Física Experimental III (FIS-6581) 2017/02

Aluno: _____ Turma: _____ Prof: _____

1. Calendário e programação

	D	*S*	*T*	*Q*	*Q*	*S*	*S*	
Agosto				23	24	25	26	Reajuste de matrícula
	27	28	29	30	31	01	02	Apresentação e Revisão
	03	04	05	06	07	08	09	E1- Eletrostática I
Setembro	10	11	12	13	14	15	16	E2 - Gráficos e Resistividade
	17	18	19	20	21	22	23	E3 - Medidas Elétricas e Lei de Ohm - Lâmpada
	24	25	26	27	28	29	30	E4 - Medidas Elétricas e Lei de Ohm–Resistor de carbono
	01	02	03	04	05	06	07	E5 - Medidas Elétricas e Lei de Ohm – Diodo
	08	09	10	11	12	13	14	Reposição
Outubro	15	16	17	18	19	20	21	E6 - Carga e descarga de capacitores
	22	23	24	25	26	27	28	**Mostra de Física**
	29	30	31	01	02	03	04	E7 - Balança de corrente
	05	06	07	08	09	10	11	1ª Prova Parcial
Novembro	12	13	14	15	16	17	18	Feriado
	19	20	21	22	23	24	25	E8 - Experiência de Oersted e Medidas de campo magnético
	26	27	28	29	30	01	02	E9 - Indução e transformadores
	03	04	05	06	07	08	09	E10 -Osciloscópio: funcionamento e aplicações
Dezembro	10	11	12	13	14	15	16	E11 - Circuitos LC, RLC – ressonância
	17	18	19	20	21	22	23	E11 - Circuitos LC, RLC – ressonância
	24	25	26	27	28	29	30	2ª Prova parcial
	31	01	02	03	04	05	06	Prova Final
Janeiro	07	08	09	10				Entrega das pautas a PROGRAD

PROVAS PARCIAIS: no horário de aula.
Setembro: 07 - Independência do Brasil
Setembro: 08 - Dia de Vitória
Outubro: 12 - Nossa Senhora Aparecida
Outubro: 13 e 14 - Recesso Acadêmico
Outubro: 24 a 27 - Mostra de Física
Outubro: 28 - Dia do Servidor Público
Novembro: 02 - Finados
Novembro: 15 - Proclamação da República
Dezembro: 25 - Natal
Dezembro: 30 - Término do período letivo
Janeiro: 01 - Feriado – Confraternização Universal
Janeiro: 02 - Continuação do semestre letivo
Janeiro: 02 a 09 - Período de provas finais
Janeiro: 10 - Último dia para digitação das notas

2. Formação de grupos e cuidados em geral

Os trabalhos de laboratório serão realizados por grupos de 3 (três) alunos. A composição inicial de cada grupo será estabelecida livremente, mas não poderá alterar-se durante o período letivo.

Cada grupo ocupará sempre uma mesma bancada no laboratório. O grupo é responsável pela manutenção do equipamento em uso, zelando por sua integridade. Recomenda-se procurar refletir bastante antes de iniciar a montagem experimental, evitando-se a inutilização de equipamentos. Cada grupo dispõe de um conjunto de cabos de conexão, pontas de prova, etc., os quais devem ser conservados íntegros. Nunca desfaça ligações puxando pelo fio; puxe sempre pelo conector. Quando algum conector se soltar do fio, o grupo deve refazer o respectivo cabo; para tanto, há no laboratório um ferro de solda à disposição.

Recomenda-se, ainda, atenção especial ao se conectarem equipamentos à rede elétrica, pois no laboratório há tomadas de 127 V e 220 V. Os equipamentos, em geral, possuem uma chave na parte traseira, que permite comutar entre essas duas voltagens. Verifique sempre a posição dela e conecte o plugue do equipamento à tomada correta. Finalmente, não esquecer de desligar todos os aparelhos conectados à rede, após o término das medidas.

3. Avaliação

Em cada aula será realizada uma prática completa. Ao final da aula cada grupo deverá entregar ao professor uma cópia da folha de dados (3 pontos), devendo ser preparado um relatório a ser entregue na semana seguinte, ao qual será atribuída uma nota de 3 a 10. Os relatórios entregues com atraso terão suas notas reduzidas proporcionalmente ao tempo de atraso; em caso de mais de duas semanas de atraso o professor não deverá aceitar o relatório. Os relatórios recebidos pelo professor deverão ser corrigidos e entregues aos alunos no prazo máximo de uma semana. Este procedimento visa dar subsídios ao aluno sobre o seu desempenho na disciplina. **A primeira aula será uma revisão dos procedimentos de tratamentos de dados e a elaboração de gráficos, seguindo os moldes do roteiro de Física Experimental I, na terceira aula (E2).**

Recomenda-se fortemente que os **alunos leiam** com atenção **o roteiro** da prática **antes da aula** em que ela será realizada. Nos roteiros constam os objetivos, procedimentos e os principais tópicos envolvidos em cada prática. A bibliografia sugerida ao fim de cada roteiro contém os aspectos teóricos relacionados à experiência descrita, de modo que a consulta prévia a essas fontes bibliográficas é fundamental para o bom andamento da experiência. Fica a critério de cada professor a realização de um teste no início de cada aula com o objetivo de avaliar o conhecimento prévio do aluno sobre a experiência a ser realizada.

A nota final dos relatórios (**Mr**) será uma média aritmética de todos os relatórios das experiências. Haverá duas provas parciais para avaliar o desempenho individual do aluno. A média das

provas parciais será **Mp** = (**P1** +**P2**)/2. A média parcial do aluno será: **MP** = (0,3 **Mr** + 0,7 **Mp**). **P1** referente as experiências 1 a 6 e **P2** de 7 a 11.

Com **MP** ≥ 7,0 (sete) o aluno será dispensado da prova final (**Pf**). Caso contrário, o aluno deverá fazer a prova final e sua média final **Mf** será obtida de acordo com as regras em vigor para o seu curso. Será considerado aprovado, nesse caso, o aluno com **Mf** ≥ 5,0 (cinco).

As provas parciais constarão de questões práticas e escritas relacionadas aos aspectos básicos das experiências realizadas. As provas serão nos horários de aula.

4. Confecção de relatórios

A qualidade de qualquer trabalho experimental é medida principalmente pelo relatório apresentado. O propósito de um relatório pode ser assim resumido:

i) **descrever clara e precisamente o que foi feito**;

ii) **dar alguma idéia do porquê se realizou o experimento**;

iii) **informar os resultados alcançados**;

iv) **analisar esses resultados à luz dos princípios teóricos envolvidos e/ou de comparações com o que era esperado**.

Com esse propósito o relatório deve consistir dos seguintes itens:

1) **FOLHA DE ROSTO**: deve conter título da experiência, nomes dos componentes do grupo, identificação do grupo, data e nome do professor.
2) **OBJETIVOS**: descrição clara e sucinta do que se espera ver na experiência.
3) **ASPÉCTOS TEÓRICOS**: deve-se apresentar uma breve síntese da teoria envolvida nos experimentos, sem demonstrações desnecessárias de fórmulas, explicitando-se apenas as relações matemáticas envolvendo variáveis mensuráveis diretamente nos experimentos. NÃO REPETIR AS DEDUÇÕES DE FÓRMULAS QUE ESTÃO FEITAS EM LIVROS-TEXTOS OU NOS ROTEIROS DAS EXPERIÊNCIAS. EVENTUAIS DEDUÇÕES DEVEM SER FEITAS APENAS QUANDO SOLICITADAS. (1 ponto)
4) **ASPÉCTOS EXPERIMENTAIS**: uma descrição clara, concisa e completa de como foi conduzido o experimento. Normalmente fazem-se diagramas mostrando o arranjo experimental dos aparelhos utilizados, de forma a facilitar o entendimento de quem lê o relatório. OBSERVAR QUE, NESSA PARTE DO RELATÓRIO, DESEJA-SE SABER OS DETALHES E CUIDADOS ADOTADOS DURANTE O EXPERIMENTO; É UM GRAVE ERRO COPIAR DOS ROTEIROS AS DIRETRIZES DO EXPERIMENTO. O QUE SE ESPERA É A DESCRIÇÃO DO QUE O GRUPO FEZ, QUAIS CUIDADOS ADOTARAM, AS DIFICULDADES ENCONTRADAS, ETC. (1 ponto)

5) **DADOS EXPERIMENTAIS**: deve-se apresentar a relação completa dos dados obtidos, sem qualquer omissão. A forma mais conveniente de apresentação é a tabulação de dados. Normalmente esses dados são registrados durante a própria prática numa folha de dados fornecida junto com cada roteiro. É OBRIGATÓRIA A APRESENTAÇÃO DA FOLHA DE DADOS JUNTO COM O RELATÓRIO. (3 pontos. Entrega da folha de dados ao final de cada aula)

6) **PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS**: Nesta parte são realizados os cálculos e feitas as estimativas de erros/incertezas, os quais servirão para avaliar os resultados de acordo com os objetivos da experiência. Sempre que possível, deve-se fazer gráficos relacionando as grandezas medidas, de modo a dar uma visualização mais abrangente dos resultados obtidos. Gráficos dos quais se extrairão parâmetros (coeficientes lineares ou angulares, valores de máximo e mínimo, etc) devem ser feitos em papel milimetrado e os pontos colocados manualmente (incluindo as barras de incerteza). Gráficos demonstrativos de comportamento podem ser feitos no computador em qualquer editor de textos ou programa gráfico. Os resultados finais dos cálculos devem estar expressos com o número correto de algarismos significativos e acompanhados de suas respectivas incertezas e unidades, como por exemplo $R = (4{,}8 \pm 0{,}3)\ \Omega$. Se necessário, pode-se fazer uso de tabelas na apresentação de múltiplos resultados obtidos a partir das medidas efetuadas. (3 pontos)

7) **QUESTÕES E CONCLUSÕES**: nesta parte final do relatório o grupo deve emitir sua opinião sobre o procedimento adotado nas medidas realizadas, comparar resultados obtidos por diferentes procedimentos, comparar resultados obtidos experimentalmente com valores nominais ou com valores tabelados, concluir sobre a validade de uma fórmula ou uma dada lei física e sobre os limites de sua aplicação. Sempre que possível, o grupo deve indicar as principais fontes de erro e fatores que não foram levados em consideração no experimento e fazer sugestões de possíveis melhorias que poderiam ser adotadas nos sentido de produzir resultados mais corretos, ou mais interessantes, ou um melhor entendimento por parte dos alunos. (2 pontos).

5. Observações adicionais:

- Nenhum outro tópico acrescentado pelos alunos aos relatórios será merecedor de pontuação adicional, tais como descrição repetitiva dos procedimentos efetuados em laboratório, reprodução de textos encontrados em livros e apostilas sobre assuntos que não tenham sido solicitados no roteiro, efetivação de deduções matemáticas não solicitadas, etc.
- **Qualquer texto consultado para a confecção do relatório e que tenha alguma parte reproduzida no relatório deverá ser citado ao final como referência bibliográfica**. A presença de textos não referenciados retirados de livros, apostilas, relatórios antigos ou **páginas da Internet será motivo para redução da nota atribuída ao relatório**.
- A forma de apresentação do relatório poderá ser avaliada pelo professor como um item para eventual redução da nota atribuída. Assim, recomenda-se aos alunos que apresentem relatórios claros, sucintos, sem rasuras, **escritos a mão e com caligrafia nítida**, com gráficos e figuras de boa qualidade, escalas e legendas claras, etc.
- Os alunos que perderem alguma prática terão oportunidade de repô-la nas semanas de reposição previstas no calendário do curso, desde que justifiquem a sua ausência na aula e agendem com o professor a realização da nova prática. Esses alunos poderão eventualmente repor a experiência perdida em alguma outra turma, desde que haja, vagas e turmas, disponíveis e os professores de ambas as turmas estejam informados e de acordo. De qualquer forma, o aluno estará obrigado a apresentar um relatório individual ao professor da sua turma.

1. Procedimentos recomendados no laboratório

1) Ter certeza de que está entendendo o objetivo e como será conduzido o experimento.
2) Havendo dúvida em relação à teoria, consultar uma referência bibliográfica antes de iniciar o experimento.
3) Certificar-se que entende como funciona o equipamento. Consultar o professor sempre que necessário.
4) Começar o experimento e anotar toda medida realizada na folha de dados.
5) Calcular resultados e traçar os gráficos necessários. Se algum resultado não parece correto, ou se aparece algum ponto "estranho" no gráfico, repetir a medida correspondente de modo a certificar-se da sua correção.

Coordenador: Prof. Alfredo G. Cunha.

Física Experimental III - Experiência E1

Eletrostática

OBJETIVOS

Realizar experimentos de eletrização por atrito, indução, pêndulo de Franklin, construir um eletroscópio, uso do eletróforo, gerador de *Van de Graaff* e visualização de linhas de campo elétrico.

MATERIAL

Filme de PVC, meia de nylon, isopor, bastões de vidro e teflon, bolas de isopor, papel alumínio, linha, haste de apoio, lata de alumínio, vidro vazio, alfinete, parafuso com porca, eletróforo, régua, raquete para mosquito, gerador de *Van de Graaff*, fios de ligação, bandeja de acrílico, eletrodos, óleo e semente.

INTRODUÇÃO

A matéria apresenta duas propriedades fundamentais: a carga a e massa. A carga origina um campo de natureza elétrica e a massa um campo gravitacional. O campo elétrico é um conceito útil para a descrição da interação entre cargas elétricas, definido como a razão entre a força que uma carga (ou distribuição de carga) exerce sobre uma carga positiva, pequena e puntiforme (chamada "carga de prova") e o valor da própria carga de prova. A existência de duas naturezas de carga ocasiona forças de caráter atrativo e repulsivo, e faz com que os campos produzidos por duas cargas opostas de mesmo valor e vizinhas (dipolo elétrico) combinem-se e produzam linhas convergentes "saindo" da carga positiva e "entrando" na carga negativa. Podemos, porém, notar que a estrutura mais elementar da eletricidade é o monopolo elétrico (carga de uma única natureza) que assim pode existir isoladamente, produzindo um campo divergente ou convergente (dependendo do sinal da carga). Na prática só podemos sentir os efeitos do campo elétrico e não observá-lo diretamente. Isso é feito através da força sofrida por um monopolo elétrico imerso nesse campo, daí a direção do campo ser a direção da força. É desta forma que efetuamos o mapeamento da configuração espacial das linhas do campo elétrico.

PROCEDIMENTOS

O Professor irá realizar diversos experimentos de eletrização com os alunos e discutir os fenômenos envolvidos em cada caso. A partir de materiais de baixo custo deve-se construir um eletroscópio. O aluno deverá aprender a usar um eletróforo para eletrizar um corpo tanto com carga negativa como positiva. Deve-se aprender a usar um gerador de *Van de Graaff* e como usá-lo em demonstrações, além de visualizar as linhas de campo elétrico para diferentes formas dos eletrodos.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Processos de eletrização.
- Construção de um eletroscópio.
- Funcionamento do gerador de *Van de Graaff*.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Esquematize o funcionamento do eletróforo.
- Esquematize e descreva o funcionamento do pêndulo de Franklin.
- Esquematize e discuta o funcionamento do gerador de *Van de Graaff*.
- Discuta aplicações práticas de processos de eletrização estática.

