tabela 9.1.

Q1: Cite aplicações de termistores.

Q2: Quais são os principais materiais usados na fabricação de termistores?

Q3: Construa o gráfico de R x T(K) usando um software. Qual função que melhor ajusta a curva?

Q4: Partindo da Equação 11.2, mostre que:

$$\ln \frac{R}{R_0} = \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (9.3)$$

Q5: Com base na Equação 9.3 faça um gráfico e determine o valor de β . Compare com o valor esperado.

Q6: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

10.1. Introdução

Quando uma corrente elétrica flui através de um fio, um campo magnético é produzido em torno do fio. A intensidade e direção do campo dependem do formato do fio e a direção e intensidade da corrente através do fio. Se o fio é enrolado no formato de uma espira, o campo magnético próximo ao centro da espira é perpendicular ao plano da espira. Quando o fio é enrolado várias vezes para formar uma bobina, o campo magnético no centro aumenta várias vezes. O campo na bobina é relacionado à corrente através da equação

$$B = \frac{\mu IN}{L} \cos\alpha \quad (10.1)$$

Onde:

μ é a constante de permeabilidade magnética no interior da bobina;

I é a corrente;

N o número de voltas na bobina;

L o comprimento da bobina e

$\cos\alpha$ é um fator de correção do campo, introduzido pelo fato de o comprimento da bobina ser finito.

A permeabilidade magnética para o ar é $\mu_{ar} \cong \mu_{vacuo} = 1,26 \times 10^{-6} Tm/A$.

Nesta experiência você analisará como o campo magnético é relacionado ao número de voltas em uma bobina e a corrente através dela. Um sensor de campo magnético será usado para detectar o campo no centro da bobina. O sensor irá também detectar o campo magnético da Terra e qualquer campo local devido a correntes e alguns metais na vizinhança do sensor.

10.2. Objetivos

10.2.1. Objetivo Geral

Familiarizar-se com o conceito de que correntes elétricas geram campo magnético.

10.2.2. Objetivos Específicos

- Usar um sensor de campo magnético para medir o campo magnético no centro de uma bobina.
 - Determinar a relação entre campo magnético e o número de voltas em uma bobina.
 - Determinar a relação entre campo magnético e a corrente em uma bobina.
-

10.3. Materiais

- Bobina (200 voltas) Pasco (SF-8609)
- Bobina (400 voltas) Pasco (SF-8610)
- Bobina (800 voltas) Pasco (SF-8611)
- Bobina (1600 voltas) Pasco (SF-8612)
- Bobina (3200 voltas) Pasco (SF-8613)
- Multímetro digital Pasco (SE-9786A)
- Sensor de campo magnético Pasco (PS-2162)
- Fonte de tensão Pasco DC (PI 9880)
- Computador com software Pasco



10.4. Procedimento Experimental

10.4.1. Parte I: Campo magnético em função da corrente

Nesta primeira parte do experimento você determinará a relação entre o campo magnético no centro de uma bobina e a corrente através da bobina. Use a bobina com 200 voltas. Mantenha a corrente nula através da bobina, exceto quando realizando medidas.

1. Conecte o sensor de campo magnético ao computador.
2. Abra o software da Pasco e certifique-se de que o sensor foi reconhecido pelo programa. Salve o novo arquivo no desktop.
3. Clique na opção “Tabela e gráfico” como mostra a Figura 10.1.

