

**DISCIPLINA: CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA B**  
*(Disciplina Obrigatória do Curso de Engenharia Elétrica)*

**CÓDIGO:** EEL 7073

**CARGA HORÁRIA:** 72 horas (54 Horas de Teoria e 18 Horas de Laboratório)

**OFERECIDA PARA OS CURSOS DE:** Engenharia Elétrica e Engenharia de Produção (Elétrica)

**TURMAS:** 07202A; 07202B; 07202C; 07202D; 07213; 07213B.

**PRÉ-REQUISITO:** Conversão Eletromecânica de Energia A

**PROFESSORES:** Nelson Jhoe Batistela (aulas de teorias e de laboratório) e Nelson Sadowski (aulas de laboratório).

### **EMENTA:**

Motores de Indução: ensaios, circuito equivalente, potência e torque em motores trifásicos, métodos de partida do motor trifásico; Motores de Indução Monofásico e Bifásico; Máquinas de Corrente contínua: máquinas elementares, máquinas reais, tensão gerada e torque, fluxo de potência e perdas, geradores corrente contínua, motores corrente contínua; Máquinas Especiais: motor universal, outros tipos de motores especiais, laboratório.

# **Plano de Ensino**

## **1º Semestre de 2020**

(Prof. Nelson Jhoe Batistela)

#### **Para reflexão dos discentes:**

*Por que uma escola, uma sistematização do conteúdo e um professor?  
- "...E ireis mais facilmente, porque é da natureza de nossa inteligência proceder do conhecido para o desconhecido" (Pedro Julião Eymard).*

#### **Para reflexão do docente:**

*"... E acrescentou que a pimenta pura era melhor que o gengibre na salsa. Falou ainda que se alegrava quando, depois de ter preparado com todo o cuidado possível as preleções, via seus alunos assisti-las sem nenhuma atenção. Assim, considerava ele, era-lhe tirada a ocasião de vangloriar-se e não perderia nenhum de seus méritos" (Fontes Franciscanas, Da chegada dos Frades Menores à Inglaterra de Tomás de Eccleston.)*

#### **Para reflexão de todos:**

*"A educação é um processo social, é desenvolvimento. Não é a preparação para a vida, é a própria vida" (John Dewey).*

## 1. JUSTIFICATIVA:

A disciplina faz parte do Currículo de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina. Tanto ela procura compor com o todo, quanto está preocupada em fornecer e estimular o discente, de maneira sistemática, ao conhecimento das máquinas elétricas, e em particular no processo de conversão eletromecânica de energia. Esta disciplina está estruturada de modo a satisfazer possíveis carreiras dentro da engenharia elétrica e afins, tendo em vista uma vida profissional de atualização contínua e de capacitação de profissionais para atuarem como transformadores sociais visando o bem estar.

As máquinas elétricas são tão presentes na vida moderna da sociedade que, por exemplo, sem as mesmas, as indústrias perderiam sua força motriz, e praticamente não haveria energia elétrica nas residências disponível ao consumo. Grande parte da energia elétrica é proveniente de geradores eletromecânicos. As máquinas elétricas são as responsáveis por transformar energia elétrica em energia mecânica, como o seu inverso.

Além de todo o sistema industrial e de energia, o Brasil, e em particular o Estado de Santa Catarina, possui um parque fabril de máquinas competitivo em nível mundial na produção e na qualidade, demandando profissionais adequadamente habilitados na manutenção e atualização deste quadro.

## 2. OBJETIVOS:

### Objetivos Gerais:

- a) Atender as diretrizes curriculares dos cursos de Engenharia do Conselho Nacional de Educação;
- b) Contribuir para que o graduando esteja adequadamente preparado para o ingresso na prática da engenharia, conforme sua a habilitação;
- c) Estimular o processo de aprendizagem;
- d) Encorajar o desenvolvimento humanístico, tendo uma formação profissional, técnica e científica do graduando, atendendo o projeto pedagógico do curso em vista do seu perfil de egresso. Adicionalmente, estimular a atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, sob uma visão ética e humanista, a fim de atender às demandas da sociedade.

### Objetivos Específicos:

Curso a ser ministrado de modo a introduzir e conscientizar o aluno nos aspectos de conversão eletromecânica de energia. Esta disciplina tem como objetivo transferir ao aluno conteúdos fundamentais sobre Motores de Indução, Máquinas de Corrente Contínua e Motores Especiais.