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Esquematize as linhas de campo elétrico obtidas com o gerador *Van de Graaff* para diferentes formas de eletrodos.

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

Que fatores podem interferir no funcionamento dos experimentos de eletrostática?
Qual lei de Newton está envolvida no funcionamento do rotor que gira sobre o *Van de Graaff*?
Com que ângulo as linhas de campo saem dos eletrodos? Por que?

NÃO DEIXE DE LER

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vol. 3, Capítulos 21 (sobre cargas elétricas); 22 (sobre campos elétricos).

Young & Freedman, Física III, Capítulo 21 (sobre carga elétrica e campo elétrico).

Física Experimental III – Experiência E2

Resistividade

OBJETIVOS

- Determinação experimental da resistividade elétrica para fios metálicos.
- Medidas de resistência com ohmímetros.
- Construção de gráficos.

MATERIAL

Multímetros digital, fios de ligação, fio metálico e papel milimetrado.

PROCEDIMENTOS

1. Resistividade elétrica para fios metálicos (E2)

1.1 Meça com um ohmímetro a resistência de um dos fios fornecidos (constantan, níquel-cromo ou cobre) para vários comprimentos. Para isso fixe uma das pontas de prova ligadas ao ohmímetro numa das extremidades do fio e varie a posição da outra ponta de prova ao longo do comprimento do fio, registrando na *folha de dados* a resistência *R* em função da posição *x* da ponta de prova móvel.

1.2 Observe que as pontas de prova devem ter um *bom contato elétrico* com o fio, de modo que se existir algum verniz ou outro material isolante sobre o fio este deve ser *lixado* nos pontos onde serão posicionadas as pontas de prova.

1.3 Tome o cuidado de sempre escolher o *fundo de escala mais apropriado* para cada medida de resistência efetuada. Avalie a incerteza total (incerteza instrumental) para cada fundo de escala escolhido e anote também na folha de dados. Anote também a incerteza na medida da posição, a qual deverá ser obtida para cada régua utilizada na medida em questão.

1.4 Meça com um paquímetro e anote na folha de dados o diâmetro do fio usado.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Relação entre resistência elétrica e resistividade elétrica.
- Como obter experimentalmente a resistividade elétrica de um material.
- Fatores que influenciam nas medidas de resistência elétrica.
- Como avaliar as incertezas de cada medida (fornecer as incertezas instrumentais dos ohmímetros digitais).
- Como fazer um gráfico em papel milimetrado.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Como relacionar a resistência elétrica de um dispositivo ôhmico à resistividade elétrica do material de que ele é feito.

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Esquematize e descreva os circuitos utilizados nas experiências.
- Descreva os procedimentos experimentais nas coletas dos dados.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Monte um gráfico de resistência × comprimento para o fio escolhido. Não esqueça de colocar nos gráficos as barras de erro de cada medida.
- A partir do coeficiente angular da reta obtida, determine o valor experimental (com a respectiva incerteza) da resistividade elétrica do material. Compare com os valores tabelados a seguir (válidos à temperatura ambiente):

Material	**Resistividade (10^{-6} . Ω.cm)**
Constantan	44,1
Níquel-cromo	100
Cobre	1,724

Faça comparações usando os desvios: relativo e percentual, em relação ao esperado.

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

A reta obtida no gráfico de resistência × comprimento passa obrigatoriamente pela origem? O que pode causar o possível deslocamento dessa reta em relação à origem? Esse possível deslocamento influencia de alguma forma na obtenção da resistividade elétrica?

NÃO DEIXE DE LER.

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vols. 3 28.4 (sobre definição de resistência e resistividade elétricas e variação da resistência elétrica com a temperatura para metais).

Apostila de Física Experimental I, Departamento de Física, UFES (sobre como obter graficamente o coeficiente angular de uma reta e sua incerteza).

FOLHA DE DADOS E2

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Material do fio: _____ Diâmetro do fio: ϕ = _____±_____( )

Dados de resistência × comprimento:

R (____)	ΔR (____)	x (____)	Δx (____)

Física Experimental III - Experiência E3

Medidas elétricas e Lei de Ohm

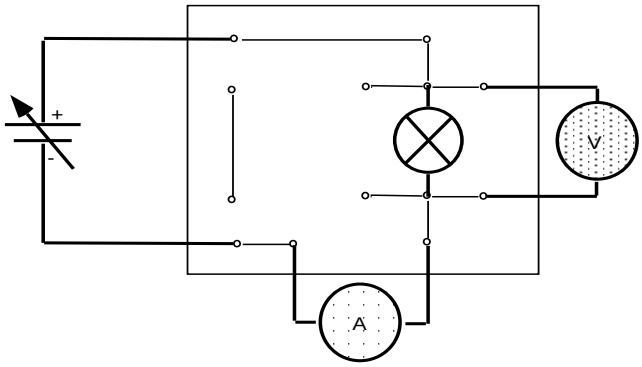
OBJETIVOS

Montagem de circuitos de corrente contínua. Manuseio de multímetros analógico e digital. Levantamento da curva tensão × corrente para uma lâmpada.

MATERIAL

Fonte regulável de corrente, multímetros analógico e digital, lâmpada, fios de ligação.

PROCEDIMENTOS



1. Monte um circuito como o esquematizado na figura abaixo, colocando um voltímetro digital em paralelo e um amperímetro analógico em série com a *lâmpada* L.

2. Verifique a tensão máxima suportada pela lâmpada e anote esse valor na folha de dados em anexo.

3. Com auxílio da fonte regulável, varie a tensão aplicada ao circuito, desde o valor zero até próximo do máximo suportado pela lâmpada. Oriente-se sempre pelo valor de tensão indicado no voltímetro. Registre na tabela em anexo os respectivos valores de corrente e tensão no circuito.

4. Tome o cuidado de sempre escolher o *fundo de escala mais apropriado* para cada medida efetuada. Avalie a incerteza instrumental para cada fundo de escala escolhido e anote também na folha de dados. Com essa incerteza você poderá decidir qual a quantidade correta de algarismos significativos a serem utilizados nos valores anotados para corrente e tensão.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Funcionamento básico de um galvanômetro.
- Montagem de um circuito com corrente contínua.
- Como escolher o melhor fundo de escala para cada medida.
- Como avaliar as incertezas de cada medida.
- Em que consiste a Lei de Ohm e como verificá-la experimentalmente.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Esquematize o funcionamento básico de um galvanômetro e explique o seu funcionamento.
- Enuncie a Lei de Ohm, explique como ela pode ser verificada experimentalmente e comente sobre os possíveis efeitos que podem interferir nessa verificação.

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Esquematize o circuito utilizado na experiência e descreva o procedimento experimental na coleta dos dados.
- Descreva como utilizar o multímetro como amperímetro e voltímetro.

PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Monte um gráfico de tensão × corrente para a lâmpada.
- Usando o gráfico anterior obtenha a resistência da lâmpada, em cada ponto experimental, e faça um novo gráfico R *versus* corrente dentro da faixa de corrente utilizada na experiência.

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

1. Analise as seguintes afirmações e diga quais estão de acordo com a conclusão dessa experiência. Qual delas você escolheria como a sua conclusão? Ou você escolheria uma outra afirmação para resumir a conclusão?

❖ O filamento da lâmpada não obedece à Lei de Ohm.

❖ O filamento da lâmpada obedece à Lei de Ohm.

❖ Não sei dizer se o filamento é feito de um material ôhmico ou não, porque o resultado da experiência não foi conclusivo.

❖ O método utilizado não convém para a verificação experimental da Lei de Ohm. (Explique como aprimorá-lo!)

2. A resistência da lâmpada aumenta ou diminui com o aumento da corrente no circuito? O que pode causar essa variação?

NÃO DEIXE DE LER

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vol. 3, Seções 29.7 (sobre medidas elétricas); 28.5 e 28.6 (sobre Lei de Ohm); 28.4 e 28.8 (sobre variação da resistência elétrica com a temperatura) e 30.8 (sobre o funcionamento do galvanômetro).

José Goldemberg, Física Geral e Experimental, 2º Vol., pp. 341-348 (sobre instrumentos de medidas elétricas e Lei de Ohm).

FOLHA DE DADOS E3

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Características da lâmpada: _____

Tensão máxima para a lâmpada: _____ ( )

Dados de tensão × corrente:

V (____)	I (____)	Fundo de escala (tensão)	Fundo de escala (corrente)	ΔV (____)	ΔI (____)

Física Experimental III – Experiências: E4 e E5

Lei de Ohm com resistor e diodo

OBJETIVOS

- Levantamento da curva tensão × corrente para um resistor (E4) e para um diodo (E5).
- Manuseio de multímetros digitais.
- Construção de uma fonte de tensão variável.

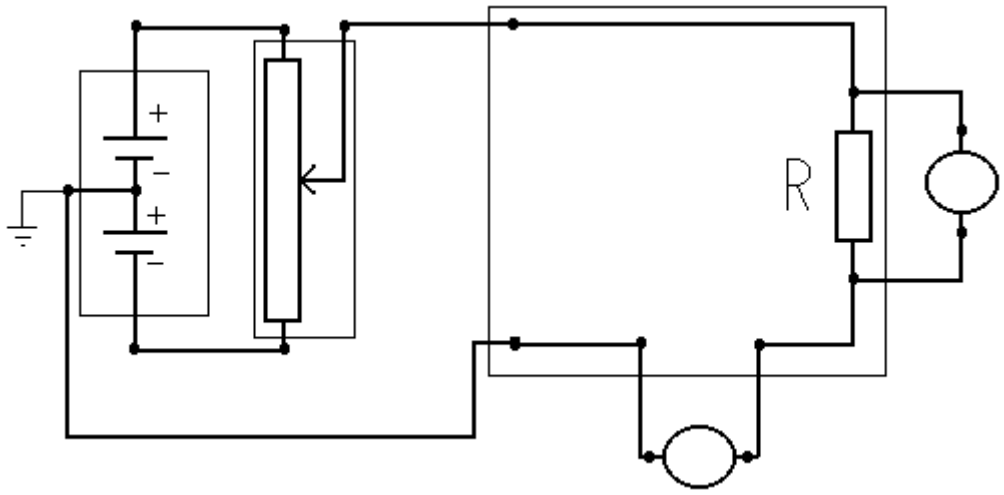
MATERIAL

Fonte simétrica de ± 5,0 V, multímetros digitais, reostato, resistor, diodo, fios de ligação.

PROCEDIMENTOS

1. Levantamento da curva tensão × corrente para um resistor (E4) e para um diodo (E5).

1.1. Monte um circuito como o esquematizado na figura abaixo, utilizando voltímetro e amperímetro digitais. Antes de ligar a fonte à rede elétrica deve-se ligar os multímetros nas escalas máximas de corrente e tensão. Com o contato deslizante sobre o resistor variável, ligado como potenciômetro, é possível variar continuamente a tensão aplicada ao circuito entre os valores $-V_O$ e $+V_O$.



1.2. A partir da potência máxima indicada no resistor e de sua resistência nominal *R*, determine a tensão e a corrente máximas a serem utilizadas no circuito. Anote esses valores na folha de dados.

1.3. Com auxílio do contato deslizante do potenciômetro, aplique valores de tensão, positivos e negativos, deste zero até o valor máximo calculado acima, e registre na folha de dados as leituras de tensão e corrente medidas respectivamente no voltímetro e no amperímetro.

1.4. Tome o cuidado de sempre escolher o *fundo de escala mais apropriado* para cada medida efetuada. Avalie a incerteza instrumental (fornecida pelo fabricante) para cada fundo de escala escolhido e

anote também na folha de dados. Com essa incerteza você poderá decidir qual a quantidade correta de algarismos significativos a serem utilizados nos valores anotados para corrente e tensão.

1.5. Substitua o resistor *R* por um diodo. Repita os procedimentos 3 e 4 desde que os valores de corrente não excedam a ± 1,0 A e/ou a tensão ± 1,0 V, registrando na folha de dados os valores de tensão e corrente para tensões positivas e negativas.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Montagem da fonte de tensão variável usando um reostato.
- Como ligar corretamente os multímetros digitais para que os sinais das tensões e correntes lidas sejam coerentes.
- Como a temperatura influencia na verificação experimental da Lei de Ohm (retomar a discussão da prática passada, envolvendo a lâmpada).
- O que é um diodo e para que serve (em outra prática futura serão exploradas as aplicações principais dos diodos).
- Fatores que influenciam nas medidas de resistência elétrica.
- Como avaliar as incertezas de cada medida (fornecer as incertezas instrumentais dos ohmímetros digitais).

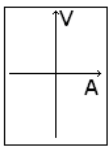
ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Descreva como a resistência de um resistor metálico varia com a temperatura. Como isso influencia na verificação experimental da Lei de Ohm?
- Explique o que é um diodo e quais suas principais aplicações práticas.
- Como relacionar a resistência elétrica de um dispositivo ôhmico à resistividade elétrica do material de que ele é feito.

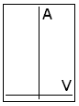
ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Esquematize e descreva os circuitos utilizados nas experiências.
- Descreva os procedimentos experimentais nas coletas dos dados.
- Mostrar o circuito com o diodo e as polaridades dos multímetros e fonte.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO



- Monte um gráfico de **tensão × corrente** para o resistor mantido à temperatura ambiente.
- A partir da inclinação da curva obtida, obtenha um valor experimental para a resistência elétrica do resistor utilizado. Obtenha também graficamente a incerteza dessa resistência. (E4)
- Compare o valor obtido acima (com sua incerteza) com o valor nominal da resistência. Comente sobre o que você encontrou. Analise também do ponto de vista do desvio percentual.(E4)

- Monte um gráfico de **corrente × tensão** para o diodo. 

(E5)
- Compare o gráfico obtido para o diodo com os obtidos anteriormente para a lâmpada e o resistor, e comente as diferenças. (E5)

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

1. Analise as seguintes afirmações e diga se estão de acordo com os resultados dessa experiência. (Explique!!)

❖ O resistor não obedece à Lei de Ohm se não for mantido à temperatura fixa. (E4)

❖ O resistor é feito de um material ôhmico, enquanto que o diodo é um dispositivo essencialmente não-ôhmico. (E4)

2. Compare os comportamentos dos gráficos tensão × corrente para a lâmpada (E3) e o resistor a temperatura ambiente. Explique o porquê da diferença. (E4)

NÃO DEIXE DE LER.

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vols. 3 e 4, Seções 28.5 (sobre Lei de Ohm, resistores e diodos); 28.4 (sobre definição de resistência e resistividade elétricas e variação da resistência elétrica com a temperatura para metais); 29.6 (sobre lei das malhas e lei dos nós); e 46.10 (sobre o funcionamento dos diodos).