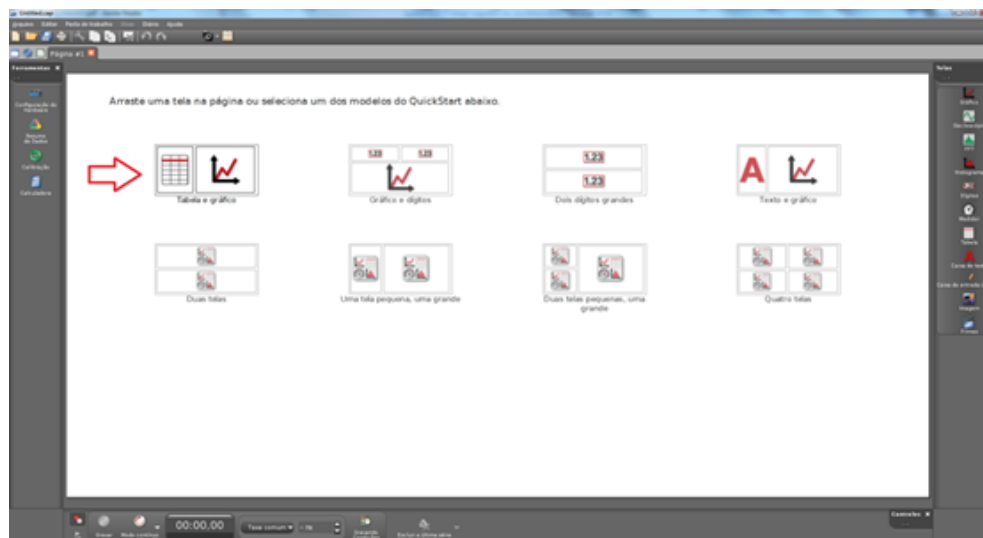


Figura 10.1: Tela de abertura do software Pasco.

4. Configure a Tabela e o Gráfico na página do software Pasco conforme a Figura 10.2.
5. Posicione a ponta do sensor de campo na horizontal, próximo ao centro da bobina de 200 voltas, conforme Figura 10.3. Note que o sensor deverá ser introduzido na bobina até alcançar a metade da bobina.
6. Ligue a fonte de tensão na bobina usando um cabo vermelho e um preto.
7. Vamos zerar o sensor quando não há corrente fluindo na bobina; Ou seja, iremos remover o efeito do campo magnético da Terra e qualquer campo nas proximidades. Com a fonte desligada e o sensor em posição click no botão “tare” sobre o sensor de campo magnético. **ATENÇÃO:** Cada bobina do conjunto de bobinas pode suportar uma corrente limite! Quanto menor o diâmetro do fio nas bobinas, **MAIOR** o número de voltas na bobina e **MENOR** à máxima corrente suportada. Observe a Tabela 10.1. **NUNCA EXCEDA AS**

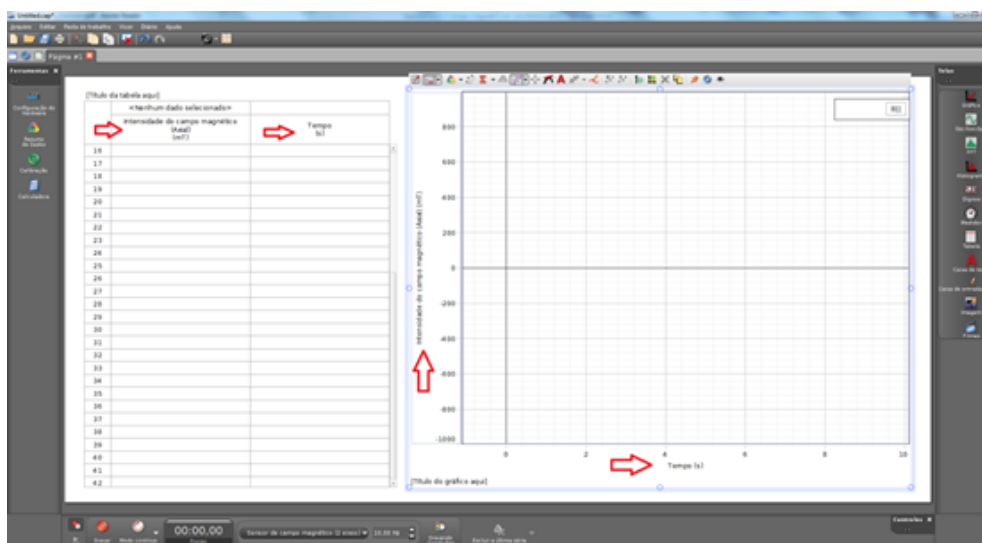


Figura 10.2: Configuração das colunas da Tabela e dos eixos do gráfico no software Pasco.





Figura 10.3: Posicionamento do sensor na bobina.

CORRENTES ESPECIFICADAS NO ROTEIRO! A BOBINA SERÁ DANIFICADA!
Na dúvida, chame o Professor.

