



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ENG 04408**

**CONVERSÃO ELETROMECHANICA DE ENERGIA II**

*Período Letivo 2006/1*

**MARÇO/2006**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PLANO DE ENSINO**  
**PERÍODO LETIVO: 2006/1**

**DISCIPLINA: ENG 04408 – Conversão Eletromecânica de Energia II**

**Créditos: 6**

**Carácter: Obrigatório**

**Professor Regente:** Prof. Roberto Petry Homrich

**Carga horária:** Prof. Roberto Petry Homrich: 2×2 horas teóricas  
Marcos Vinicius Bandeira: 4×2 horas práticas

**Pré-requisitos:** ENG04407 – Conversão Eletromecânica de Energia I

**Horários:**

<b>Turma</b>	<b>Horário/Sala</b>			<b>Aula Teórica</b>	<b>Aula Prática</b>
A	3102/304	5102/304	5132/110	Prof. Roberto	Prof. Marcos Vinicius
B	3102/304	5102/304	5152/110	Prof. Roberto	Prof. Marcos Vinicius
C	3102/304	5102/304	5172/110	Prof. Roberto	Prof. Marcos Vinicius
D	3102/304	5102/304	5192/110	Prof. Roberto	Prof. Marcos Vinicius

**SÚMULA:**

Máquinas síncronas e de indução em regime transitório e permanente.

**OBJETIVOS DA DISCIPLINA:**

Proporcionar, aos alunos, o conhecimento a respeito dos princípios de funcionamento de máquinas síncronas, máquinas assíncronas e máquinas especiais bem como os procedimentos de ensaio, construção dos modelos elétricos, solução de problemas, ligações elétricas e aplicações das mesmas.

## METODOLOGIA DE ENSINO:

### **Aulas**

#### **Teóricas**

As aulas teóricas são ministradas nos horários e sala(s) anteriormente apresentadas. São usados recursos didáticos convencionais e eventualmente algum dispositivo ilustrativo.

É importante a participação dos alunos no desenvolvimento da disciplina ao longo do semestre letivo.

#### **Práticas**

Ministradas na sala 110, nos horários anteriormente apresentados, as aulas práticas constituem o mesmo teor de importância que as aulas teóricas, devendo os alunos empenharem-se na realização das atividades propostas. As atividades devem ser realizadas com a participação de todos os elementos dos grupos, pois essa prática se constitui em exercício de trabalho em equipe. São usados recursos didáticos convencionais além de computadores e equipamentos especiais. O aluno estará envolvido, na atividade, com tensões de 380 V<sub>rms</sub> ou superiores, o que exige atenção e seriedade. Os circuitos montados devem ser intensamente revisados para evitar riscos para as pessoas e danos aos equipamentos.

## SISTEMA DE AVALIAÇÃO:

A avaliação será feita a partir de provas individuais de conteúdo envolvendo as áreas já abordadas da disciplina. Cada prova é individual e está associada a uma nota de prova NP. Estão previstas duas provas com prévio aviso e uma, opcional, com prévio aviso facultativo podendo ocorrer em qualquer dia letivo da disciplina. A prova opcional pode incluir qualquer assunto já abordado na disciplina até o dia de sua aplicação. Todo o conteúdo da disciplina estará contemplado nestas provas realizadas.

Será reprovado por Falta de Frequência (FF), o aluno que obtiver frequência inferior a 75%, do período de aulas ministradas no semestre, de acordo com o **Regimento Geral da Universidade (RGU), Art. 134**, “*É obrigatória a frequência dos alunos às atividades didáticas, considerando-se reprovado aquele que, ao término do período letivo, houver deixado de frequentar mais de 25 % (vinte e cinco por cento) da carga horária prevista no plano da disciplina.*”

O aluno terá a oportunidade de recuperar a nota de uma das provas mediante a realização de uma **prova substitutiva** da área que julgar conveniente. A nota da prova substitutiva, NS, substituirá a nota obtida anteriormente naquela área escolhida.

O aluno deverá atender frequência suficiente no período letivo, atendendo Artigo 134 do RGU.