José Goldemberg, Física Geral e Experimental, 2º Vol., pp. 341-348 (sobre instrumentos de medidas elétricas e Lei de Ohm).

Apostila de Física Experimental I, Departamento de Física, UFES (sobre como obter graficamente o coeficiente angular de uma reta e sua incerteza).

FOLHA DE DADOS E4

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Potência máxima para o resistor: _____

Resistência nominal do resistor: _____±_____ ( ) Código de cores no apêndice I

Usando $V = R \times I$ e $P = V \times I$

$V = (P \times R)^{1/2}$ Tensão máxima para o resistor: _____

$I = (P/R)^{1/2}$ Corrente máxima para o resistor: _____

Dados de tensão × corrente para o resistor à temperatura ambiente:

V (____)	I (____)	Fundo de escala (tensão)	Fundo de escala (corrente)	ΔV (____)	ΔI (____)

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____ E5

Modelo do diodo: _____

Dados de tensão × corrente para o diodo:

V (____)	I (____)	Fundo de escala (tensão)	Fundo de escala (corrente)	ΔV (____)	ΔI (____)

Desenho do circuito com o diodo e as polaridades dos multímetros e fonte.

Física Experimental III - Experiência E6

Carga e descarga de capacitores

OBJETIVOS

Estudo do circuito RC-série com corrente contínua.

Evolução temporal da corrente elétrica num circuito envolvendo carga ou descarga de capacitores. Obtenção da constante de tempo de um circuito RC-série.

MATERIAL

Circuito RC, fonte de tensão contínua, multímetro analógico, cronômetro, fios de ligação.

TEORIA

As seguintes equações descrevem respectivamente a evolução temporal da carga acumulada no capacitor e da corrente em um circuito RC em série, durante os processos de carga (a partir da carga inicialmente nula) e descarga (a partir da carga inicial q_0):

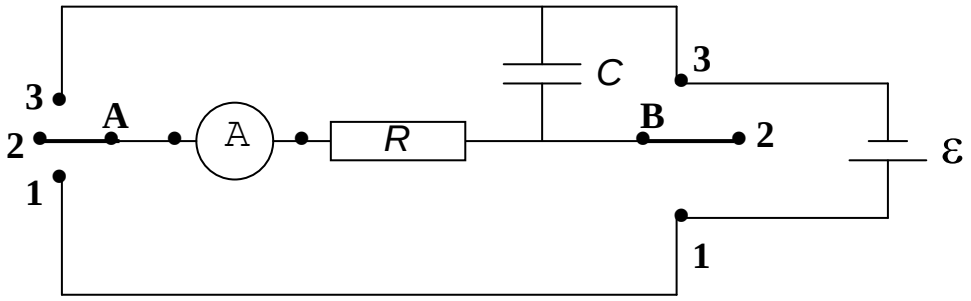
*Processo de **carga***: $q(t) = C\varepsilon[1 - e^{(-t/\tau)}]$ $i(t) = (\varepsilon/R)e^{(-t/\tau)}$

*Processo de **descarga***: $q(t) = q_0 e^{(-t/\tau)}$ $i(t) = -(\varepsilon/R)e^{(-t/\tau)}$,

onde R e C são respectivamente a resistência do resistor e a capacitância do capacitor que compõem o circuito RC; $\boldsymbol{\varepsilon}$ é a força eletromotriz (constante) que alimenta esse circuito durante o processo de carga; e $\tau = RC$ é a *constante de tempo* do circuito RC. O parâmetro τ mede o tempo necessário para que a carga no capacitor atinja aproximadamente 63 % do seu valor máximo no processo de carga ou 37 % do seu valor inicial no processo de descarga. Assim, a constante de tempo fornece um indicativo do tempo necessário para que o circuito atinja um estado estacionário tanto no processo de carga quanto no processo de descarga. O sinal negativo da corrente no processo de descarga significa que a carga acumulada no capacitor diminui com o passar do tempo, e indica que a corrente nesse processo tem o sentido inverso àquele do processo de carga. Observe que se o capacitor for descarregado a partir de sua carga máxima adquirida durante o processo de carga, então $q_0 = C\varepsilon$.

PROCEDIMENTOS

1. A experiência consiste em carregar e descarregar um capacitor através de um resistor, registrando a variação temporal da corrente no circuito durante os processos de carga e descarga. Para isso será fornecido a cada grupo um circuito RC com os componentes já montados, de acordo com o esquema a seguir. O primeiro procedimento fundamental nessa experiência consiste em *examinar detalhadamente* a montagem do circuito fornecido e *procurar entender* o seu funcionamento (observe atentamente o funcionamento das chaves **A** e **B**, examinando em que posições elas fecham contato elétrico).



2. Leia os valores nominais da resistência *R* e da capacitância *C* presentes no circuito. Anote esses valores na *folha de dados* em anexo. Estabeleça o valor máximo inicial de corrente a ser usado nesse circuito (50 ou 100 μA), levando em consideração o valor de *R*, a potência máxima dissipada por esse resistor, a tensão máxima disponível na fonte de tensão contínua e as escalas do amperímetro disponível.
3. Conecte um *amperímetro analógico* na posição indicada no esquema do circuito RC. Ajuste o fundo de escala do amperímetro de acordo com o valor máximo de corrente calculado no item anterior. Tome o cuidado de verificar o sentido da corrente através do amperímetro e de inverter a polaridade deste quando passar do processo de carga para o processo de descarga (observe nas expressões para a corrente em função do tempo fornecidas anteriormente que o sentido da corrente durante a carga é oposto àquele da descarga).

4. ***Processo de carga***: Siga os passos abaixo, conectando sucessivamente as chaves **A** e **B** nas posições **1**, **2** e **3** (veja o esquema anterior).

a) A1 e B3: capacitor descarregado (em curto-circuito), corrente passando somente através da resistência.

b) A1 e B2: circuito RC em série com a fonte de tensão, *capacitor carregando*.

c) A2 e **B2**: capacitor carregado, terminais em circuito aberto. **INVERTER TERMINAIS DO AMPERÍMETRO**

5. ***Processo de descarga***:

a) **A2** e **B1**: capacitor totalmente carregado (conectado diretamente à fonte de tensão).

b) A3 e B1: capacitor totalmente carregado, corrente passando somente através da resistência (*sentido oposto* ao do processo de carga!).

c) A3 e B2: circuito RC em série (sem fonte de tensão), *capacitor descarregando*.

Obs.: Procure entender detalhadamente os diferentes circuitos que são formados com essas escolhas das posições das chaves **A** e **B**.

6. Com as montagens indicadas em 4a e 5b você poderá ajustar o valor máximo inicial de corrente (50 ou 100 μA) respectivamente durante os processos de carga e descarga.

7. Anote na folha de dados em anexo os valores de corrente (medidos no amperímetro) em função do tempo, durante os processos de carga e descarga (itens 4b e 5c acima). Lembre-se de registrar também a

incerteza total de cada medida de corrente (a qual depende do fundo de escala utilizado), levando em consideração as incertezas instrumental, como foi feito em experiências anteriores envolvendo multímetros analógicos.

8. Para a medida do tempo, utilize ou um cronômetro analógico fornecido no laboratório ou algum cronômetro digital de pulso que você porventura tenha à disposição. As medidas de corrente em função do tempo devem ser efetuadas seguidas vezes e deve-se tomar a *média aritmética* e o *desvio da média* dos valores medidos de tempo para a obtenção respectivamente do valor médio e da incerteza no tempo correspondente a cada valor de corrente.

9. O método a ser usado para a aquisição dos diversos pontos experimentais pode ser escolhido por cada grupo em concordância com o professor. Uma sugestão de procedimento é a seguinte: Estabeleça uma série de valores decrescentes de corrente em intervalos iguais e meça os tempos para que a corrente atinja esses valores a partir do valor máximo inicial, repetindo sucessivamente os passos 4a e 4b para o processo de carga. A seguir faça o mesmo para o processo de descarga, repetindo sucessivamente os passos 5b e 5c.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Expor as equações diferenciais e as soluções para carga e corrente em função do tempo, durante os processos de carga e descarga.
- Como linearizar uma curva com comportamento exponencial.
- Como se define e para que serve a constante de tempo do circuito RC-série.
- Como obter experimentalmente a constante de tempo do circuito RC-série.
- Como avaliar os valores médios e as incertezas nas medidas do tempo. Apresentar as expressões para média e desvio da média.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Discutir as equações diferenciais e as soluções para carga e corrente em função do tempo, durante os processos de carga e descarga em um circuito RC-série.
- Discutir as condições iniciais envolvidas nessas soluções.
- Expor como a constante de tempo pode ser extraída a partir de uma curva de corrente em função do tempo (a) sem linearização e (b) linearizada. Essas expressões serão utilizadas posteriormente para a determinação experimental da constante de tempo.

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Esquematize os circuitos correspondentes a *cada uma* das associações dos itens 4 e 5.
- Descreva qual a metodologia empregada para a aquisição dos dados experimentais de corrente em função do tempo.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Em uma folha de papel milimetrado, monte os gráficos de corrente × tempo para os processos de

carga e descarga do capacitor. Não esqueça de colocar as barras de incerteza correspondentes a cada ponto experimental.

- Utilize a definição de constante de tempo apresentada anteriormente para obter uma estimativa da constante de tempo durante os processos de carga e descarga, a partir da corrente inicial.
- Monte dois gráficos logarítmicos de corrente × tempo para os processos de: carga e descarga. O primeiro para o processo de carga. Neste trace a curva de corrente em função do tempo diretamente em papel mono-log. No segundo gráfico, o logaritmo natural (ou decimal) do módulo da corrente/(corrente inicial), para o processo de descarga, em papel milimetrado. Não se esqueça de colocar as barras de incerteza correspondentes a cada ponto experimental. No caso dos gráficos de logaritmo da corrente/(corrente inicial), acrescente duas colunas à tabela de dados de corrente em função do tempo, contendo o logaritmo natural da corrente e a sua incerteza.
- A partir dos coeficientes angulares das retas obtidas nos gráficos logarítmicos, obtenha experimentalmente as constantes de tempo (com suas respectivas incertezas) para os processos de carga e de descarga. Lembre-se que a determinação do coeficiente angular é um pouco diferente daquela em papel comum. Veja apêndice II.
- Calcule o valor esperado para a constante de tempo a partir dos valores nominais de *R* e *C*. Compare com os quatro valores obtidos nos itens anteriores.

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

1. Os valores de constante de tempo durante os processos de carga e descarga deveriam ser iguais ou diferentes? O que você encontrou experimentalmente?
2. Baseado nos valores de constante de tempo que você encontrou, estime quanto tempo é necessário esperar na prática para que o capacitor utilizado atinja sua carga máxima no processo de carga. E para que ele atinja carga nula na descarga? Como você poderia aumentar ou diminuir esses tempos?
3. A corrente atinge realmente um valor nulo ao final dos processos de carga ou descarga? Considerando o amperímetro usado nas medidas e as condições em que elas foram executadas, a partir de qual valor mínimo a corrente pode ser considerada *efetivamente* nula?
4. Imagine que alguém lhe entregue um capacitor e lhe peça para determinar experimentalmente o valor de sua capacitância. Explique como o procedimento utilizado nessa experiência pode ser aplicado para essa finalidade.

NÃO DEIXE DE LER

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, LT&C, Vol. 3, Seção 29.8 (sobre circuitos RC em série).

Apostila de Física Experimental I, Departamento de Física, UFES (sobre como obter graficamente o coeficiente angular de uma reta e sua incerteza, para gráficos em papel comum e mono-log, e sobre como obter a incerteza do logaritmo de uma grandeza). **Apêndice 1**.

FOLHA DE DADOS - Processo de CARGA E6

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Capacitância nominal do capacitor: _____±____ ( ) Tensão máxima disponível: _____( )

Resistência nominal do resistor: _____±_____ ( ) Potência: _____ ( )

Tensão máxima suportada pelo resistor: _____ *Corrente para a tensão máxima:* _____

Corrente para a tensão disponível: _____ ( )

Escala adequada: _____ ( ) *Corrente máxima inicial no circuito:* _____ ( )

Dados de corrente × tempo:

I (____)	**ΔI (____)**	t_1 (__)	t_2 (__)	t_3 (__)	t_4 (__)	t_5 (__)	**<*t*>(__)**	**Δ<*t*>(__)**

FOLHA DE DADOS - Processo de DESCARGA E6

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Resistência nominal do resistor: _____±_____ ( )

Capacitância nominal do capacitor: _____±_____ ( )

Corrente máxima inicial no circuito: _____±_____ ( )

Dados de corrente × tempo:

I (____)	**ΔI (____)**	t_1 (__)	t_2 (__)	t_3 (__)	t_4 (__)	t_5 (__)	**<*t*>(__)**	**Δ<*t*>(__)**

Física Experimental III - Experiência E7

Balança de corrente

OBJETIVOS

- Estudo da interação corrente × campo usando uma balança magnética.
- Estimativa do campo magnético de um ímã permanente.

MATERIAL

Balança magnética, fonte de corrente, amperímetro, fios de cobre, Gaussimetro e imã em U.

INTRODUÇÃO

Quando uma carga elétrica q se desloca com velocidade $\boldsymbol{v}$ em um campo magnético, com indução magnética $\boldsymbol{B}$, neste atua uma força $\boldsymbol{F}$ chamada *força de Lorentz:*

$$\boldsymbol{F} = q \,.\, (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}). \qquad (7.1)$$

O vetor força $\boldsymbol{F}$ é perpendicular ao plano ocupado por $\boldsymbol{v}$ e $\boldsymbol{B}$. Neste experimento os vetores $\boldsymbol{v}$ e $\boldsymbol{B}$ são ortogonais, de modo que a relação acima pode ser escrita usando apenas o modulo dos vetores:

$$F = q \,.\, v \,.\, B. \qquad (7.2)$$

A velocidade dos portadores de carga (elétrons) é medida pela Corrente elétrica I_l no condutor. A carga de elétrons num condutor de seção A e comprimento l deve ser expressa como*:*

$$q \,.\, v = I_l \,.\, l. \qquad (7.3)$$

Desse modo a *força de Lorentz* pode ser escrita como:

$$F = I_l . \, l \,.\, B \qquad (7.4)$$

Para realizar a experiência você irá usar um fio suspenso por uma balança, no local do prato da mesma. Este fio é uma trilha feita numa placa de circuito impresso, ligado a fonte de corrente por duas fitas de metal.

Inicialmente coloca-se a balança na posição de equilíbrio e se faz passar uma corrente pelo fio. A passagem da corrente pelo fio fará aparecer uma força no fio que irá desequilibrar a balança. Girando o *Dial* da balança até que ela volte a posição de equilíbrio pode-se determinar, através da força peso, a força feita sobre o fio. Sendo:

$$F = m \,.\, g \qquad (7.5)$$

$$m = (l \,.\, B/g)\, I \qquad (7.6)$$

Que é a expressão de uma reta para um gráfico de *m* em função de *I*. O valor da massa medida, para cada valor de corrente, pode ser escrito como $M = m_0 + m$, assim a equação 6.6 fica:

$$M = (l \,.\, B/g)\, I + m_0, \qquad (7.7)$$

Que é a equação de uma reta em que o coeficiente angular é $(l \,.\, B/g)$ e o linear m_0.