Tabela 10.1: Corrente máxima suportada por cada bobina.

Número de voltas	Corrente Máxima (A)
200	2
400	1
800	0,5
1600	0,25
3200	0,125

- Com o sensor em posição, dirija sua atenção para a página do software Pasco. Clique no botão gravar para iniciar a coleta de dados. Ligue a fonte de tensão em 0.8 A. Desligue a fonte após 15 segundos. Caso o valor do campo magnético observado seja negativo, inverta o fio vermelho e preto ligados na bobina e repita o procedimento.
- Observe o gráfico do campo magnético em função do tempo e determine quando a corrente desejada estava fluindo no fio. Selecione esta região do gráfico clicando em . Determine o

campo médio clicando na função estatística . Anote o valor médio do campo magnético na Tabela 10.2.

10. Diminua a corrente em 0.1 A e repita os passos 8 e 9. Anote o campo na Tabela 10.2.
11. Repita o passo 10 até chegar a uma corrente de 0.1 A. Preencha a Tabela 2.

Tabela 10.2: Campo magnético na bobina de 200 voltas em função da corrente.

Corrente na bobina (A)	Campo magnético B (mT)
0.8	
0.7	
0.6	
0.5	
0.4	
0.3	
0.2	
0.1	

Q1: Faça um gráfico do campo magnético em função da corrente na bobina.

Q2: Qual a relação entre a corrente na bobina e o campo magnético resultante no seu centro?

Q3: Determine a equação que melhor descreve os dados do gráfico (faça um fitting linear). Configure o gráfico para que ele intercepte o ponto (0,0). Imprima o gráfico mostrando o fitting e a equação. Anexe ao relatório.

Q4: Calcule o valor teórico do coeficiente angular da reta no gráfico. Considere $\cos\alpha = 1$.

Q5: Como o valor teórico se compara com valor experimental? Explique sua observação.

10.4.2. Parte II: Campo em função do número de voltas na bobina

Na segunda parte do experimento você determinará a relação entre campo magnético no centro da bobina e o número de voltas na bobina. O sensor de campo magnético deverá ser posicionado como antes. Uma corrente de 0.1 A será usada durante toda esta parte do experimento. Deixe a fonte ligada somente enquanto estiver realizando medidas. Iniciaremos o experimento com uma bobina de 200 voltas.

12. Repita os passos 7-9. Anote o valor do campo magnético para a bobina de 200 voltas na Tabela 10.3.
13. Substitua a bobina de 200 voltas pela de 400 voltas. Certifique-se de que o sensor está no centro da bobina. Repita os passos 8-9 e anote o valor do campo magnético da bobina de 400 voltas na Tabela 10.3. Certifique-se de que a corrente na bobina é de 0.1 A.

Tabela 10.3: Campo magnético em função do número de voltas nas bobinas.

Número de voltas	Campo magnético B (mT)
200	
400	
800	
1600	
3200	

14. Repita o passo 13 para as bobinas de 800, 1600 e 3200 voltas. Termine de preencher a Tabela 10.3.

Q6: Faça um gráfico do campo magnético em função do número de voltas na bobina.

Q7: Qual a relação entre o campo magnético e o número de voltas da bobina?

Q8: Determine a equação que melhor descreve os dados do gráfico. Explique a importância das constantes em sua equação. Quais são as unidades para as constantes? Imprima o gráfico mostrando o fitting e a equação. Anexe ao relatório.

Q9: Calcule o valor teórico do coeficiente angular da reta no gráfico.

Q10: Como o valor teórico se compara com valor experimental?

Q11: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

11.1. Introdução

O transformador é um dispositivo elétrico que permite modificar a amplitude de tensões e correntes. O funcionamento do transformador pode ser compreendido com base na lei da indução de Faraday e, portanto, ele não funciona com corrente contínua.

O transformador ideal é formado por duas bobinas, uma chamada de primário e outra de secundário, com diferentes números de espiras, enroladas em um mesmo núcleo de ferro (Figura 11.1). Por se tratar de um transformador ideal, a resistência dos enrolamentos do primário e do secundário é considerada desprezível.