## 3. CONTEÚDO (PROGRAMA DO CURSO):

### CAPÍTULO I - MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

- 1.01 - Introdução e revisão
  - a) Rotor Bobinado ou Enrolado ou de Anéis
  - b) Rotor com Bobinas Maciças ou Rotor Fundido ou Tipo Gaiola de Esquilo
- 1.02 - O Campo Girante
- 1.03 - Princípio de Funcionamento do Motor de Indução
- 1.04 - O Escorregamento
- 1.05 - O Circuito Elétrico Equivalente
  - 1.05.1 - Circuito Elétrico Equivalente do Estator, por Fase.
  - 1.05.2 - Circuito Elétrico Equivalente do Rotor, por Fase.
    - a) Circuito Elétrico Equivalente do Rotor, por Fase, Referido ao Rotor.
    - b) Circuito Elétrico Equivalente do Rotor, por Fase, Referido ao Estator.
  - 1.05.3 - Circuito Elétrico Equivalente Completo Referido ao Estator, por Fase
  - 1.05.4 - Forma Alternativa para o Circuito Elétrico Equivalente
- 1.06 - Potência Mecânica Útil
- 1.07 - Torque
- 1.08 - Perdas no Cobre do Estator
- 1.09 - Conjugado e Potência pelo uso do Teorema de Thévenin
- 1.10 - Curvas de Conjugado, Potência e Corrente.
- 1.11 - Diagrama Fasorial
- 1.12 - Determinação dos Parâmetros do Motor de Indução Trifásico

- 1.12.1 - Ensaio de Rotor Bloqueado (Travado)
- 1.12.2 - Ensaio a Vazio
- 1.13 - Métodos de Partida
  - 1.13.1 - Partida Direta
  - 1.13.2 - Partida com Tensão Reduzida com Autotransformador
  - 1.13.3 - Partida com Tensão Reduzida com Reator ou Resistor Primário
  - 1.13.4 - Partida Estrela - Triângulo
  - 1.13.5 - Partida por Fase Dividida ou por Enrolamento Parcial
  - 1.13.6 - Partida com Resistência Externa de Rotor
  - 1.13.7 - Partida Direta com Rotor de Dupla Gaiola
  - 1.13.8 - Partida utilizando “softstart”
- 1.14 - Controle de Velocidade de Motores de Indução Trifásicos
  - 1.14.1 - Controle pela Variação do Número de Polos
  - 1.14.2 - Controle pela Variação da Frequência da Linha
  - 1.14.3 - Controle pela Variação da Tensão da Linha
  - 1.14.4 - Controle pela Variação da Resistência do Rotor
  - 1.14.5 - Controle pela Aplicação de Frequência no Rotor
  - 1.14.6 - Controle utilizando conversores de frequência
- 1.15 - Categorias dos Motores de Indução Trifásicos
  - 1.15.1 – Categorias Segundo a NBR
  - 1.15.2 - Categorias Segundo a IEC
  - 1.15.3 - Categorias Segundo a NEMA

## **CAPÍTULO II - MOTOR DE INDUÇÃO BIFÁSICO E MONOFÁSICO**

- 2.01 - Motor de Indução Bifásico Balanceado
  - 2.01.1 - Introdução
  - 2.01.2 - Representação Esquemática
  - 2.01.3 - Circuito Elétrico Equivalente Referido, por Fase
  - 2.01.4 - Formulário
  - 2.01.5 - Uso do Teorema de Thévenin
  - 2.01.6 - Observação Final
- 2.02 - Noções de Componentes Simétricas
- 2.03 - Motor de Indução Bifásico Desbalanceado
  - 2.03.1 - Introdução
  - 2.03.2 - Circuitos Elétricos Equivalentes
  - 2.03.3 - Análise do Circuito Equivalente
- 2.04 - Motor de Indução Monofásico
  - 2.04.1 - Introdução
  - 2.04.2 - Análise do Motor de Indução Monofásico Através do Campo Girante
  - 2.04.3 - O Circuito Equivalente por Componentes Simétricas
  - 2.04.4 - Obtenção dos Parâmetros do Motor de Indução Monofásico
    - a) Ensaio a Rotor Travado
    - b) Ensaio a Vazio
  - 2.04.5 - Característica Torque-Velocidade
  - 2.04.6 - Análise de Desempenho
  - 2.04.7 - A Partida do Motor de Indução Monofásico
    - a) Motor de Fase Dividida ou Fase Auxiliar
    - b) Motor de Fase Dividida a Capacitor de Partida
    - c) Motor de Fase Dividida com Capacitor Permanente
    - d) Motor de Fase Dividida com Dois Capacitores
  - 2.04.8 - Cálculo do Capacitor de Partida
- 2.05 - Motor de Distorsão de Fluxo ou Motor com Bobina de Arraste ou Motor de Indução de Polo Ranhurado ou Motor com Bobina de Sombra.