PROCEDIMENTOS

OBS. 1) Todos os procedimentos com a balança deverão ser efetuados de forma cuidadosa, pois trata-se de um equipamento frágil e com montagem delicada.

2) Tome o cuidado de eliminar quaisquer fontes de torques que possam vir a prejudicar o andamento do experimento, posicionamento das fitas condutoras, correntes de vento, vibração da mesa, etc.

1. Pegue o primeiro fio, montado na placa de fibra de vidro, e ligue as duas fitas flexíveis de metal nas suas laterais. Essas fitas devem estar ligadas ao distribuidor, que deve estar preso na extremidade do suporte vertical. Esses dois pontos devem ser ligados a fonte de corrente, que já possui um amperímetro digital. Esta deve estar desligada e com os controles de tensão e corrente no mínimo.
2. Pendure o fio no lugar do prato da balança, de modo que o fio fique entre os pólos do imã em forma de U.
3. Anote na folha de dados o comprimento do fio usado.
4. Equilibre a balança, primeiro deslocando as massas, da maior para a menor, e finalmente o *Dial*. Anote na folha de dados a massa inicial do sistema.
5. Você irá fazer passar uma corrente no fio de 0,00 A até 4,50 A em intervalos de aproximadamente 0,5 A. A seguir você deve girar o *Dial* até a balança voltar a posição de equilíbrio. Anote os valores de massa indicados pela balança e os de corrente da fonte. **Para variar a corrente siga os passos a seguir.**

5.1 Inicialmente a fonte deve estar desligada e com os controles de corrente e tensão no mínimo (girados para a esquerda).

5.2 **Ligue a fonte, os indicadores deverão indicar leitura zero.**

5.3 **Gire o controle de tensão ¼ de volta para a direita. Não deverá haver mudanças dos valores indicados no painel da fonte, pois você esta apenas aumentando o nível de tensão que a fonte poderá fornecer.**

5.4 **Finalmente gire lentamente o controle de corrente para a direita e a corrente no circuito começará a aumentar. Trabalhe com intervalos de aproximadamente 0,5 A.**

6. Após fazer a medida com a corrente máxima, volte o controle de corrente para o mínimo, retire o fio da balança, troque por *outro fio*, recoloque na balança e repita o procedimento anterior registrando os novos valores na Folha de Dados. Repita o procedimento para os quatros fios existentes na bancada.
7. Finalmente, usando um Gaussímetro, meça o campo magnético, em 3 posições, entre os pólos do imã.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Expressão da força magnética sobre corrente elétrica.
- Interação magnética corrente × campo magnético.
- Correntes de Foucault e o papel do freio magnético no funcionamento da balança.
- Como usar uma fonte de corrente.
- Uso da balança com vernier.
- Uso do Gaussímetro.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Mostre como se pode obter a expressão da força magnética sobre uma corrente elétrica, partindo a força magnética sobre uma carga em movimento.
- Mostre o modelo que será usado para obter o campo do imã.

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Esquematize a montagem experimental da balança de corrente, deixando claras as conexões elétricas e o sentido da corrente.
- Descreva resumidamente o procedimento usado para equilibrar a balança na situação inicial e reequilibrá-la na presença da corrente.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Monte quatro gráficos de $M \times i$ para os fios, e a partir das inclinações dessas retas, a medida (com incerteza) para o campo magnético do ímã permanente.
- Faça uma tabela com os valores de **B** para cada fio, o valor medido pelo Gaussímetro e acrescente a incerteza percentual das medidas.
- Compare com o valor medido pelo Gaussímetro.
- Compare o valor acima com a magnitude do campo magnético da Terra. Quantas vezes *B* é mais intenso que o campo da Terra?

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

1. Como funciona o freio magnético utilizado na balança?
2. Qual dos quatro fios apresenta a menor incerteza percentual?
3. Qual dos quatros fios apresentou melhor resultado? Explique.
4. Compare as duas respostas anteriores e comente.

NÃO DEIXE DE LER: Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vol. 3, Seções 30.7, 31.3.

FOLHA DE DADOS E7

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Primeiro fio. l = _____ ±_____( ) m_0 = _____ ±_____( )

M (____)	ΔM (____)	i (____)	Δi (____)

Segundo fio. l = _____ ±_____( ) m_0 = _____ ±_____( )

M (____)	ΔM (____)	i (____)	Δi (____)

Medida do campo do imã feita com o *Teslameter* B = _____ ±____ ( )

FOLHA DE DADOS E7

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Terceiro fio. l = _____ ±_____( ) m_0 = _____ ±_____( )

M (____)	ΔM (____)	i (____)	Δi (____)

Quarto fio. = _____ ±_____( ) m_0 = _____ ±_____( )

M (____)	ΔM (____)	i (____)	Δi (____)

Física Experimental III - Experiência E8

Experiência de Oersted e Medidas de campo magnético

OBJETIVOS

- Reproduzir a experiência de Oersted.
- Estimar o campo magnético da Terra.
- Avaliar os campos magnéticos gerados por ímãs permanentes, espira e bobina de Helmholtz transportando corrente elétrica.

MATERIAL

Ímãs permanentes, bússola, bússola de inclinação, transferidor, régua, multímetro, fios de ligação, fio retilíneo, gaussimetro, bobinas de Helmholtz, fonte de tensão de 18 V (para bobinas).

HISTÓRICO

Atribui-se ao dinamarquês Hans Christian Oersted a primeira verificação experimental da conexão entre as até então separadas ciências da eletricidade e do magnetismo, através de uma experiência reportada em 1820, onde ele descrevia que um fio metálico retilíneo transportando corrente elétrica era capaz de provocar uma deflexão em uma agulha imantada colocada nas suas proximidades. Os trabalhos de Ampère, Biot, Savart, Faraday e Maxwell, entre outros, nos anos que se seguiram, confirmaram e detalharam a intima conexão entre os fenômenos elétricos e magnéticos, dando origem ao eletromagnetismo moderno.

INTRODUÇÃO

O campo magnético gerado pelas bobinas de Helmholtz no ponto médio sobre o eixo comum das bobinas pode ser obtido pela expressão abaixo:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N i}{R}, \qquad (1)$$

onde N é o número de espiras em cada bobina (igual), i é a corrente que flui em cada bobina (suposta igual), μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo e R é o raio médio comum das bobinas. No arranjo de Helmholtz, as duas bobinas idênticas são posicionadas paralelamente de forma que a distância entre seus planos seja igual ao seu raio comum. Para a montagem empregada nessa experiência temos R = 20 cm (confira!!). A montagem em suspensão das bobinas permite a contagem do número de espiras, tendo-se em conta que as camadas paralelas de fios de cobre estão ligeiramente deslocadas lateralmente entre si (ver Fig. 1). Cada bobina é constituída de 14 camadas de fios de cobre, com cada camada contendo 11 espiras, o que dá um total de N = 154 espiras (confira!!).

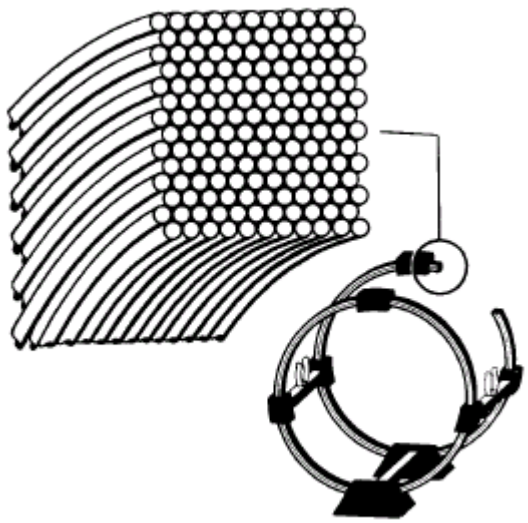


Fig. 1: Bobinas de Helmholtz com sua seção transversal em destaque.

PROCEDIMENTOS

1. Medida do campo da terra

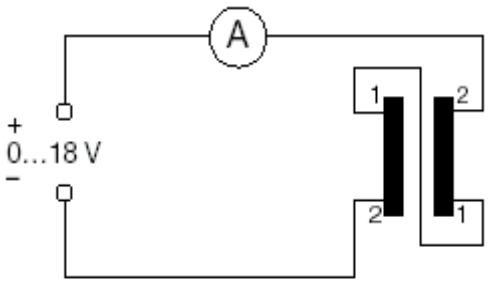
1.1. Posicione o fio retilíneo (sem corrente elétrica) paralelamente á direção da agulha de uma bússola que está na mesma direção do campo magnético da Terra. Assim, o campo gerado pelo fio quando transportando corrente será perpendicular ao campo da Terra.

1.2. Conecte o fio a uma fonte de tensão contínua e a um amperímetro digital, tomando o cuidado de não utilizar correntes muito superiores a 2,5 A. Varie a corrente no fio até no máximo 2,5 A e observe o deslocamento da agulha.

1.3. Para cada valor de corrente aguarde a estabilização da orientação da agulha da bússola e meça o ângulo que esta faz com a direção do fio (portanto com a direção da componente horizontal do campo da Terra).

1.4. Registre na folha de dados os valores de corrente e ângulo, bem como as suas respectivas incertezas. Para as incerteza usar somente a incerteza do instrumento de medida.

1.5. Meça com uma régua a distância entre o fio retilíneo e a agulha da bússola. Registre esse valor na folha de dados. Com a bússola de inclinação meça o angulo que o campo magnético da terra faz com a horizontal.



2. Bobinas de Helmholtz

2.1. Monte as bobinas de Helmholtz, (duas bobinas idênticas posicionadas paralelamente de forma que a distância entre seus planos seja igual ao seu raio comum) conforme figura 2. Para garantir que as correntes elétricas atravessando as duas bobinas sejam exatamente as mesmas é conveniente conectá-las em série.

2.2. Alimente as bobinas de Helmholtz, sempre observando que a corrente através destas não deve ultrapassar o valor máximo de 5 A.

2.3. Utilize um gaussímetro para avaliar a magnitude do campo magnético gerado pelas bobinas de Helmholtz no ponto médio entre as bobinas. Com as dimensões das bobinas utilizadas deve-se obter um campo em torno de 3,5 mT para uma corrente de 5 A. Meça o campo magnético para vários valores de corrente e anote na tabela de dados.

3. Perfil do campo

3.1. Para verificar a homogeneidade do campo no interior das bobinas, fixe um valor de corrente e movimente a ponta de prova do gaussímetro ao longo do eixo das bobinas. Anote os dados na tabela.

3.2. Mude a ligação das bobinas e ligue apenas uma delas. Faça uma nova varredura ao longo do eixo e meça os novos valores de campo magnético.

4. Meça os campos magnéticos de vários imãs apresentados pelo professor.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Descrição da experiência de Oersted, sua importância histórica e como obter o campo da terra.
- O que dizem as leis de Ampère e de Biot-Savart sobre a orientação e magnitude do campo magnético produzido por um condutor transportando corrente elétrica.
- Como são as linhas de indução do campo magnético da Terra. Discutir sobre a diferença entre o norte geográfico e o norte magnético.
- Como usar o gaussimetro.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Enunciar e discutir brevemente as leis de Ampère e de Biot-Savart.
- Deduzir a relação entre o ângulo medido na experiência com a bússola e a componente horizontal do campo magnético da Terra. Mostrar a relação entre a componente horizontal e o campo da Terra.
- Discutir o conceito de linhas de indução e explicar como se pode obtê-las experimentalmente.
- Como são as linhas de indução do campo magnético da Terra e como variam a direção e a magnitude desse campo em função da posição geográfica do ponto de observação.
- Deduzir a Eq. 1, partindo da lei de Biot-Savart.

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Esquematize e descreva a montagem experimental utilizada na experiência com a bússola.
- Descreva os procedimentos usados nas medidas de campo das bobinas de Helmholtz.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Monte um gráfico da corrente em função da tangente do ângulo. Não esqueça de colocar no gráfico as barras de erro de cada medida.
- A partir do coeficiente angular da reta obtida, determine o valor experimental (com a devida incerteza) da componente horizontal do campo magnético da Terra.
- Usando o angulo medido na bússola de inclinação obtenha o campo magnético da Terra.
- Explique como as leis de Ampère e/ou de Biot-Savart explicam as configurações das linhas de indução para o ímã permanente, a espira e o solenóide.
- Faça um gráfico do campo magnético gerado pelas bobinas de Helmholtz, para a posição central, em função da corrente. Obtenha o coeficiente angular da reta e compare com o valor obtido pela equação 1.
- Faça um gráfico do campo magnético gerado pelas bobinas de Helmholtz ao longo do seu eixo comum nas regiões dentro e fora das bobinas. Para melhor visualização represente no gráfico as duas bobinas.
- Acrescente no gráfico anterior o gráfico do campo magnético, gerado por apenas uma bobina, ao longo do seu eixo comum.

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

- Qual a vantagem de serem usadas as duas bobinas no arranjo de Helmholtz? Por que não usar uma só bobina? Explique com base em um desenho esquemático como deve ser a orientação das correntes elétricas em cada bobina.
- Dentre os imãs usados, qual a maior razão entre campo do imã/campo das bobinas de Helmholtz ?

NÃO DEIXE DE LER

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vol. 3, Capítulo 31 (sobre as leis de Ampère, Biot-Savart e bobinas de Helmholtz), Seções 30-2 (sobre linhas de indução), 34-5 (sobre o magnetismo da Terra), 34-1 (sobre ímãs permanentes), 34-6, 34-7 e 34-8 (sobre propriedades magnéticas dos materiais).

Apostila de Física Experimental I, Departamento de Física, UFES (sobre como obter a incerteza em funções trigonométricas).