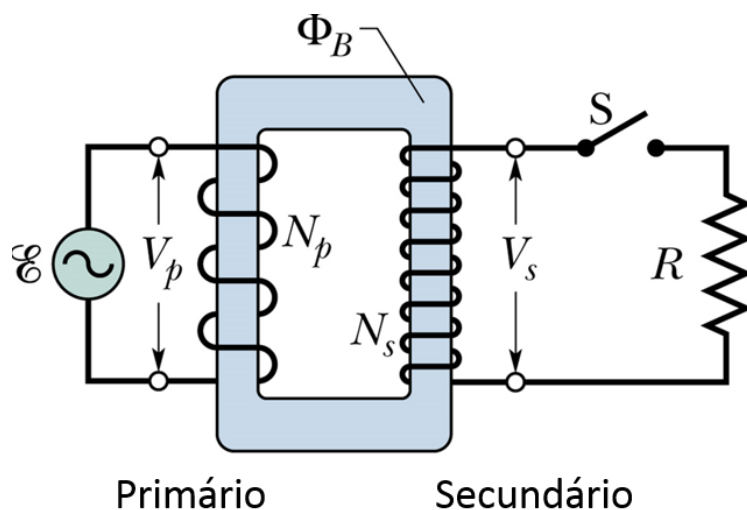


Figura 11.1: Elementos de um transformador.

O enrolamento primário, com N_p espiras, está ligado a um gerador de corrente alternada. Assim, a corrente alternada do primário produz um fluxo magnético alternado no núcleo de ferro. A função do núcleo é reforçar o fluxo e transferi-lo, praticamente sem perdas, para o

enrolamento secundário do transformador, com N_s espiras. Como o fluxo de campo magnético varia com o tempo, este induz uma força eletromotriz em cada espira do secundário. Dessa forma, a tensão no primário é dada por $V_p = \epsilon_{espira} N_p$ e a tensão no secundário é igual a $V_s = \epsilon_{espira} N_s$. Pode-se igualar as duas expressões das tensões no primário e no secundário e encontrar a seguinte equação:

$$\epsilon_{espira} = \frac{V_p}{N_p} = \frac{V_s}{N_s} \quad (11.1)$$

A partir da Equação 12.1 é possível relacionar as tensões geradas no primário e no secundário através do número de espiras do primário e do secundário. Logo, tem-se que:

$$V_s = V_p \frac{N_s}{N_p} \quad (11.2)$$

Ao analisar a Equação 11.2 da transformação de tensão, chega-se as seguintes conclusões:

Se $N_s > N_p$, o transformador é chamado de transformador elevador de tensão, já que a tensão V_s no secundário é maior que a tensão V_p no primário. Já se $N_s < N_p$, o transformador recebe o nome de transformador abaixador de tensão, pois a tensão V_s no secundário será menor que a tensão V_p no primário.

11.2. Objetivos

11.2.1. Objetivo Geral

Estudar as propriedades de transformadores.

11.2.2. Objetivos Específicos

- Analisar como um transformador pode elevar ou diminuir a tensão de entrada.
- Investigar a relação entre o número de voltas do primário e do secundário com a tensão de entrada e saída.

11.3. Materiais

- Kit de bobinas Pasco SF-8616



- Fonte CA de 12 V (Transformador de 220/12V)



- 2 multímetros digitais SE-9786A



11.4. Procedimento Experimental

11.4.1. Parte I: Princípios básicos do transformador e importância do núcleo

1. Selecione duas bobinas de 400 voltas cada.
2. Conecte uma bobina na fonte de 12 V e a outra em um multímetro como mostra a Figura 11.2. Note que o multímetro deve estar programado para medir tensão CA. A bobina da esquerda será chamada de primário e a da direita de secundário do transformador.