Não há cobrança de relatórios relativos aos experimentos realizados no laboratório, entretanto questões que envolvam experimentos similares aos realizados nas aulas práticas poderão ter lugar.

### **Realização das provas**

As provas possuem tempo de duração definido, que deve ser cumprido.

Qualquer prova entregue com tempo de duração excedido poderá ser considerada como não recebida, e entendido um não comparecimento do aluno.

A prática da “cola”, durante a realização de qualquer atividade de avaliação, é considerada infração grave e implica na reprovação imediata do aluno na disciplina.

As provas são realizadas sem consulta, salvo determinação contrária.

O aluno deve providenciar material convencional para realizar a prova (papel, caneta, lápis, borracha,...) e também régua, esquadros, transferidor e compasso.

Ao finalizar a prova o aluno deve entregar ao professor o material que será avaliado.

A resposta definitiva de cada questão deverá ser apresentada à tinta.

As provas estarão disponíveis aos alunos, para apreciação, mas devem ser devolvidas ao professor.

Qualquer solicitação relativa à correção da prova deverá ser feita por escrito, de forma bem objetiva, especificada e com a solução correta da questão, quando for o caso.

O conteúdo apresentado nas aulas teóricas e/ou os experimentos realizados no laboratório constituirão as questões de cada prova além de exercícios propostos, resolvidos em aula e correlatos.

### Correção das questões

Durante a correção das questões da(s) prova(s) serão considerados os resultados finais, sendo que os absurdos (tais como “ $\cos\delta > 1$ ”, “ $P=i^2/r$ ”, “ $z=i/v$ ”, etc) “zeram” a prova independentemente do desempenho nas outras questões.

Os critérios de correção são indiscutíveis sendo, em princípio, considerada errada a questão (ou o item) que não obtiver o resultado correto.

**Cálculo da Nota Média NM** é obtido pela expressão (1).

$$NM = p \cdot \left\{ \sum_{k=1}^p (NP_k)^{-1} \right\}^{-1} \quad p = 2 \text{ ou } 3 \quad (1)$$

Em (1)  $NM$  é a nota média do semestre,  $p$  é o número de provas aplicadas e  $NP_k$  é a nota da prova de número  $k$ . Caso ocorra prova substitutiva,  $NP_k = NS_k$ .

A conversão da nota final em conceito final segue-se a Tabela I.

TABELA I

Conceito	Intervalo da nota média NF	Resultado
A	$9,0 \leq NF \leq 10,0$	<b>APROVADO</b>
B	$7,5 \leq NF < 9,0$	<b>APROVADO</b>
C	$6,0 \leq NF < 7,5$	<b>APROVADO</b>
D	$0,0 \leq NF < 6,0$	REPROVADO
FF	freqüência insuficiente (<75%)	REPROVADO

### Avaliação das aulas práticas

Os conteúdos desenvolvidos nas aulas práticas serão avaliados nas questões das provas aplicadas.

### Uso do telefone celular

É vedado o toque bem como o uso do telefone celular durante as aulas.

### BIBLIOGRAFIA BÁSICA:

1. Electric Machinery; A.E. Fitzgerald, McGraw Hill, 5<sup>th</sup> Edition, 1990
2. Electric Machines Fundamentals Chapman McGrawHill 3<sup>rd</sup> Ed. 1998

**3. Stepping Motors and Their Microprocessor Controls; T. Kenjo, 2<sup>nd</sup> Ed. Oxford University Press, 1994;**

4. Máquinas de Indução Trifásicas, G.A. Simone, Ed. Érica, 2000 ( Livro não existente na Biblioteca da Escola de Engenharia)

5. Eletromecânica, A. G. Falcone, vol.2, Editora Edgard Blücher Ltda., 1985

6. Theory of Alternating Current Machinery; A.S. Langsdorf, 2<sup>nd</sup> Ed. McGraw-Hill, 1955;

7. Fractional and Subfractional Horsepower Electric Motors; C.Veinott, 4<sup>th</sup>. Ed. McGraw-Hill, 1986;

8. Seleção e Aplicação de Motores Elétricos, O. Lobosco, Ed. McGraw-Hill, 1988;

9. Fundamentos de Máquinas Elétricas V. Del Toro Prentice Hall do Brasil, 1994 ( Livro não existente na Biblioteca da Escola de Engenharia)