FOLHA DE DADOS E8

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Distância entre o fio retilíneo e a bússola: _____ ± _____ ( )

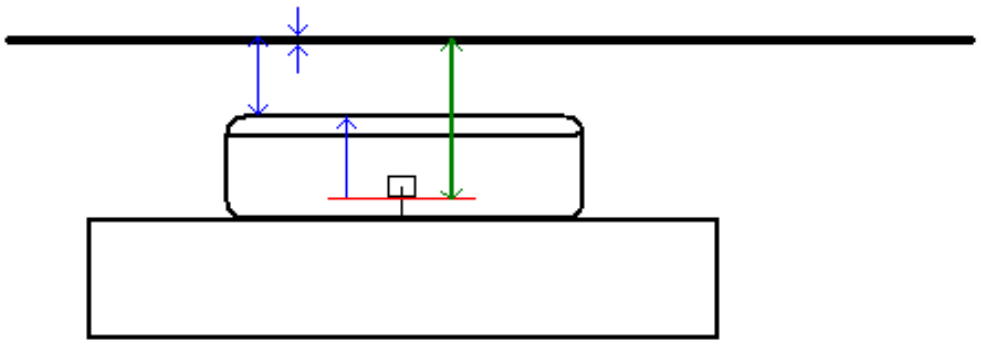
Permeabilidade magnética do vácuo: _____ ( )

Angulo na bússola de inclinação: _____ ± _____ ( )

1) Dados de corrente × ângulo para a experiência com a bússola:

I (____)	ΔI (____)	θ (__)	$\Delta\theta$ (____)	$tg\theta$	$\Delta(tg\theta)$

Distância entre o fio retilíneo e a bússola = agulha a borda + borda ao fio - raio do fio



FOLHA DE DADOS E8

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

2) Campo magnético gerado pelas bobinas de Helmholtz no ponto médio entre as bobinas

B( )							
I ( )							

3.1) *Perfil do campo* das bobinas de Helmholtz I = ____ ± ____ ( )

B( )	*z ( )*	*ΔB( )*	*Δz( )*	*B( )*	*z ( )*	*ΔB( )*	*Δz( )*

FOLHA DE DADOS E8

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

3.2) Perfil do campo de apenas uma das bobinas I = ____ ± ____ ( )

B( )												
Z( )												

B( )												
Z( )												
B( )												
Z( )												

B( )												
Z( )												

4) *Campos magnéticos de vários imãs apresentados pelo professor*

Situação B ( )

_____ _____

_____ _____

_____ _____

_____ _____

_____ _____

_____ _____

Física Experimental III - Experiência E9

Indução magnética e transformadores

OBJETIVOS

- Estudo das leis de Faraday e Lenz em diversas situações experimentais.
- Montagem de transformadores.
- Obtenção da relação de transformação de tensões para transformadores.

MATERIAL

Ímãs permanentes, bobinas, geradores de tensão alternada e contínua, galvanômetro de zero central, multímetros analógicos e digitais, núcleos magnéticos laminados e não-laminados.

HISTÓRICO

O fenômeno da indução magnética teve sua base empírica fundamentada nas experiências realizadas primeiramente pelo cientista inglês Michael Faraday em torno de 1831 e quase que simultaneamente pelo físico americano Joseph Henry. A indução magnética consiste fundamentalmente no fato de que campos magnéticos variáveis no tempo são capazes de gerar correntes elétricas, ou seja, de induzir campos elétricos. Outro aspecto importante a respeito da indução magnética foi estabelecido pelo físico russo Heinrich Lenz: a corrente elétrica induzida surge sempre num sentido tal que se oponha à variação do campo magnético que lhe deu origem. Todos esses aspectos do fenômeno de indução magnética aparecem reunidos na formulação que hoje denominamos "lei de Faraday", a qual desempenhou um papel essencial na evolução da física, tanto do ponto de vista teórico quanto experimental. Em particular, podemos citar a fabricação dos mais diversos dispositivos baseados no princípio de indução magnética, tais como motores elétricos, geradores de corrente alternada, transformadores e muitos outros, como um dos fatores que mais motivou e possibilitou o desenvolvimento tecnológico dos séculos XIX e XX, desde os tempos da revolução industrial até os dias de hoje.

PROCEDIMENTOS

1. Indução com ímãs e bobinas

1.1 Conecte uma bobina a um galvanômetro. Aproxime um ímã permanente da bobina e verifique o aparecimento de uma corrente elétrica (normalmente da ordem de μA). Afaste agora o ímã da bobina e veja de novo a corrente. Anote os resultados na folha de dados.

1.2 Repita o procedimento acima, agora mantendo o ímã fixo e movendo a bobina.

1.3 Determine experimentalmente qual é o pólo norte e qual o pólo sul do ímã a partir do sentido da corrente induzida na bobina nos procedimentos acima (examine com cuidado o sentido do enrolamento da bobina).

1.4 Conecte uma outra bobina (denominada de *primária*) a um gerador de *tensão contínua* (cuidado com a corrente máxima que a bobina suporta!!). Repita os procedimentos 1.1 e 1.2, utilizando esta bobina primária em lugar do ímã.

1.5 Verifique o que ocorre na bobina *secundária* quando a fonte (DC) ligada à bobina primária é ligada ou desligada, ou mesmo quando se altera o valor da corrente na bobina primária.

1.6 Conecte agora a bobina primária a um gerador de *tensão alternada* (cuidado com a corrente máxima que a bobina suporta!!). Repita os procedimentos 1.1 e 1.2, utilizando esta bobina em lugar do ímã. **Na bobina secundária substitua o galvanômetro por um voltímetro na escala AC**. Verifique que mesmo com a bobina primária em repouso há tensão induzida na bobina secundária.

2. Montagem e estudo de um transformador

2.1 Anote na folha de dados o número de espiras nas bobinas primária (N_{prim}) e secundária (N_{sec}) utilizadas na montagem anterior.

Tome um cuidado especial com as possíveis altas tensões que poderão aparecer na bobina secundária se N_{sec} for maior que N_{prim}. Não utilize bobinas com 12000 ou 18000 espiras como secundárias.

2.2 Aplique uma tensão AC à bobina primária, tomando o cuidado de não exceder a corrente máxima que ela suporta. **Usando um voltímetro (em escala AC)** meça a tensão aplicada na bobina primária (V_{prim}) e a tensão que aparece na bobina secundária (V_{sec}).

Registre V_{prim} e V_{sec} para cada uma das situações a seguir:

2.3 Fixe a tensão na bobina primária e varie a distância entre as duas bobinas. (Anote na folha de dados alguns valores de distância, na coluna "Situação".)

2.4 Coloque as bobinas próximas e teste as possíveis orientações relativas das bobinas.

2.5 Coloque um núcleo magnético em forma de barra em uma das bobinas.

2.6 Coloque um núcleo em forma de U conectando as bobinas.

2.7 Feche o núcleo em forma de U com um núcleo em forma de barra não-laminado.

2.8 Feche o núcleo em forma de U com um núcleo em forma de barra laminado. Teste as duas possíveis orientações das lâminas em relação à direção do campo magnético gerado nas bobinas.

2.9 Esta última configuração com o núcleo e a barra laminados e posicionados com a orientação apropriada constitui a melhor aproximação para um "transformador ideal". Meça as relações V_{sec}/V_{prim} e N_{sec}/N_{prim} para diferentes pares de bobinas.

3. Estudo de um transformador comercial

3.1 Aplique algumas tensões AC entre 0 e 12 V ao primário de um transformador comercial e meça V_{prim} e V_{sec}.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Leis de Faraday e Lenz.
- Conceitos de fluxo magnético de força eletromotriz induzida.
- O que é um transformador e para que serve.
- Qual a finalidade dos núcleos magnéticos nos transformadores.
- Correntes de Foucault, núcleos laminados, freios magnéticos, fornos de indução.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Enunciar e discutir brevemente as leis de Faraday e Lenz.
- O que é um transformador? Para que serve um transformador?
- O que é um transformador ideal? Deduzir a relação de transformação de tensões para o transformador ideal.
- Para que servem os núcleos magnéticos utilizados nos transformadores?
- O que são correntes de Foucault e qual o seu papel no funcionamento dos transformadores?

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Esquematize e descreva a montagem experimental utilizada nas experiências de indução com ímãs e bobinas.
- Descreva os procedimentos usados na montagem do transformador e nas medidas efetuadas com transformadores.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Apresente os resultados das experiências de indução efetuadas com bobinas e ímãs, descrevendo claramente as diversas situações experimentais e usando esquemas, desenhos e gráficos sempre que possível (siga a seqüência dos itens 1.1, 1.2, 1.4 e 1.6).
- Descreva como foi a determinação dos pólos norte e sul do ímã permanente (item 1.3).
- Apresente os resultados das medidas com o transformador montado, descrevendo claramente as diversas situações experimentais e usando esquemas e desenhos sempre que possível (siga a seqüência dos itens 2.2 a 2.8).
- Monte um gráfico de V_{sec}/V_{prim} em função de N_{sec}/N_{prim} para os diferentes pares de bobinas estudados (item 2.9). Compare o resultado com o que você esperaria encontrar baseado na relação de transformação para um transformador ideal. Comente e discuta.
- A partir dos resultados das medidas com o transformador comercial (itens 3.1 e 3.2) estime qual a sua relação de transformação.

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

1. Suponha que uma bobina alimentada com corrente contínua (primária) seja colocada junto a uma outra bobina (secundária) ligada a um amperímetro. Há campo magnético atravessando a bobina secundária? Há fluxo magnético atravessando a bobina secundária? Há força eletromotriz induzida na bobina secundária? Explique as respostas.
2. Um transformador funciona com corrente contínua? Se um transformador eventualmente funcionou ao ser ligado à saída de uma fonte de tensão contínua, qual a explicação?
3. O funcionamento de um transformador está diretamente relacionado a que leis físicas?
4. Qual o papel dos núcleos utilizados nos transformadores? Qual a propriedade física importante que esses núcleos devem possuir?
5. O que as correntes de Foucault trazem de inconveniente ao funcionamento de um transformador? Descreva algumas "soluções" para o problema da geração de correntes de Foucault nos núcleos de transformadores.

NÃO DEIXE DE LER

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vol. 3, Seções 32.2 a 32.4 (sobre leis de Faraday e Lenz), Questões 23 e 24 do Capítulo 32 (sobre correntes de Foucault), Seção 36.6 (sobre transformadores), Seção 34.8 (uso do núcleo no transformador).

FOLHA DE DADOS E9

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Indução com ímã permanente e bobina

Situação: Resultado:

Aproximando o ímã permanente da bobina: _____

Afastando o ímã da bobina: _____

Mantendo o ímã fixo e aproximando a bobina: _____

Mantendo o ímã fixo e afastando a bobina: _____

Esquema para a determinação dos pólos de um ímã permanente

Indução com bobina primária alimentada com tensão DC e bobina secundária

Situação: Resultado:

Aproximando a bobina 1ª da bobina 2ª: _____

Afastando a bobina 1ª da bobina 2ª: _ _____

Mantendo a bobina 1ª fixa e aproximando a bobina 2ª: _____

Mantendo a bobina 1ª fixa e afastando a bobina 2ª: _____

Indução com bobina primária alimentada com tensão AC e bobina secundária

Situação: Resultado:

Aproximando a bobina 1ª da bobina 2ª: _____

Afastando a bobina 1ª da bobina 2ª: _ _____

Mantendo a bobina 1ª fixa e aproximando a bobina 2ª: _____

Mantendo a bobina 1ª fixa e afastando a bobina 2ª: _____

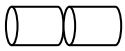
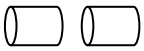
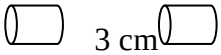
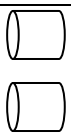
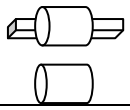
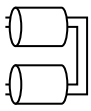
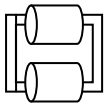
Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____ E9

Montagem e estudo de um transformador

Número de espiras na bobina primária: _____

Número de espiras na bobina secundária: _____

Dados de tensão nas bobinas primária e secundária:

Situação	V_{prim} (__)	ΔV_{prim} (__)	V_{sec} (__)	ΔV_{sec} (__)	V_{sec}/V_{prim}	N_{sec}/N_{prim}
 0 cm						
 1 cm						
 3 cm						
						
						
						
Barra não laminada 						
Barra laminada, posição 1 horizontal						
Barra laminada, posição 2 vertical						

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____ E9

Transformador montado

Dados de tensão nas bobinas primária e secundária para diferentes pares de bobinas:

N_{prim}	N_{sec}	V_{prim} (__)	ΔV_{prim} (__)	V_{sec} (__)	ΔV_{sec} (__)	V_{sec}/V_{prim}	N_{sec}/N_{prim}

Transformador comercial

Dados de tensão nas bobinas primária e secundária:

V_{prim} (__)	ΔV_{prim} (__)	V_{sec} (__)	ΔV_{sec} (__)	V_{sec}/V_{prim}

Física Experimental II - Experiência E10

Osciloscópio e Circuitos de Corrente Alternada

OBJETIVOS

- Aprendizado sobre funcionamento do osciloscópio e sua utilização em circuitos simples de corrente alternada.
- Retificação com diodo e ponte de diodos.

MATERIAL

Osciloscópio, gerador de sinais, resistor, capacitores, indutor, diodo, ponte de diodos, multímetro.

INTRODUÇÃO

O osciloscópio é um equipamento largamente aplicado em laboratórios de eletricidade por permitir uma visualização da variação com o tempo de sinais elétricos alternados (ou seja, por permitir a visualização das *formas de onda* desses sinais). Basicamente o osciloscópio consiste num *tubo de raios catódicos* (TRC) composto de uma fonte emissora de elétrons (*catodo*) e um sistema de grades aceleradoras e anodos responsáveis por agrupar os elétrons em feixes paralelos. O TRC contém um conjunto de *placas de deflexão* que desviam a trajetória dos elétrons simultaneamente nas direções horizontal e vertical até que eles atinjam um *anteparo* feito de material *fosforescente*, deixando um traço luminoso que pode ser observado externamente na tela do osciloscópio.

A posição desse ponto luminoso na tela depende dos valores dos campos elétricos criados entre as placas defletoras, portanto das diferenças de potencial a elas aplicadas. Se, por exemplo, às placas de deflexão vertical for aplicado um sinal senoidal ($V_y = A\text{sen}\omega t$), o ponto luminoso deslocar-se-á para cima e para baixo com freqüência ω e, se esta for suficientemente alta (normalmente maior que 10 ciclos por segundo ou 10 Hz), será observada apenas uma linha vertical. Considere agora que simultaneamente seja aplicado às placas de deflexão horizontal um *sinal de varredura*, que varia periodicamente de maneira linear com o tempo ($V_x = kt$), numa forma de onda denominada *dente de serra*. O movimento do ponto luminoso (ou a forma de onda exibida na tela) será descrito por uma função do tipo $y = y_m\text{sen}[(\omega/k)x]$. Assim, desde que o período do sinal de varredura seja convenientemente ajustado, poderemos observar na tela um sinal também senoidal, com amplitude e freqüência proporcionais àquelas correspondentes à ddp aplicada às placas de deflexão vertical. Se às placas de deflexão horizontal for aplicado um sinal também senoidal, serão observadas na tela as chamadas *figuras de Lissajous*, cuja forma depende diretamente da relação entre as amplitudes e freqüências dos sinais, horizontal e vertical.