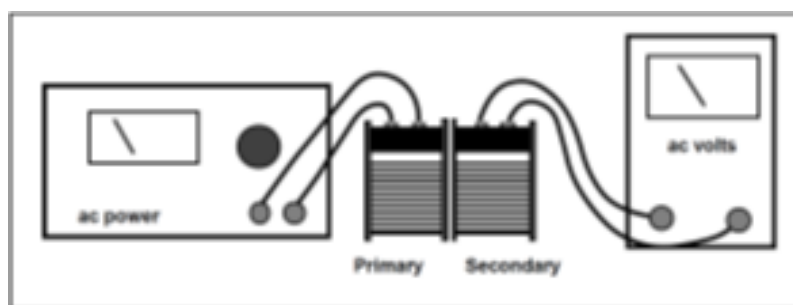


Figura 11.2: Esquema de montagem das bobinas.

3. Meça a tensão no secundário (V_s) e anote o valor obtido na Tabela 11.1. **DESLIGUE A FONTE!**
4. Chame o Prof. Para revisar o circuito. **NÃO LIGUE A FONTE SEM A AUTORIZAÇÃO DO PROFESSOR!** Ligue a fonte, e usando outro multímetro meça a tensão fornecida por ela. Anote o valor medido na Tabela 11.1. Este será o valor da tensão no primário (V_p).
5. Meça a tensão no secundário (V_s) e anote o valor obtido na Tabela 11.1. **DESLIGUE A FONTE!**
6. Encaixe o primário e o secundário no núcleo em U do transformador como mostra a Figura 11.3. Meça os valores de V_p e V_s e anote na Tabela 11.1. **DESLIGUE A FONTE!**
7. Repita o passo 6 colocando a parte superior no núcleo em U do transformador como mostra a Figura 11.3. **DESLIGUE A FONTE!**

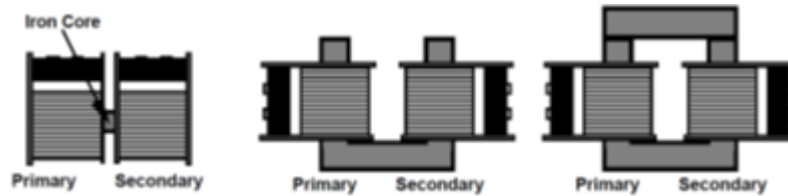


Figura 11.3: Encaixe do núcleo de ferro.

Q1: Usando a Equação 2 mostre que para um transformador ideal com número igual de voltas no primário e no secundário a tensão de saída deve ser igual a de entrada.

Q2: Qual configuração testada fornece a melhor tensão de saída em relação a tensão de entrada?

Q3: Qual a função do núcleo de ferro no transformador? Por que o núcleo de ferro é laminado?

Q4: Como você explica a diferença entre V_p e V_s na última configuração testada?

8. Meça a tensão fornecida pela fonte quando ela não está ligada a nenhuma bobina. Ligue a fonte na bobina de 400 voltas e meça novamente a tensão.

Q5: O que você observou? Explique o que aconteceu.

Q6: Explique como funciona um transformador com base na Lei da Indução de Faraday.

Tabela 11.1: Dados obtidos e calculados.

Número de voltas		Tensão medida (V)		Configuração
Primário	Secundário	Primário (V_p)	Secundário (V_s)	
				Lado a lado
				Lado a lado com núcleo
				Núcleo em U sem parte superior
				Núcleo em U com parte superior

11.4.2. Parte II: Efeito do número de voltas no primário e no secundário

1. Usando a configuração com o núcleo em U fechado use diferentes combinações de primário e secundário e preencha a Tabela 11.2.

Q7: Usando a Equação 2 calcule o valor teórico de V_s e anote na Tabela 11.2.

Tabela 11.2: Dados obtidos e calculados

Número de voltas		Tensão medida (V)		Tensão Teórica (V)
Primário	Secundário	Primário (V_p)	Secundário (V_s)	Secundário
200	400			
200	800			
200	1600			
200	3200			
400	200			
800	200			
1600	200			
3200	200			

2. Compare os valores teóricos e experimentais.

Q8: O que você observou? Explique a diferença entre os valores teóricos e experimentais.