## **CAPÍTULO III - MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA**

- 3.01 - Geração da Tensão Unidirecional
  - 3.01.1 - Introdução
  - 3.01.2 - Máquina de Corrente Contínua Elementar
  - 3.01.3 - Funcionamento do Comutador
  - 3.01.4 - Observações Finais
- 3.02 - Tipos de Geradores de Corrente Contínua
  - 3.02.1 - Excitação Independente
  - 3.02.2 - Auto-Excitação
- 3.03 - Efeito da Força Magnetomotriz da Armadura
  - 3.03.1 - Introdução

- 3.03.2 - Máquina com Somente o Campo Excitado
- 3.03.3 - Máquina com Somente a Armadura Excitada
- 3.03.4 - Fluxo da Máquina de Corrente Contínua com o Campo e a Armadura Excitados
- 3.04 - Comutação e Interpolos
  - 3.04.1 - Introdução
  - 3.04.2 - Considerações Iniciais
  - 3.04.3 - Interpolos ou Polos de Comutação
- 3.05 - Enrolamentos Compensadores
  - 3.05.1 - Introdução
  - 3.05.2 - Enrolamento Compensador
- 3.06 - Fundamentos Analíticos. Aspectos dos Circuitos Elétrico e Magnético
  - 3.06.1 - Introdução
  - 3.06.2 - Aspectos do Circuito Elétrico
  - 3.06.3 - Aspectos do Circuito Magnético
    - a) Com a Reação de Armadura Desprezada
    - b) Considerando a Reação de Armadura
- 3.07 - Análise do Desempenho em Regime Permanente
- 3.08 - Característica do Gerador. Análise Não-Linear
  - 3.08.1 - Excitação Independente
  - 3.08.2 - Auto-Excitação
    - a) Linha de Resistência de Campo
    - b) Escorvamento
- 3.09 - Análise do Motor de Corrente Contínua
- 3.10 - Característica Velocidade-Torque do Motor
- 3.11 - Controle de Velocidade
  - 3.11.1 - Introdução
  - 3.11.2 - Controle por Reostato de Campo Derivação
  - 3.11.3 - Controle por Resistência no Circuito de Armadura
  - 3.11.4 - Controle por Tensão Terminal de Armadura
  - 3.11.5 - Controle pela Mudança da posição das Escovas
- 3.12 - Aplicações da Máquina de Corrente Contínua
- 3.13 - Partida da Máquina de Corrente Contínua

#### **CAPÍTULO IV - MOTORES ESPECIAIS**

- 4.01 - Motores Universais
- 4.02 - Motores de Relutância
- 4.03 - Motor de Histerese
- 4.05 - Motor de Passos ou Motor Passo a Passo
- 4.06 - Servomotores
- 4.07 - Outros Motores e Máquinas Especiais (comentários)

#### **Aulas Práticas Laboratório:**

1. Introdução;
2. Noções de Segurança em Eletrotécnica
3. Motor de Indução Trifásico. Ensaio com rotor travado e a vazio.
4. Motor de Indução Trifásico. Ensaio com Carga.
5. Teste sobre motores de indução. Motor de Indução Monofásico. Ensaio com rotor travado e a vazio.
6. Motor de Corrente Contínua
7. Aulas adicionais experimentais sobre máquinas elétricas, tais como visualização de partes constitutivas e construtivas, estudo de placa etc.

OBS.: Há um Plano de Ensino adicional e específico de cada professor das aulas de laboratório, o qual é fornecido ao aluno pelo professor das aulas de laboratório. O plano das aulas de experimentais poderá ter alterações, acrescentando conteúdo.