Os osciloscópios modernos funcionam com dois canais distintos, permitindo que sejam observados simultaneamente dois sinais diferentes. O ajuste do sincronismo entre o sinal de varredura e os sinais a serem medidos é feito a partir da medida da variação com o tempo de um sinal de referência, que pode ser, por exemplo, o próprio sinal de entrada em um dos dois canais de detecção na vertical. Esse ajuste pode ser feito manualmente a partir do controle denominado *trigger* (disparo ou gatilho); o sinal que será usado como referência para o ajuste do *trigger* (canal 1 ou canal 2, por exemplo) é escolhido numa chave de controle denominada *trigger source* (fonte de disparo). Normalmente deve-se escolher como fonte de *trigger* o sinal mais intenso dentre os canais 1 e 2, para uma melhor visualização da forma de onda. Na tela graduada do osciloscópio podem ser efetuadas medidas de tensão (na vertical) ou de tempo (na horizontal), sendo para isso utilizados os fatores de conversão (fornecidos em *volts/divisão* ou *segundos/divisão*) indicadas nos controles manuais de escala dos canais 1 e 2 e da frequencia de varredura.

Maiores detalhes sobre o funcionamento do osciloscópio e esquemas representativos podem ser encontrados na obra de referências bibliográficas apresentadas ao fim deste texto.

PROCEDIMENTOS

OBS.: As medidas de tensão no osciloscópio são feitas com o uso de *cabos coaxiais*, sendo o fio interno ligado a uma *ponta de prova*. Para medir a ddp $V_B - V_A$ entre dois pontos A e B quaisquer de um circuito, deve-se conectar um fio de referência ao ponto A e a ponta de prova ao ponto B. A ponta de prova pode ser ligada ao canal 1 ou ao canal 2 do osciloscópio. O fio de referência, que pode ser um fio independente ou a própria malha condutora do cabo coaxial que está ligado à ponta de prova, deve ser ligado à entrada de referência (*terra*) do osciloscópio.

1. Verificação da calibração do osciloscópio

1.1 Meça o sinal de calibração (uma onda quadrada com amplitude e período especificados) gerado pelo próprio osciloscópio e observe na tela o sinal. Para medir este sinal basta conectar a ponta de prova na saída do sinal de calibração, que deve estar no painel do osciloscópio. Não é necessário ligar o fio terra, pois este é comum aos dois canais de medida e ao gerador de onda quadrada. Meça na tela a amplitude e o período e verifique se o osciloscópio encontra-se calibrado, ou seja, se os valores medidos conferem com os esperados. Caso contrário, utilize os ajustes de calibração dos controles das escalas vertical e horizontal para calibrar corretamente o osciloscópio. Esse procedimento deve ser efetuado para o canal 1 e para o canal 2. Anote na folha de dados a tensão pico a pico e o período deste sinal com as respectivas incertezas.

2. Observação de diferentes formas de onda no osciloscópio

2.1 Ligue a extremidade de um cabo, com conector BNC, na saída do gerador de sinais (*main*), e na outra extremidade, um resistor instalado na placa de montagens. Primeiro ligue o fio terra do

osciloscópio a uma das extremidades do resistor, e na outra extremidade a ponta de prova. Observe no osciloscópio as diferentes formas de onda (senoidal, onda quadrada, dente de serra, etc) que podem ser geradas na saída principal do *gerador de sinais*.

2.2 Com a forma de onda senoidal, explore os controles de amplitude e freqüência do gerador de sinais. Fixe uma freqüência e uma amplitude arbitrárias e meça diretamente na tela do osciloscópio os valores de amplitude de tensão pico a pico e de período. Calcule a freqüência desse sinal. Registre essas medidas na Folha de Dados.

2.3 Meça com um multímetro digital a freqüência e a tensão eficaz do mesmo sinal observado acima.

3. Retificação com diodos e ponte de diodos

3.1 Com o resistor ainda ligado a saída do gerador de sinais ajuste a saída do gerador para um sinal senoidal, com freqüência aproximada de 200 Hz e amplitude máxima. Observe no osciloscópio a ddp nos terminais do resistor. Use a entrada DC. Registre na Folha de Dados o esboço da forma de onda no resistor. Escreva as escalas dos eixos de tensão e tempo no gráfico. Com um multímetro em escala AC meça a amplitude máxima desse sinal na tela.

3.2 Monte um circuito com um diodo em série com um resistor, alimentados por uma tensão alternada senoidal (do gerador de sinais para a mesma condição anterior).

3.3 Observe no osciloscópio a ddp nos terminais do resistor. Experimente visualizar o sinal com a chave de entrada nas posições AC e DC. Para o passo seguinte use a entrada DC. Registre na Folha de Dados o esboço (na mesma escala!) da forma de onda no resistor. Escreva a escalas do eixo de tensão e tempo no gráfico. Com um multímetro em escala DC meça a amplitude máxima desse sinal na tela.

3.4 Substitua o diodo por uma *ponte de diodos*. Observe novamente no osciloscópio a ddp nos terminais do resistor e registre na Folha de Dados o esboços dessa forma de onda. Com um multímetro em escala DC meça a amplitude máxima desse sinal na tela.

3.5 Conecte agora uma caixa com capacitores, de diversos valores, em paralelo com o resistor e repita o procedimento acima. Meça a amplitude máxima desse sinal na tela. Observe o sinal para vários valores de capacitância.

3.6 Faça medidas com o multímetro nas escalas AC e DC. Anote o valores de R *e* C utilizados.

TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Características gerais e funcionamento do osciloscópio.
- Quais grandezas podem ser medidas com o uso do osciloscópio.
- Retificação de meia onda e onda completa.
- Demonstrar a retificação de onda completa com uma ponte de diodos construída com LED's.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Esquematizar os principais componentes de um osciloscópio e explicar sua finalidade.
- Descrever a retificação de meia onda, onda completa e explicar seu funcionamento. Ilustrar formas de onda.

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

- Descreva como foi feito o processo de calibração do osciloscópio. Foi ou não necessário utilizar os ajustes de calibração das escalas verticais e da escala horizontal?
- Explique como o osciloscópio foi usado para a medida de amplitude e freqüência do sinal senoidal do gerador de sinais.
- Esquematize a montagem dos circuitos envolvidos (só com *R*, com diodo, com ponte e com *C*).

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Compare os valores de freqüência e amplitude do sinal senoidal, do gerador de sinais, medido no osciloscópio com aqueles medidos no multímetro. Os valores coincidem? Deveriam coincidir? São compatíveis? Qual a relação entre eles?
- Estime as incertezas envolvidas nos valores medidos no osciloscópio, com base nas escalas de tempo e de tensão empregadas.

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

1. Um "eliminador de pilhas" doméstico comum converte a tensão residencial de 127 V (AC) numa tensão de 12 V (DC). Baseado no que você aprendeu nas Experiências 8, 9 e 10, que componentes você esperaria encontrar dentro de um dispositivo como esse? Qual a função de cada elemento?
2. Qual a influencia do valor de *C* na retificação de sinal alternado? Explique, comparando o produto RC com o período do sinal utilizado.

NÃO DEIXE DE LER

José Goldemberg, Física Geral e Experimental, 2º Vol., pp. 356-364 (sobre as características gerais e funcionamento do osciloscópio).

James J. Brophy, Eletrônica Básica, pp. 64-67 (sobre o osciloscópio), 98-104 (sobre retificação com diodos).

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vol. 3 Seção36.5 (sobre valores de medida RMS).

FOLHA DE DADOS E10

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

Calibração do osciloscópio

Amplitude de tensão pico a pico: _____±_____ ( ) Escala vertical:_____( )

Período: _____±_____ ( ) Escala horizontal:_____ ( )

Freqüência calculada: _____±_____ ( )

Medidas com o sinal senoidal:

*** No osciloscópio:**

Amplitude de tensão pico a pico: _____±_____ ( ) Escala vertical:_____ ( )

Período: _____±_____ ( ) Escala horizontal:_____ ( )

Freqüência calculada: _____±_____ ( )

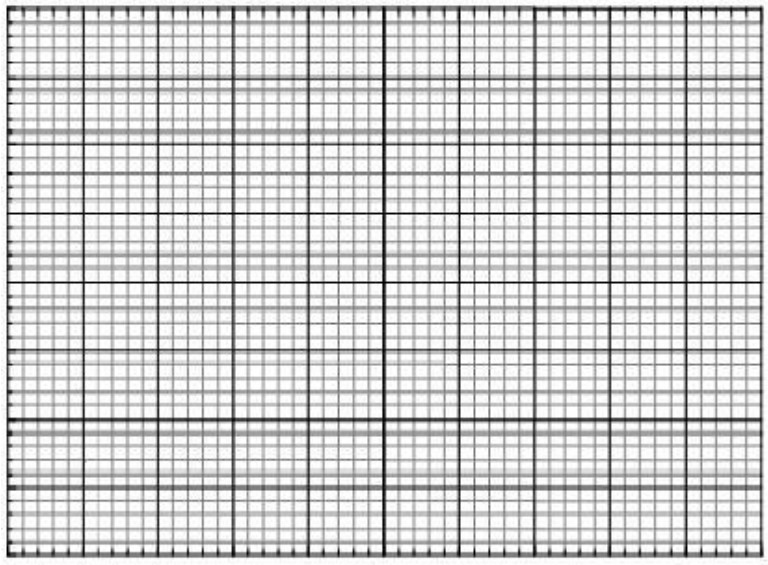
*** No multímetro:**

Freqüência _____±_____ ( )

Tensão eficaz _____±_____ ( )

Circuito retificador

3.1 Forma de onda no gerador de sinais (medida em paralelo com o resistor):



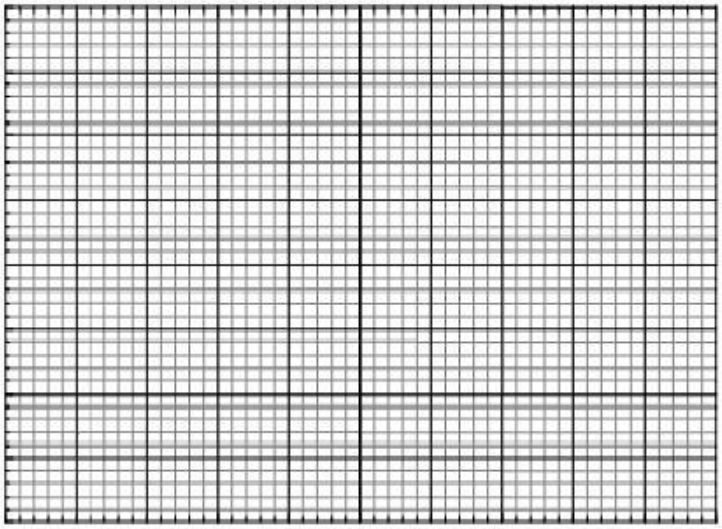
Amplitude do sinal no voltímetro.

$V_{AC(eficaz)}$ = _____± _____( )

Amplitude pico a pico no osciloscópio.

V_{pp} = _____ ± _____ ( )

Forma de onda no resistor com diodo (3.3):

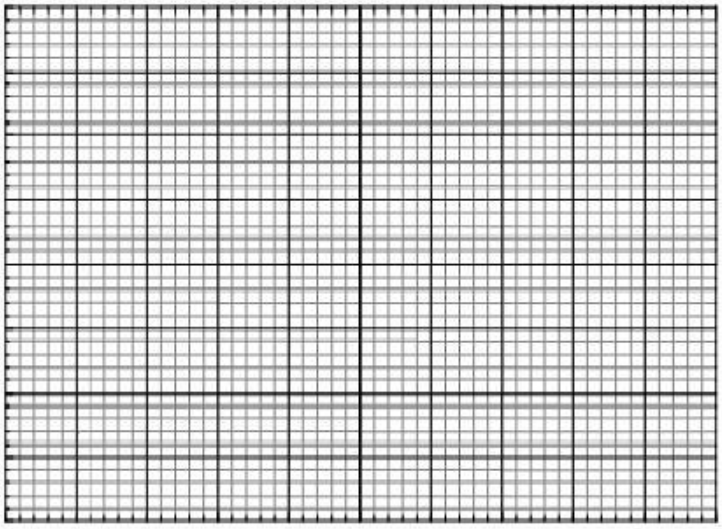


Amplitude do sinal no voltímetro

V_{DC} = _____ ± _____( )

Desenho do circuito

Forma de onda no resistor com ponte de diodos (3.4):

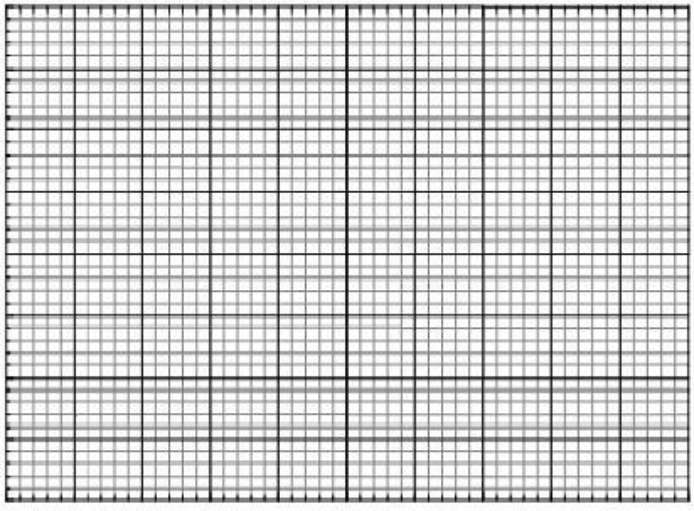


Amplitude do sinal no voltímetro

V_{DC} = _____ ± _____( )

Desenho do circuito

Forma de onda no resistor com ponte de diodos e capacitor (3.5):



3.6: Amplitude do sinal no voltímetro

V_{DC} = _____ ± _____( )

R = _____( )

C = _____( )

Física Experimental II - Experiência E11

Circuito RLC e ressonância

OBJETIVOS

- Estudo do circuito RLC alimentados com tensão senoidal.
- Ressonância no circuito RLC-série.
- Oscilações naturais no circuito LC.

MATERIAL

Osciloscópio, gerador de sinais, resistores, capacitor, indutores, multímetro, fonte DC.