Q9: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

12.1. Introdução

Durante seus estudos de doutorado, Edwin Hall buscava entender qual a influência de um campo magnético externo sob um fio condutor. Ele queria entender se a força devido a este campo externo atuaria sobre os portadores de corrente elétrica ou sobre o fio como um todo. Hall acreditava que essa força magnética atuaria sobre os portadores de carga fazendo com que a corrente se deslocasse para uma determinada região do fio, e portanto, a resistência do fio iria aumentar. Apesar de não observar tal aumento na resistência do fio em seus experimentos, Hall sabia que de alguma forma a corrente elétrica era alterada sem que a resistência fosse modificada. Ele propôs a presença de um estado de stress em uma determinada região do condutor, devido ao acúmulo de portadores de carga, que originaria uma diferença de potencial transversal mais tarde conhecida como tensão de Hall. A Figura 12.1 representa o efeito [3].

Muitos sensores de efeito Hall atuam como uma chave liga/desliga. Quando eles "percebem" um campo magnético forte o suficiente eles ligam. Ao remover o campo magnético eles voltam a desligar. O sensor allegro A1302 funciona de forma diferente. Ele é alimentado com uma tensão de aproximadamente 5 volts e ele libera uma tensão que é relacionada ao campo magnético nas proximidades do sensor. Portanto, a voltagem saindo do sensor A1302 é diretamente proporcional ao campo magnético que ele mede.

O campo magnético (em Gauss) medido pelo sensor é dado por: [4]

$$B = 1000 \frac{V_0 - V_m}{k} \quad (12.1)$$

onde

V_0 é a voltagem de saída do sensor quando não há ímãs nas proximidades;

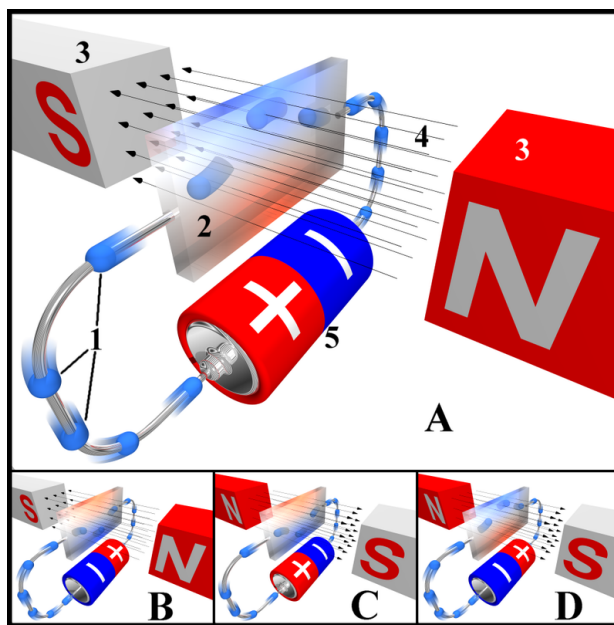


Figura 12.1: Diagrama do efeito Hall, mostrando o fluxo de elétrons. Legenda: 1. Elétrons (não a corrente convencional!) 2. O elemento Hall, ou sensor Hall 3. Ímãs 4. Campo magnético 5. Fonte de alimentação Descrição: Na figura A, o elemento Hall recebe uma carga negativa na extremidade superior (simbolizado pela cor azul) e uma positiva na extremidade inferior (cor vermelha). Em B e C, tanto a corrente elétrica ou o campo magnético são revertidos, causando a polarização reversa. Invertendo ambas corrente e campo magnético (figura D) faz com que o elemento Hall novamente assuma a carga negativa na extremidade superior.

k é a sensibilidade do sensor e vale $2,5mV/G$;

V_m é a voltagem de saída do sensor quando um ímã está próximo.

12.2. Objetivos

12.2.1. Objetivo Geral


Construir um dispositivo capaz de medir o campo magnético de ímãs e eletroímãs.

12.2.2. Objetivos Específicos

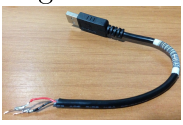
- Realizar medidas de tensão e relaciona-las ao campo magnético.
- Familiarizar-se com o efeito Hall.
- Praticar a montagem de circuitos avançados.