10. An Introduction to Ultrasonic Motors; S. Sashida, Oxford University Press, 1993;

11. Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives; T.J.E. Miller, Oxford University Press, 1989;

12. Linear Electric Motors: Theory, Design and Practical Applications; S. Nasar, Prentice Hall, 1987;

#### ATENDIMENTO AOS ALUNOS:

Os professores da disciplina estarão à disposição para consultas em horários a serem oportunamente definidos por eles e informados aos alunos.

#### CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

##### **Aulas Teóricas**

#### **1 Introdução à ENG 04408**

1.1 Apresentação da disciplina de ENG 04408

1.2 Revisão de circuitos trifásicos, fasores e potência

#### **2 Fundamentos de Máquinas de Corrente Alternada**

2.1 Conceitos Básicos de Máquinas Rotativas

2.2 Enrolamentos de Máquinas de Corrente Alternada

2.3 Aspectos construtivos à luz da conversão de energia

2.4 Aspectos construtivos: máquinas de rotor cilíndrico e de pólos salientes

2.5 Comparação: hidrogeradores e turbogeradores

2.6 Sistema de excitação

#### **3 Máquinas Síncronas**

3.1 Máquinas Síncronas de rotor cilíndrico

3.2 Velocidade de Rotação de um Gerador Síncrono

3.3 Enrolamentos

3.4 Força Magnetomotriz e Distribuição de Fluxo no rotor

3.5 Efeito do movimento do rotor nos enrolamentos do estator: Força Eletromotriz

- 3.6 Efeito das correntes no estator: Campo Girante: análise gráfica e matemática
- 3.7 Rotor e estator: efeito combinado
- 3.8 Ondas de fluxo e fmm
- 3.9 Diagrama fasorial
- 3.10 Circuito Equivalente
- 3.11 Potência e Conjugado
- 3.12 Determinação de Parâmetros
- 3.13 Efeito dos Pólos Salientes. Introdução à Teoria da Dupla Reatância
- 3.14 Operação Isolada
- 3.15 Operação Interligada
- 3.16 Regime Transitório em Máquinas Síncronas.
- 3.17 Curto Circuito em Máquinas Síncronas
- 3.18 Especificação de Máquinas Síncronas
- 3.19 Princípios da Operação de Motores Síncronos
- 3.20 Operação de Motores Síncronos em Regime Permanente
- 3.21 Partida de Motores Síncronos

#### **4 Máquinas Assíncronas Trifásicas**

- 4.1 Construção
- 4.2 Conceitos Básicos
- 4.3 Circuito Equivalente
- 4.4 Potência e Conjugado
- 4.5 Características de Conjugado x Velocidade
- 4.6 Tendências de Projeto de Máquinas Assíncronas
- 4.7 Determinação de Parâmetros
- 4.8 Partida de Motores de Indução
- 4.9 Controle de Velocidade
- 4.10 Geradores de Indução
- 4.11 Especificação

#### **5 Máquinas Assíncronas Monofásicas e Especiais**

- 5.1 Introdução às Máquinas Assíncronas Monofásicas
- 5.2 Campo pulsante em enrolamento monofásico: análise gráfica e matemática
- 5.3 Motor de fase dividida
- 5.4 Motor de pólos fendidos
- 5.5 Ligações em motores monofásicos

- 5.6 Circuito Equivalente de Motores de Indução Monofásicos
- 5.7 Partida de Motores de Indução Monofásicos
- 5.8 Controle de Velocidade
- 5.9 Motores de Relutância
- 5.10 Máquinas de Relutância Variável (Chaveadas)
- 5.11 Motores de Histerese
- 5.12 Motor Universal
- 5.13 Motores de Passo
- 5.14 Motores Ultrassônicos