INTRODUÇÃO

Circuito RLC:

A aplicação de uma tensão alternada $\varepsilon(t) = \varepsilon_m \text{sen}\omega t$ a um circuito contendo um resistor com resistência R em série com um capacitor com capacitância C e um indutor com indutância L leva ao surgimento de uma corrente elétrica estacionária dada por

$$i(t) = I_m \text{sen}(\omega t - \phi), \tag{11.1}$$

sendo a amplitude I_m e o ângulo de fase ϕ dados por:

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \tag{11.2}$$

$$\phi = \text{arctg}\frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \tag{11.3}$$

O fator que relaciona I_m a ε_m é a chamada *impedância Z* do circuito:

$$Z = \varepsilon_m / I_m = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \tag{11.4}$$

As tensões no resistor, no capacitor e no indutor são dadas respectivamente por $v_R(t) = Ri(t)$, $v_C(t) = q(t)/C = (1/C)\int i(t)dt$ e $v_L(t) = Ldi/dt$. Substituindo a expressão da corrente de 11.1, encontramos:

$$v_R(t) = V_{0R}\,\text{sen}(\omega t - \phi) \tag{11.5}$$

$$v_C(t) = V_{0C}\,\text{sen}(\omega t - \phi - \pi/2) \tag{11.6}$$

$$v_L(t) = V_{0L}\,\text{sen}(\omega t - \phi + \pi/2) \tag{11.7}$$

Assim, as tensões no resistor, no capacitor e no indutor são todas funções senoidais, com a mesma freqüência da tensão da fonte alimentadora, mas com diferentes *defasagens*: a tensão no resistor está sempre *em fase* com a corrente no circuito, enquanto que a tensão no capacitor está *atrasada* de 90° em relação a $v_R(t)$ e a tensão no indutor está *adiantada* de 90° em relação a $v_R(t)$. As amplitudes dessas tensões podem ser obtidas de 11.2:

$$V_{0R} = \frac{R\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \tag{11.8}$$

$$V_{0C} = \frac{\varepsilon_m / \omega C}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \tag{11.9}$$

$$V_{0L} = \frac{\omega L\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \tag{11.10}$$

Os coeficientes $X_C = V_{0C}/I_m = 1/\omega C$ e $X_L = V_{0L}/I_m = \omega L$ são respectivamente a *reatância capacitiva* e a *reatância indutiva* do circuito. Com o aumento na freqüência, a reatância capacitiva diminui e, conseqüentemente, diminui a amplitude de tensão no capacitor V_{0C}; ao mesmo tempo, com o crescimento na reatância indutiva, cresce a amplitude de tensão no indutor V_{0L}. A freqüência em que essas amplitudes se igualam é dada por $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, portanto sendo igual à *freqüência natural* das oscilações num circuito LC livre (sem fonte de alimentação externa). Quando a freqüência da tensão alimentadora ω se iguala a ω_0 o circuito encontra-se em condição de *ressonância*, sendo a amplitude de corrente I_m e a amplitude de tensão no resistor V_{0R}, máximas para essa freqüência, como pode ser facilmente observado em 11.2 e 11.8. Por essa razão a freqüência ω_0 é denominada *freqüência de ressonância* do circuito RLC.

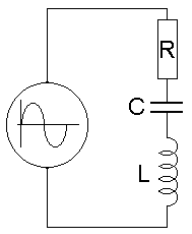
Em freqüências menores que ω_0 o circuito é predominantemente *capacitivo*, sendo $X_C > X_L$ e o ângulo de fase $\phi < 0$; para $\omega > \omega_0$, o circuito passa a ser *indutivo*, com $X_L > X_C$ e $\phi > 0$. Na ressonância temos $X_C = X_L$ e $\phi = 0$, ou seja, a corrente e a tensão aplicadas estão *em fase*, sendo portanto o circuito puramente *resistivo*. Em qualquer freqüência as amplitudes V_{0C}, V_{0L} e V_{0R} são relacionadas por $\varepsilon_m^2 = V_{0R}^2 + (V_{0L} - V_{0C})^2$, relação que pode, juntamente com 11.2 e 11.3, ser imediatamente obtida a partir do *diagrama de fasores* do circuito.

PROCEDIMENTOS

1. ***Circuito RLC-série***

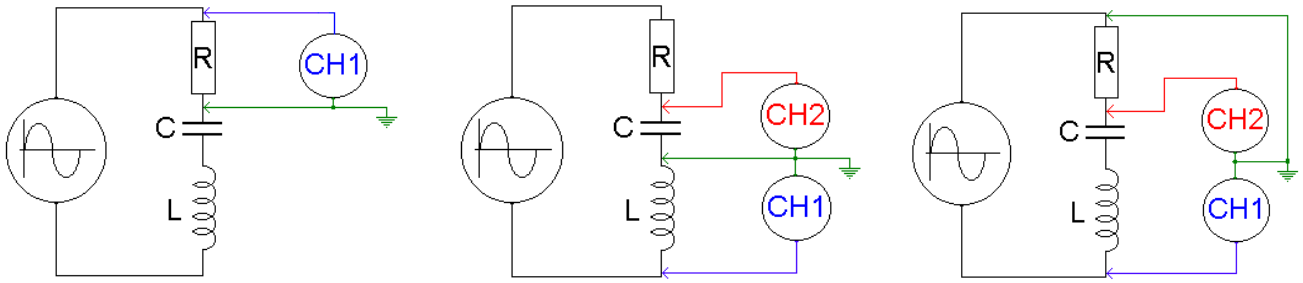
1.1 Leia (ou meça) os valores nominais de *R*, *L* e *C* e registre-os na Folha de Dados.

1.2 Monte um circuito RLC em série e alimente-o com uma tensão alternada senoidal (do gerador de sinais).



1.3 Utilize os três métodos a seguir para obter, a partir do período medido diretamente no osciloscópio, a freqüência de ressonância f_0 do circuito RLC-série:

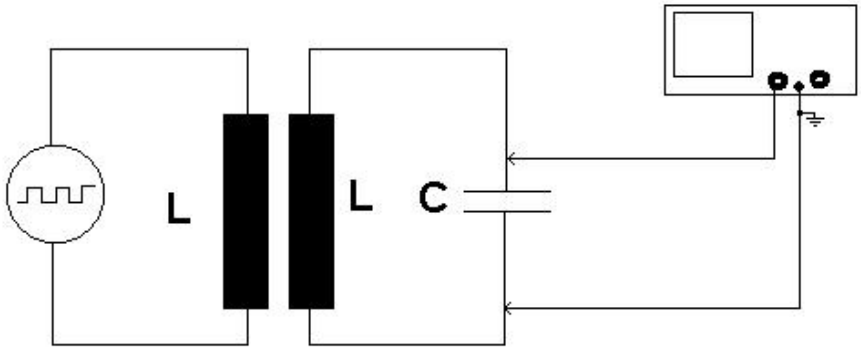
- Utilizando apenas um canal no osciloscópio, varie a freqüência de alimentação até encontrar a situação em que a amplitude de tensão no resistor passa por um máximo.
- Conecte aos canais 1 e 2 do osciloscópio as tensões no indutor e no capacitor e localize a freqüência em que as amplitudes de tensão se igualam. *Tome o cuidado de manter as mesmas escalas verticais nos canais 1 e 2 para efetuar essa medida*.
- Conecte aos canais 1 e 2 do osciloscópio as tensões no resistor e na fonte e localize a freqüência em que essas tensões encontram-se em fase.



1.4 Escolha uma freqüência fora da ressonância e meça o valor de δt (defasagem temporal entre $v_R(t)$ e $\varepsilon(t)$, ou seja, entre a corrente e a tensão). O ângulo de fase ϕ, obtido a partir de δt, juntamente com os valores de V_{0C}, V_{0L}, V_{0R}, ε_m e f serão usados no relatório para o estudo do diagrama de fasores nessa freqüência.

2. Circuito LC

2.1 Alimente uma segunda bobina (externa ao circuito LC) com uma forma de onda quadrada proveniente do gerador de sinais. Coloque essa bobina próxima à própria bobina do circuito LC e ajuste o período da onda quadrada de forma que o sinal transiente do circuito LC possa ser observado com persistência na tela do osciloscópio. A partir desse sinal efetue uma outra medida da freqüência natural de oscilação do circuito LC.



TÓPICOS A SEREM DISCUTIDOS EM SALA

- Regimes transiente e estacionário em circuitos de corrente alternada.
- Lei das malhas e diagrama de fasores no circuito RLC em série.
- Qual o significado físico da ressonância num circuito RLC.
- Como observar a ressonância e como medir o valor da freqüência de ressonância no osciloscópio.

ASPECTOS TEÓRICOS A SEREM ABORDADOS NO RELATÓRIO

- Obter as relações 11.2 e 11.3 e a relação entre ε_m, V_{0C}, V_{0L} e V_{0R}, utilizando a lei das malhas no circuito RLC-série. Isso pode ser feito *algebricamente* com a substituição da corrente em regime estacionário dada por 11.1 na expressão da lei das malhas ou *graficamente* a partir do diagrama de fasores.
- Esquematizar o diagrama de fasores do circuito RLC-série numa freqüência arbitrária.
- Esboçar como variam com a freqüência as amplitudes de tensão, a impedância e a defasagem (entre corrente e tensão aplicada) no circuito RLC-série.
- Escrever a expressão (e esboçar um gráfico) para a carga em função do tempo num capacitor colocado em série com um indutor num circuito LC livre (com uma pequena resistência *r* correspondendo à resistência da bobina e dos fios de ligação). Qual a freqüência natural de oscilação desse circuito?

ASPECTOS PRÁTICOS A SEREM DESCRITOS NO RELATÓRIO

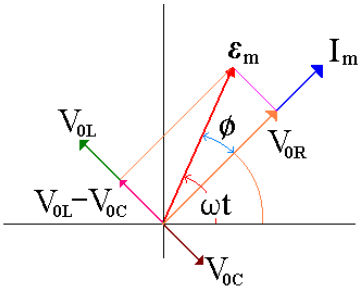
1. Esquematize a montagem experimental do circuito RLC-série, indicando a posição em que foram conectados os canais 1 e 2 do osciloscópio nas diferentes medidas efetuadas.
2. Esquematize a montagem experimental do circuito LC livre, indicando como foram efetuadas as conexões da fonte DC e da bobina externa.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

- Faça os cálculos dos valores experimentais obtidos para a freqüência de ressonância do circuito RLC-série e apresente os resultados em uma tabela para todos os **CINCO CASOS** (valor nominal, os três métodos de ressonância e o circuito LC livre), com suas respectivas incertezas. Compare o resultado do circuito LC livre com aqueles previamente obtidos (a partir dos valores nominais e as medidas diretas no osciloscópio).
- Monte diagrama de fasores do circuito RLC-série na freqüência arbitrária *f* escolhida em 1.4 Para isso, siga os procedimentos abaixo:

➢ Apresente os valores experimentais de *f*, ε_m, V_{0C}, V_{0L}, V_{0R} e ϕ, todos com as respectivas incertezas.

➢ Monte (em uma escala conveniente num papel milimetrado) o diagrama de fasores para o circuito RLC-série, usando *somente* os valores obtidos experimentalmente para V_{0C}, V_{0L} e V_{0R}.



➢ Obtenha a partir desse diagrama os valores de ε_m e ϕ (graficamente ou usando relações de geometria plana). Compare com os valores encontrados experimentalmente no item 1.4.

➢ Calcule novamente o valor de ϕ, agora usando na equação 11.3 o valor medido de *f* e os valores nominais de *R* e *C*. Compare com o valor obtido no item anterior e com o valor experimental.

QUESTÕES A SEREM DISCUTIDAS NO RELATÓRIO

1. Qual o significado físico do fenômeno de ressonância? Explique comparando com o fenômeno similar que ocorre em diversos sistemas mecânicos.
2. Imagine que alguém lhe entregue um capacitor (ou um indutor) e lhe peça para determinar experimentalmente o valor de sua capacitância (ou indutância). Explique como os procedimentos utilizados nessa experiência podem ser aplicados para essa finalidade.
3. Como se pode concluir num circuito RLC-série, se a freqüência de uma tensão senoidal aplicada está acima ou abaixo da freqüência de ressonância?
4. A potência média dissipada em um circuito RLC-série pode ser escrita como $(1/2)\varepsilon_m I_m \cos\phi$, sendo o termo $\cos\phi$ chamado *fator de potência*. Quanto menor for o ângulo de fase ϕ (entre a tensão aplicada e a corrente), mais resistivo será o circuito e maior será a taxa de transferência de energia da fonte para o resistor. Explique que parâmetros do circuito podem ser ajustados na prática para se obter um valor ideal para o ângulo de fase.

NÃO DEIXE DE LER

Halliday, Resnick & Walker, Fundamentos de Física, Vol. 3, Seções 36.4 (sobre circuitos RLC-série), 36.5 (sobre potência e fatores de potência), 35.5 (sobre oscilações amortecidas no circuito LC), 35.6 (sobre oscilações forçadas e ressonância), Problemas 36.21 e 36.51 (sobre fator de qualidade).

James J. Brophy, Eletrônica Básica, pp. 73-76 (sobre circuitos RLC-série), 79-80 (sobre fator de qualidade).

José Goldemberg, Física Geral e Experimental, 2º Vol., pp. 270-273 (sobre circuito RLC-série e fator de qualidade).

FOLHA DE DADOS E11

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

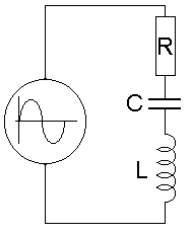
1.1) VALORES NOMINAIS:

R = _____ ±_____( ) C = _____ ±_____( ) L = _____ ±_____ ( )

1.3) MEDIDA DA FREQÜÊNCIA DE RESSONÂNCIA:

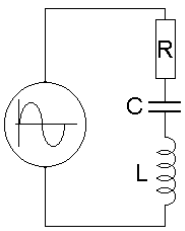
$T(V_{oRmax})_{01}$ = _____ ±_____ ( ) Escala de tempo utilizada: _____( )

f_{01} = _____ ±_____ ( )



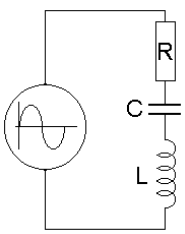
$T(\boldsymbol{V_{0C}} = \boldsymbol{V_{0L}})_{02}$ = _____ ±_____( ) Escala de tempo utilizada: _____( )

f_{02} = _____ ±_____ ( )



$T(\Phi(\varepsilon_m, V_{oR}) = 0)_{03}$ = _____ ±_____( ) Escala de tempo utilizada:_____ ( )

f_{03} = _____ ±_____ ( )



FOLHA DE DADOS E11

Grupo: _____ Turma: _____ Data: _____ Prof.: _____

1.4) DADOS PARA MONTAGEM DO DIAGRAMA DE FASORES:

Medidas feitas com o osciloscópio

V_{0R} = _____ ±____ ( ) V_{0C} = _____ ±_____ ( ) V_{0L} = _____ ±_____ ( )

ε_m = _____ ±____ ( ) T = _____ ±____ ( ) δt = _____ ±_____ ( )

Medidas feitas com o multímetro

ε_{ef} = _____ ±_____ ( ) f = _____ ±_____ ( )

2.2) MEDIDA DA FREQÜÊNCIA NATURAL DO CIRCUITO **LC** LIVRE - USO DA BOBINA EXTERNA ALIMENTADA COM ONDA QUADRADA:

T_0 = _____ ±_____ ( ) Escala de tempo utilizada: _____( )

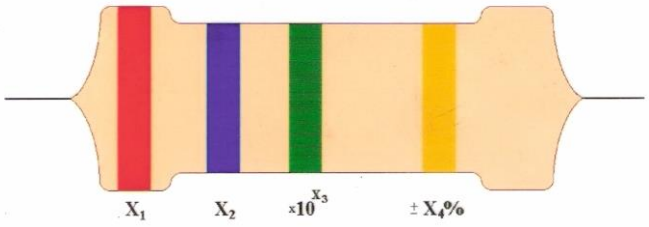
f_0 = _____ ±_____ ( )

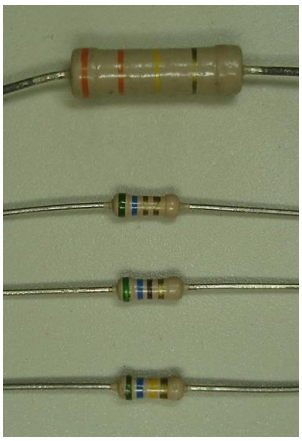
APÊNDICE I

CÓDIGO DE CORES

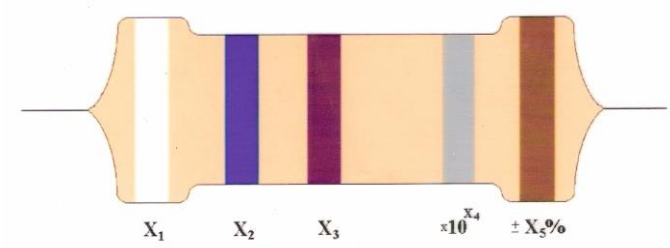
NÚMERO	COR	3ª FAIXA
0	**P**reto	10^0
1	**M**arrom	10^1
2	**V**ermelho	10^2
3	**L**aranja	10^3
4	**A**marelo	10^4
5	**V**erde	10^5
6	**A**zul	10^6
7	**VI**oleta	10^7
8	c**I**nza	10^8
9	**BRAN**co	10^9
5%	**DO**urado	10^{-1}
10%	**PRATA**	10^{-2}
20%	**SEM COR**	10^{-3}

Resistor com 4 faixas – 5 ou 10% de incerteza.