12.3. Materiais


- Protoboard 

- Fonte de tensão de celular CM 5 V 

- Multímetro digital SE-9786A 

- Cabo USB 

- Sensor efeito Hall Allegro A1302 

- 2 resistores de 330Ω , 1 de $47k\Omega$, 1 de $10k\Omega$ e 1 de $1k\Omega$ 

12.4. Procedimento Experimental

12.4.1. Medidor de campo magnético I

1. Usando o protoboard e jumpers monte o circuito da Figura 12.2.

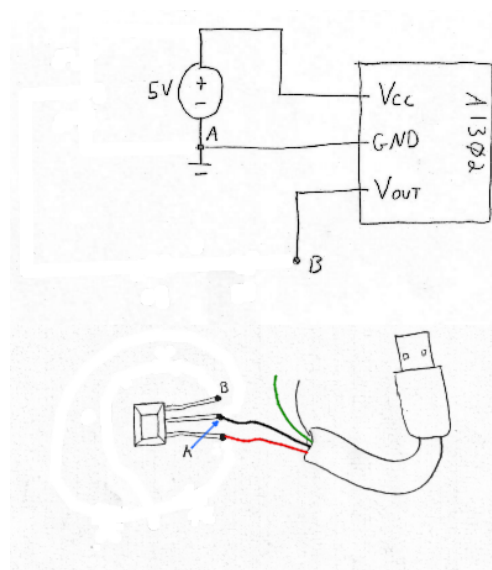


Figura 12.2: Esquema de montagem do circuito I.

2. Ligue o voltímetro nos pontos A e B do circuito. A leitura do voltímetro fornece a voltagem de saída do sensor. **Chame o Professor para verificar seu circuito antes de ligá-lo.**
3. Observe a leitura do multímetro quando não há nenhum imã nas proximidades. Este valor será chamado de V_0 . Anote ele na Tabela 12.1.
4. Aproxime um imã na face do sensor. Observe as variações de voltagem no multímetro. Se o polo sul do imã for aproximado a voltagem aumentará. Se o polo norte for aproximado a voltagem diminuirá.
5. Meça o valor da tensão de saída do sensor (V_m) quando o imã estiver há 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10mm de distância do sensor. Anote os valores na Tabela 12.1.
6. Calcule o campo magnético para cada posição usando a Equação 12.1 e anote o valor na Tabela 12.1.

Tabela 12.1: Dados coletados e calculados.

V_0	Parte I		Parte II	
d	V_m (V)	B(Gauss)	B(Gauss)	V_m
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

12.4.2. Medidor de campo magnético II

Usando alguns resistores é possível fazer com que a leitura do multímetro seja zero quando não há campo nas proximidades. Além disso, com a associação adequada de resistores a leitura no multímetro será proporcional ao campo.

1. Usando o protoboard e jumpers monte o circuito da Figura 12.3.
2. Ligue a fonte e observe a leitura do multímetro. A leitura de 1V equivalerá a 1000 Gauss. A medida de 0,5V equivalerá a 500 Gauss e assim por diante.
3. Repita o passo 5 da sessão 12.4.1 e anote os valores na Tabela 12.1.
4. Com base na proporcionalidade definida no passo 2 calcule o campo magnético para cada posição e preencha a Tabela 12.1.

Q1: Escreva um parágrafo resumindo suas investigações.

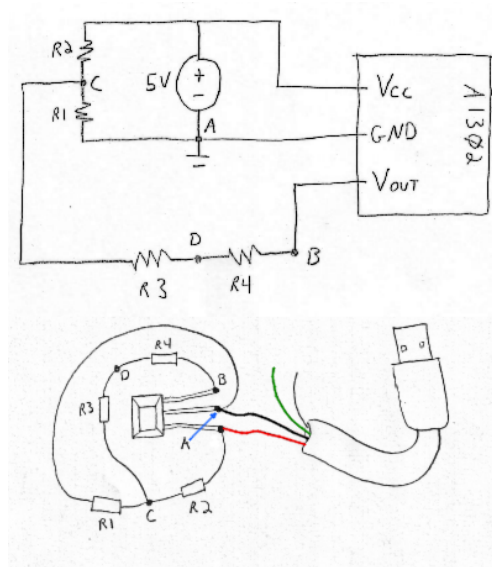


Figura 12.3: Esquema de montagem do circuito II.

