

## **4300373 - Laboratório de Eletromagnetismo**

**2º SEMESTRE DE 2013**

### **Introdução:**

*Os objetivos do Laboratório de Eletromagnetismo.*

Das equações de Maxwell

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0\end{aligned}$$

deduz-se a existência de ondas eletromagnéticas com velocidade  $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$  e pode-se determinar todas as suas propriedades.

O objetivo da disciplina é estudar essa consequência das equações de Maxwell. Mas, produzir ondas eletromagnéticas e verificar suas propriedades, exige a utilização de instrumentos construídos com os materiais disponíveis que, como sabemos, têm resistência elétrica. Dessa maneira, a equação constitutiva

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

que corresponde mais a uma propriedade da matéria do que a uma relação fundamental do Eletromagnetismo, adquire uma grande importância prática na operação dos circuitos eletromagnéticos. Em particular, é dela que se deduz a Lei de Ohm,  $U=RI$ .

Nesta disciplina, que praticamente finaliza o estudo do Eletromagnetismo no seu curso, os experimentos iniciais destinam-se tanto a praticar com os equipamentos básicos - multímetro e osciloscópio - como a dar alguma sensibilidade para as grandezas básicas do eletromagnetismo - carga e campo

elétrico, que normalmente não são mensuráveis diretamente, e corrente e tensão, estas sim, mais fáceis de observar.

A primeira aula procura dar um apelo visual às leituras do multímetro o brilho da lâmpada dá indicação da corrente (ou da tensão) em seus terminais. As cargas elétricas, produzidas na pilha, formam uma corrente, que circula pelos fios sem sumir, até atingir o outro pólo da pilha. Lidaremos também com a dificuldade em realizar, na prática, com fios e terminais, os circuitos onde os componentes elétricos são representados de maneira abstrata.

A segunda aula procurará, de um lado, mostrar a existência de dispositivos para os quais a relação entre corrente e tensão é complexa e, por outro lado, praticar com o multímetro. Nessa aula, lidaremos principalmente com tensões da ordem de 1V, correntes entre 1 mA e 1 A e resistências entre 1  $\Omega$  e 1 k $\Omega$ .

Nas aulas seguintes (três), estudaremos circuitos RLC e aprenderemos a lidar com o osciloscópio. Começamos com o circuito RC, onde veremos a maneira de um capacitor descarregar através de um resistor. Utilizaremos primeiro o já familiar voltímetro e passaremos depois a usar o osciloscópio digital.

Na quarta aula estudaremos o comportamento do circuito RLC livre, isto é, verificaremos como evolui no tempo a corrente da descarga do capacitor nesse circuito. Utilizando um gerador de onda quadrada para carregar o capacitor, observaremos a oscilação (no tempo) da diferença de potencial entre as placas do capacitor. Esta etapa intermediária para o estudo das oscilações forçadas é essencial, uma vez que a solução da equação do circuito forçado exige o conhecimento da solução da equação correspondente à oscilação livre.

Finalmente, na 5ª aula, estudaremos o circuito RLC forçado. Note que o conteúdo físico básico da 3ª até a 5ª aula já é completamente conhecido, uma vez que foi estudado na disciplina de Eletricidade II. Sabendo lidar com os instrumentos de medidas elétricas, estaremos prontos para observar mais diretamente os campos elétrico e magnético no segundo ciclo de experimentos. Já as atividades da parte final do curso exploram os fenômenos ondulatórios para frequências nas faixas de GHz (micro ondas) e de  $10^{14}$  Hz para luz visível. No conjunto, ampliaremos também a faixa de valores de tensões e correntes utilizadas.

Enfim, propomo-nos a enfrentar o desafio de procurar entender como a mesma teoria lida com fenômenos tão diversos quanto os mencionados acima, onde as grandezas características variam por muitas ordens de grandeza. Esse é um grande desafio, principalmente quando vemos que só temos acesso às grandezas físicas por meio de instrumentos.

# Cronograma

## 2º semestre de 2013

### *Programa das atividades da disciplina*

DATAS		ATIVIDADES	
Diurno	Noturno	Experimento	Tarefas
06/08/2013	09/08/2013	1. Circuitos Simples	
13/08/2013	16/08/2013	2. Curvas Características	
20/08/2013	23/08/2013	3. Descarga em circuito RC	Entrega Exercício 1
27/08/2013	30/08/2013	4. Oscilações em circuito RLC	
10/09/2013	13/09/2013	5. Ressonância em circuito RLC	Entrega Exercício 2 <b>Sorteio do Relatório 1</b>
17/09/2013	20/09/2013	<i>Revisão para Prova 1</i>	
01/10/2013	04/10/2013	<b>Prova 1</b>	<b>Entrega do Relatório 1</b>
08/10/2013	11/10/2013	6. O Capacitor como Armazenador de Energia	Entrega Exercício 3
15/10/2013	18/10/2013	7. Mapeamento de campo magnético	
29/10/2013	25/10/2013	8. Linhas de Transmissão	Entrega Exercício 4
05/11/2013	01/11/2013	9. Polarização	
12/11/2013	08/11/2013	10. Interferência e Difração	Entrega Exercício 5 <b>Sorteio do Relatório 2</b>
19/11/2013	22/11/2013	<i>Revisão para Prova 2</i>	
26/11/2013	29/11/2013	<b>Prova 2</b>	<b>Entrega do Relatório 2</b>

**Dias sem aula:** Semana da Pátria (3 e 6/9); 24 e 27/9; 22/10 – diurno (Semana da Ciência e Tecnologia); 15/11 – Feriado.