### **Aulas Práticas**

- Lab 1 Identificação dos componentes da máquina síncrona
- Lab 2 Obtenção da Forma de Onda da FEM de uma Máquina Síncrona
- Lab 3 Regulação de Alternadores
- Lab 4 Determinação dos Parâmetros de uma Máquina Síncrona
- Lab 5 Motor Síncrono: Curva V e V Invertido de Motores Síncronos
- Lab 6 Sincronização de Alternadores
- Lab 7 Determinação da Reatância Síncrona de Eixo Direto e de Eixo em Quadratura pelo Método do Escorregamento.
- Lab 8 Curto Circuito em Alternadores. Tensão Induzida no enrolamento de campo na partida
- Lab 9 Ensaios em Máquinas de Indução
- Lab 10 Levantamento da Característica de Conjugado do Motor de Indução
- Lab 11 Partida de Motores de Indução
- Lab 12 Controle de Velocidade de Motores de Indução. Eixo Elétrico
- Lab 13 Gerador de Indução Isolado, Motores Monofásicos, Motor de Pólos Fendidos, Motor Universal
- Lab 14 Motor de Passo

### **CRONOGRAMA**

<b>SEMANA</b>	<b>DIA</b>	<b>AULA</b>	<b>CONTEÚDO</b>
1	7/3	Teórica	1 - 1.2
	9/3	Teórica	2 - 2.2
	9/3	Prática	Lab 1
2	14/3	Teórica	2.3 - 2.4
	16/3	Teórica	2.5-2.6
	16/3	Prática	Lab 2
3	21/3	Teórica	3 - 3.2
	23/3	Teórica	3.3 - 3.2
	23/3	Prática	Lab 3
4	28/3	Teórica	3.3 -3.4
	30/3	Teórica	3.5 - 3.6
	30/3	Prática	Lab 4
5	4/4	Teórica	3.7 - 3.9
	6/4	Teórica	3.10 - 3.12
	6/4	Prática	Lab 5
	11/4	Teórica	3.13

6	13/4	Teórica	3.14 - 3.15
	13/4	Prática	Lab 6
7	18/4	Teórica	3.16 - 3.17
	20/4	Teórica	3.18 - 3.19
	20/4	Prática	Lab 7
8	25/4	Teórica	3.20 - 3.21
	27/4	<b>Teórica</b>	<b>Prova P1</b>
	27/4	Prática	Lab 8
9	2/5	Teórica	4 - 4.2
	4/5	Teórica	4.3 - 4.4
	4/5	Prática	Lab 9
10	9/5	Teórica	4.5 - 4.6
	11/5	Teórica	4.7 - 4.9
	11/5	Prática	Lab 10
11	16/5	Teórica	<b>SEMANA ACADÊMICA – não haverá aula</b>
	16/5	Teórica	<b>SEMANA ACADÊMICA – não haverá aula</b>
	18/5	Prática	<b>SEMANA ACADÊMICA – não haverá aula</b>
12	23/5	Teórica	4.10 - 4.11
	25/5	Teórica	5 - 5.3
	25/5	Prática	Lab 11
13	30/5	Teórica	5.4 - 5.6
	1/6	Teórica	5.7 - 5.8
	1/6	Prática	Lab 12
14	6/6	Teórica	5.9
	8/6	Teórica	5.10
	8/6	Prática	Lab 13
15	13/6	Teórica	5.11 - 5.12
	15/6	Teórica	<b>Feriado 15/06 – Corpus Christi</b>
	15/6	Prática	<b>Feriado 15/06 – Corpus Christi</b>
16	20/6	Teórica	5.13
	22/6	Teórica	5.14
	22/6	Prática	Lab 14
17	27/6	Teórica	5.14
	29/6	Teórica	<b>Visita EBERLE</b>
	29/6	Prática	<b>Visita EBERLE</b>
18	4	<b>Teórica</b>	<b>Prova P2</b>
	6	Teórica	“Tira dúvidas”
	6	Prática	Atendimento aos alunos
19	11	<b>Teórica</b>	<b>Prova Substitutiva</b>
	13	Teórica	<b>TÉRMINO DAS AULAS</b>
	13	Prática	<b>TÉRMINO DAS AULAS</b>