APÊNDICE A

Modelo de Relatório

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – CAMPUS BLUMENAU

EXPERIÊNCIA 8 – PERMISSIVIDADE ELÉTRICA DO VÁCUO

Relatório de BLUG210 - Física Experimental III

Aluno 1 da Silva - Turma:03754A - aluno@email.com

Aluno 2 da Silva - Turma:03754A - aluno@email.com

Prof. Dr. Marcio R. Loos

Física II Laboratório

Blumenau

Agosto, 2016

1. Introdução e objetivo

Iniciar com uma introdução abrangendo a teoria relevante para a realização do experimento e discussão dos dados obtidos. O último parágrafo da introdução deverá enunciar o objetivo do experimento de forma clara. Esta seção deverá ter no máximo meia página.

2. Métodos experimentais

Descreva 1) os materiais/dispositivos usados para a realização do experimento e 2) como o experimento foi realizado. O *Procedimento Experimental* (descrito no roteiro) servirá como texto base para esta seção...

3. Resultados

Apresente os dados coletados durante a realização de medidas.

Tabela 1: Valores...

Tensão (V)	Corrente (mA)
$2,0 \pm 0,1$	$24,5 \pm 0,3$
$2,0 \pm 0,1$	$24,5 \pm 0,3$
$2,0 \pm 0,1$	$24,5 \pm 0,3$
$2,0 \pm 0,1$	$24,5 \pm 0,3$
$2,0 \pm 0,1$	$24,5 \pm 0,3$
$2,0 \pm 0,1$	$24,5 \pm 0,3$

Numere tabelas e figuras e cite os mesmos conforme necessário para tornar o relatório o mais claro possível.

4. Tratamento de dados e discussão

Responda as questões que aparecem no roteiro. Caso seja pedido para fazer algum gráfico faça ele usando algum software, imprima e cole no local adequado.

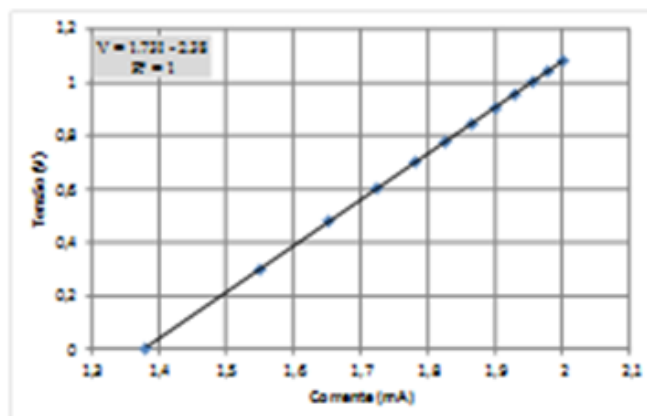


Figura 1: Gráfico da corrente

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Numere as referências consultadas para a confecção do relatório. Lembre-se de que as referências devem ser citadas no decorrer do texto.

1. HALLIDAY, D. e RESNICK, R. - Fundamentos da Física - Volume 3 - 4a Edição; Capítulo 27 (Corrente e Resistência); Livros Técnicos e Científicos Editora S.A - 1998.

APÊNDICE B

Código de cores para resistores

Cor	1º. Algarismo Significativo	2º. Algarismo Significativo	3º. Algarismo Significativo	Múltiplo	Tolerância
Preto		0	0	x 1	
Marrom	1	1	1	x 10	± 1%
Vermelho	2	2	2	x 10²	± 2%
Laranja	3	3	3	x 10³	
Amarelo	4	4	4	x 10⁴	
Verde	5	5	5	x 10⁵	
Azul	6	6	6	x 10⁶	
Violeta	7	7	7		
Cinza	8	8	8		
Branco	9	9	9		
Ouro				x 10⁻¹	± 5%
Prata				x 10⁻²	± 10%
Ausência					± 20%

REFERÊNCIAS

1. <https://www.youtube.com/watch?v=0ftywzrfjuy>.
2. <http://newtoncbraga.com.br/index.php/instrumentacao/108-artigos-diversos/1848-ins052>.
3. https://pt.wikipedia.org/wiki/efeito_hall.
4. <http://www.coolmagnetman.com/magmeter.htm>.