**Equipe:****Professores:**

Elisabeth Mateus Yoshimura (emateus@if.usp.br)

Maria Fernanda de Araujo Resende (resende@fma.if.usp.br)

**Monitores:**

Daniela Nomura (daninomura@gmail.com) (PAE)

Eraldo Barros (eraldo.barros@gmail.com) (PAE)

Raphael Henrique de Carvalho Alves (raphael.alves@usp.br>) (PAE)

Fabiola Ferreira de Almeida (fabiola.almeida@usp.br) (PEEG)

Guilherme de Lollo Denardi (guilherme.denardi@usp.br) (PEEG)

**Equipe Técnica do Laboratório Didático:**

Adélio Pereira Dias

Dionísio Messias de Lima

Alvimar Floriano de Souza

Edelberto José dos Santos

Carlos Alberto Lourenço

Josiane Vieira Martins

Carlos Eduardo Freitas

Manoel Moura da Silva

Cláudio Hiroyuki Furukawa

Maria Cristina Soares Rosa

Ricardo Ichiwaki

**Instruções:**

Nesta disciplina você realizará 10 experimentos envolvendo medidas e/ou estudo de fenômenos naturais do eletromagnetismo, divididos em dois ciclos de 5 experimentos. Há um controle efetivo da presença, sendo necessária para aprovação a frequência a, pelo menos, 70 % das aulas. A reposição de uma falta pode ser feita na aula de revisão correspondente a cada ciclo de experimentos.

O critério de avaliação baseia-se nos relatórios, nos exercícios pedagógicos propostos e em duas provas práticas, todos individuais. Apenas a parte prática de laboratório é desenvolvida em equipe, de 2 a 3 alunos. Ao final de cada aula, cada equipe deve entregar o *Roteiro da Experiência* devidamente preenchido, com todos os cálculos e gráficos realizados. Esses roteiros são corrigidos e avaliados pela equipe de professores / monitores, mas não contribuem para as notas.

As aulas de revisão previstas no cronograma são oportunidades para complementar algum conteúdo e dar maior segurança para a execução das provas práticas.

Nas provas práticas você fará uma parte das experiências e análises feitas em aula, e cada prova se refere a um dos dois ciclos de experimentos.

O *Relatório* a ser entregue ao final de cada ciclo, é referente a *uma* das experiências do ciclo, mediante sorteio a ser feito com o seu professor. A entrega do relatório é feita no dia da prova.

A Nota Final da disciplina é calculada da seguinte maneira:

$$M_f = \frac{EP + R + P}{3}$$

**M<sub>f</sub>**: média final;

**EP**: média aritmética dos exercícios propostos;

**R**: média aritmética dos dois relatórios;

**P**: média aritmética das duas das provas (**que deve ser  $\geq 4,0$** ).

Se **P** < **4,0**, a média não é calculada e **M<sub>f</sub>**= **P**

**Atenção: Não há prova de recuperação para esta disciplina!**

---

Os **relatórios individuais** devem conter:

**I – Resumo:** Não deve apresentar detalhes desnecessários. Explique rapidamente o assunto da experiência, apresentando os principais resultados obtidos.

**II – Introdução:** Aqui deve ser discutido sucintamente o assunto da experiência, sua importância, possíveis aplicações práticas, etc. Os objetivos da experiência devem ser explicitados aqui.

**III – Parte Teórica:** Detalhar as equações mais importantes utilizadas nos cálculos dos resultados, utilizando suas próprias palavras. Não copiar simplesmente a apostila. Consultar outras fontes bibliográficas, mas não se alongar demasiadamente.

**IV – Descrição do Experimento:** A montagem, os procedimentos e os cuidados experimentais tomados devem ser detalhados. Figuras, quando forem pertinentes, devem estar numeradas, possuir legendas e devem estar referidas no texto (e aí também explicadas).

**V – Resultados Obtidos:** As tabelas e os gráficos devem ter legendas e serem numerados, bem como ser referenciados no texto. Cuidado com o número de algarismos significativos dos números (dados e resultados de cálculos) apresentados. Quando pertinente, os pontos experimentais devem apresentar barras de erro.

**VI – Discussão:** Este talvez seja o item mais importante do relatório. É aqui que se confrontam os resultados obtidos com os previstos pela teoria. Procure realizar a discussão levando em conta as incertezas experimentais, relacionando as possíveis fontes de erro. Questões, quando existentes, não devem ser respondidas uma a uma, mas englobadas na discussão como um todo.

**VII – Conclusão:** Relacionar sucintamente os resultados obtidos, comparando-os com os esperados. Pode-se também propor possíveis melhoramentos na realização da experiência.