#### **4. METODOLOGIA:**

O desenvolvimento metodológico buscará estabelecer a relação teoria-prática através da identificação, análise crítica, utilização de modelos e da expressão das concepções experimentadas pelos participantes do curso. Serão utilizadas metodologias fundamentadas na exposição dialógica, leitura de textos, ensaios e caracterização de máquinas, discussões e produção de idéias individuais e coletivas, exercícios feitos em sala de aula e em horários externo, e outras metodologias que, julgadas convenientes, poderão ser utilizadas no decorrer do processo.

## 5. RECURSOS DIDÁTICOS:

- ◇ Apostila "CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA", do Prof. Renato Lucas Pacheco, UFSC/CTC/EEL;
- ◇ Referências bibliográficas
- ◇ Transparências e/ou "data show";
- ◇ Exercícios;
- ◇ Experiências de Laboratórios e seus respectivos relatórios;
- ◇ Catálogos de Fabricante, sites na internet sugeridos pelo professor etc.

## 6. CRONOGRAMA:

Capítulo I.....	18 aulas
Capítulo II.....	14 aulas
Capítulo III.....	12 aulas
Capítulo IV.....	10 aulas
Laboratório.....	18 aulas

## 7. AVALIAÇÃO:

A avaliação é realizada através da composição de notas relativas às partes teórica e experimental. Duas provas escritas são utilizadas na avaliação da parte teórica. Também são levados em conta nas notas das provas: a) frequência; b) postura, interesse e participação em sala de aula; c) listas de exercícios e trabalhos que eventualmente possam ser solicitados. A composição da média parcial é dada por (1), com as notas das provas e do laboratório.

$$Média_{parcial} = 0,75\left(\frac{N_1 + N_2}{2}\right) + 0,25N_L \quad (1)$$

onde  $N_1$  e  $N_2$  são as notas das provas teóricas, e  $N_L$  a nota final do laboratório. A maneira de como é obtida a nota do laboratório segue o plano de ensino do professor relativo às atividades experimentais.

Se o aluno obtiver média parcial superior ou igual a 5,75, ele está aprovado na disciplina. Caso o aluno obtenha média inferior a 5,75, ele poderá fazer uma prova de recuperação, que constará de uma prova escrita sobre todo o conteúdo da disciplina. Neste caso, a nota final será dada por (2).

$$Nota_{final} = \frac{Nota_{recuperação} + Média_{parcial}}{2} \quad (2)$$

Se o aluno obtiver uma nota final superior ou igual a 5,75, ele obtém aprovação na disciplina.




**As datas das provas são fornecidas pelo professor em data oportuna.**

### Notas Importantes:






- a) Está estabelecido a **não** utilização de **calculadoras programáveis** e/ou com alta capacidade de memória nas provas teóricas da disciplina EEL 7073, podendo apenas ser utilizadas calculadoras até o nível do tipo de "calculadora científica" simples.
- b) Quando for solicitada uma determinação de algum valor ou de um cálculo, a resolução da questão que apresentar apenas procedimentos de solução receberá automaticamente a atribuição de valor nulo no compito da nota da prova (Exemplos: "determine o rendimento da ..." ou "determine a corrente de entrada da máquina..." ou "calcule a potência transferida..."). **O aluno deverá calcular, mostrando todo o desenvolvimento da questão, sem omitir passos de desenvolvimento e/ou de cálculo, e disponibilizar o valor final. Assim, não é aceito apenas o valor final da questão, ou a omissão de passos de cálculo.** As provas serão corrigidas de maneira objetiva.
- c) **Está proibida a utilização de aparelhos eletrônicos, principalmente celulares, durante as aulas (inclusive durante as provas), como também aparelhos de gravação auditiva ou visual (a não ser com autorização expressa do professor).**
- d) Todo e qualquer problema, mal entendidos etc., individual ou coletivo, deverão ser tratados inicialmente com o professor. O aluno tem o dever de procurar o professor para esclarecimento de qualquer mal entendido ou situação de constrangimento.
- e) O professor comunicará aos alunos os horários de atendimento.