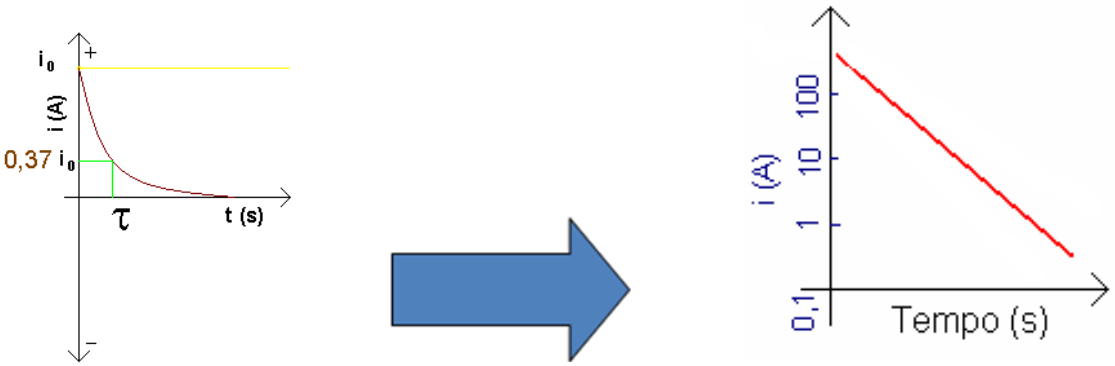


Resistor de precisão, usam 5 faixas – 1 ou 2% de incerteza.



APÊNDICE II

Linearização para uma curva com comportamento exponencial



Processo de carga: $i(t) = (\varepsilon/R)e(-t/\tau)$

Se for aplicado o logaritmo na base 10

$$\log (i(t)) = \log ((\varepsilon/R)e(-t/\tau))$$

$$\log i(t) = \log (\varepsilon/R) + \log e(-t/\tau)$$

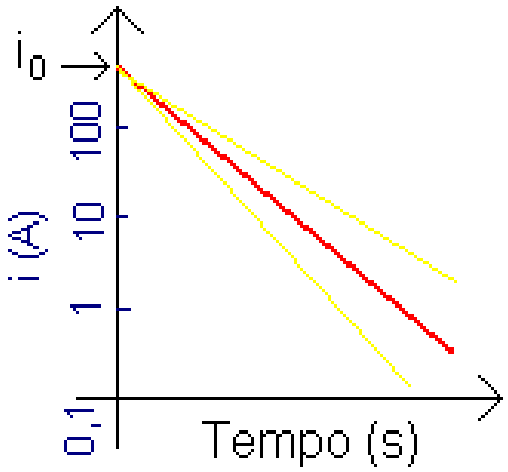
$$\log i = \log (i_0) + [-(\log e)/\tau]\, t$$

$$\log i = + [-(\log e)/\tau]\, t + \log (i_0)$$

$$\mathbf{Y = m\ x + b}$$

Se for usado um papel monolog:

Coloca-se diretamente o valor da corrente no eixo *y* e o tempo no eixo *x*



O coeficiente angular será: $m = [\log (Yp) - \text{Log } (Yq)] / Xp - Xq$

$$m = \log (Yp/Yq) / Xp - Xq = -(\log e)/\tau$$

Se for aplicado o logaritmo natural e papel milimetrado

Processo de carga: $i(t) = (\varepsilon/R)e(-t/\tau)$

$$i(t) = (\varepsilon/R)e(-t/\tau)$$

$$\ln (i(t)) = \ln ((\varepsilon/R)e(-t/\tau))$$

$$\ln i(t) = \ln (\varepsilon/R) + \ln e(-t/\tau)$$

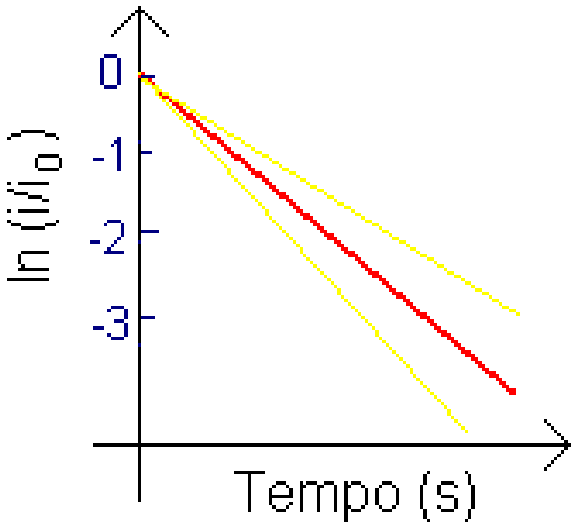
$$\ln i = \ln (i_0) + (-t/\tau)$$

$$\ln i - \ln (i_0) = -t/\tau$$

$$\ln (i/i_0) = (-1/\tau)\, t$$

$$Y = m\ x$$

Assim o coeficiente angular da reta será: $m = -1/\tau$



Processo de descarga: $i(t) = -(\varepsilon/R)e(-t/\tau)$

Neste caso não se deve aplicar o logaritmo diretamente na expressão acima, pois não se pode fazer o logaritmo de um número negativo. Primeiro deve-se aplicar o módulo na expressão acima, ficando:

$|i(t)| = |-(\varepsilon/R)e(-t/\tau)|$

Assim a expressão fica:

$|i(t)| = (\varepsilon/R)e(-t/\tau)$

Aplicando o logaritmo natural se chega à uma solução semelhante a anterior.

$$\ln (|i|/i_0) = (-1/\tau)\, t$$

FACILITANDO AS CONTAS

Processo de ***carga***: $i(t) = (\varepsilon/R)e(-t/\tau)$

Dividem-se ambos os lados da equação por: $i^* = 1\ \mu A$

$$i(t)/i^* = (\varepsilon/R)e(-t/\tau)/i^*$$

$$\ln i(t)/i^* = \ln [(\varepsilon/Ri^*)e(-t/\tau)]$$

$$\ln i(t)/i^* = \ln (\varepsilon/Ri^*) + \ln e(-t/\tau)$$

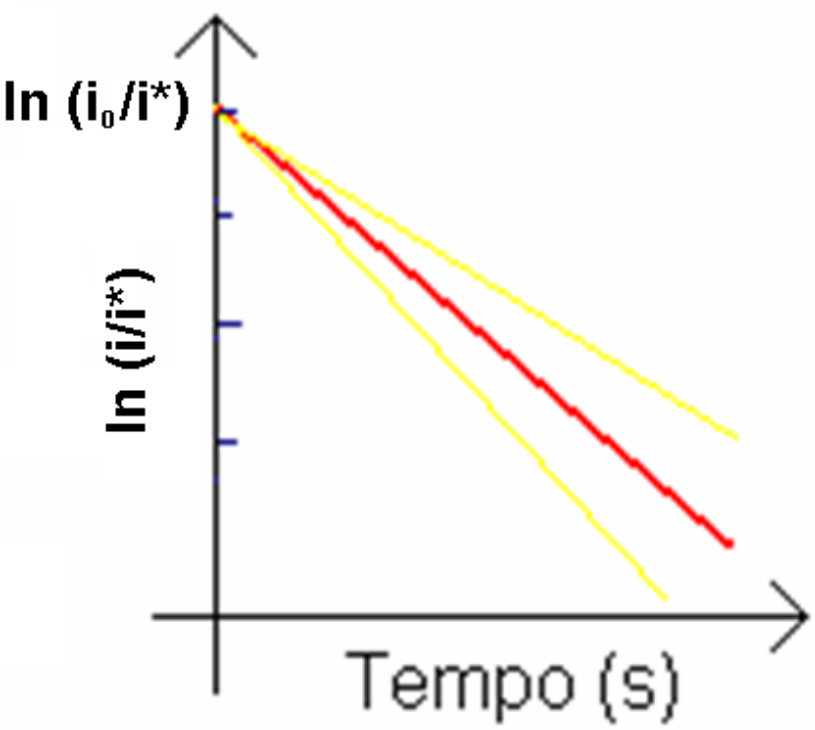
$$\ln i/i^* = \ln (i_0/i^*) + (-t/\tau)$$

$$\ln i/i^* = -t/\tau + \ln (i_0/i^*)$$

$$\ln (i/i^*) = (-1/\tau)\, t + \ln (i_0/i^*)$$

Y = m x + b Que é a equação de uma reta.

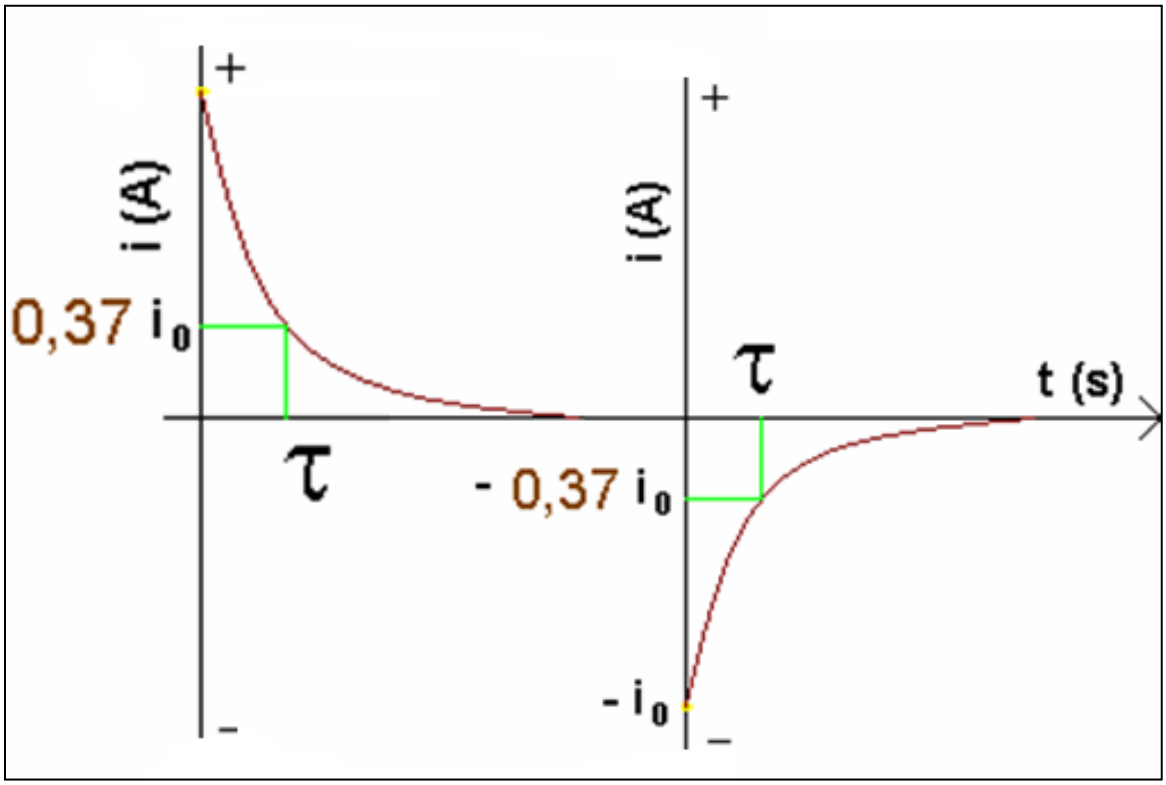
Assim o coeficiente angular da reta será: m = -1/τ



Agora repita para o processo de descarga, usando o modulo da corrente.

Gráficos do relatório

Primeiro gráfico a ser feito: Corrente de carga e descarga

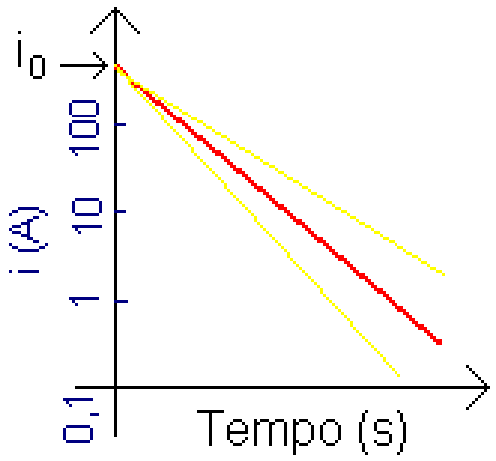


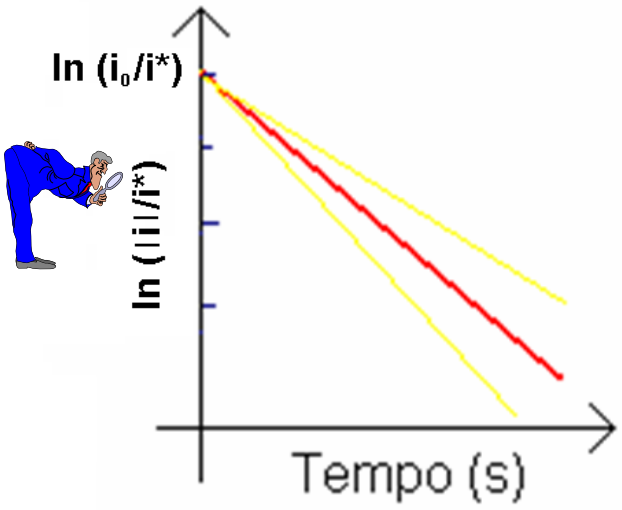
Após confecção dos gráficos obter a constante de tempo para os dois casos.

Segundo e terceiro gráficos

Processo de carga

Papel monolog



Processo de descarga

Papel milimetrado