- f) As datas das provas serão definidas pelo professor.
- g) Evitar sair da sala de aula durante as atividades didáticas ou chegar atrasado ao início da aula.
- h) O professor estará disponibilizando materiais didáticos complementares (lista de exercício, cópia de transparências, exercícios resolvidos etc.) em locais que serão comunicados aos alunos oportunamente.
- i) É exigido que **em todas as aulas** os alunos estejam **munidos de calculadora** (acima descrita, adequada à realização das provas), bem como de **material didático necessário para anotações e a realização de exercícios ou provas eventuais**. O não cumprimento desta regra implicará em falta grave contra as atividades didático-pedagógicas, com sanção a ser determinada pelo professor.

#### **4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA:**

-  Apostila de Conversão Eletromecânica de Energia do Prof. Renato Pacheco.
-  Máquinas Elétricas, A.E. Fitzgerald; C. Kingsley; S. D. Umans, Bookmann.
-  Máquinas Elétricas e Transformadores, de Irving I. Kosow, Editora Globo.

#### **5. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR:**

-  Electric Machinery Fundamentals, Stephen J. Chapman, Third Edition, McGraw-Hill Companies, Schaum's.
-  Máquinas de Corrente Contínua, Gilio Aluisio Simone, Editora Érica, 2000.
-  Eletromecânica, Volumes 1 e 2, de Aurio Gilberto Falcone, Editora Edgard Blücher Ltda, 1981.
-  Material e informações para as aulas poderão ser obtidos no endereço eletrônico fornecido pelo professor, ou em outro site conveniente.
-  Especificação de Motores Elétricos, WEG, <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>

Florianópolis, fevereiro de 2020.  
Prof. Nelson Jhoe Batistela

## PLANO DE ATIVIDADES DE LABORATÓRIO - 2020.1

Disciplina: Conversão Eletromecânica de Energia – B

Código: EEL 7073

Turmas de segundas-feiras e quintas-feiras

Professor: Nelson Jhoe Batistela

### Atividades a serem realizadas no laboratório:

1. Apresentação. Divisão das turmas e equipes. Informações gerais.
2. Motor de Indução Trifásico. Ensaio com rotor travado e a vazio.
3. Motor de Indução Trifásico. Ensaio com carga.
4. Comparação de resultados teóricos com experimentais.
5. Motor de Indução Monofásico. Ensaio com rotor travado e a vazio.
6. Máquina de Corrente Contínua.
7. Conclusão da disciplina de laboratório: aulas adicionais experimentais sobre máquinas elétricas, tais como visualização de partes constitutivas e construtivas, estudo de placa etc.

### Avaliação:

É composta pelos seguintes itens:

- Frequência
- Relatórios sobre os ensaios realizados no laboratório;
- Prova final.

Média do Laboratório:

$$M = \frac{N_f}{N_r(N_r + 1 - R)} P$$

Onde

M: média final do laboratório

R: número de relatórios entregues

$N_f$ : número de presenças em aulas relativas aos ensaios.

$N_r$ : número de relatórios previstos em relação às atividades realizadas no semestre.

P: nota da prova

### Atenção:

*Quem não fizer a Prova de Segurança não poderá adentrar no LabMAQ, sendo atribuída nota "zero" para as atividades da disciplina no laboratório.*

Observações:

- O aluno que tiver presença menor que 75% estará automaticamente sem nota de laboratório (FI).
- A turma é dividida em duas. Assim, uma semana tem aula uma turma (9 alunos, divididos em equipes de três), e na outra semana as demais equipes. Há então um revezamento: uma semana tem aula, na próxima semana "folga" (sugestão: se encontrarem para concluir o relatório).
- Os relatórios podem ser feitos em equipe, referente àquela que realizou o ensaio em conjunto.
- O aluno ausente numa determinada aula deverá recuperar a presença e fazer o relatório da referida experiência.
- **Na prova, o aluno poderá utilizar somente o seu relatório do respectivo ensaio (portanto, cada aluno deverá ter uma fotocópia do seu relatório). O professor não devolverá relatórios.**
- Cada aluno é responsável no controle de sua presença.
- O relatório deverá ser entregue na aula subsequente ao ensaio.
- A prova final será **individual**. Para a prova final, um dos ensaios será escolhido na hora pelo professor.
- A prova será subsequente ao termino dos ensaios propostos.