

## Programa da Disciplina

**DISCIPLINA:** CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA A

**CÓDIGO:** EEL7064

**TOTAL DE HORAS:** 72 horas (sendo 54 Horas Teóricas e 18 de Laboratório)

**DISCIPLINA OBRIGATÓRIA OFERECIDA PARA OS CURSOS DE:**

Engenharia Elétrica  
Engenharia de Produção Elétrica

**PRÉ-REQUISITOS:**           **EEL7055 - Circuitos Elétricos B**  
  (ou **EEL7050 - Circuitos Elétricos II**)  
  **EEL7051 - Materiais Elétricos**

### 1. OBJETIVO:

Curso a ser ministrado de modo a introduzir e conscientizar o discente nos aspectos de conversão eletromecânica de energia. Esta disciplina tem como objetivo oferecer aos discentes conteúdos fundamentais sobre Transformadores e Máquinas Síncronas. Para fixar alguns conteúdos mais específicos e melhorar a percepção e a sensibilidade em relação a parâmetros como regulação e rendimento, são disponibilizados exemplos numéricos comentados. São disponibilizados horários para consultas ao professor e ao (à) monitor(a) da disciplina. Há aulas de revisão antes das provas, onde podem ser esclarecidas dúvidas adicionais e resolvidos exercícios numéricos.

### 2. EMENTA:

Introdução e princípios de máquinas elétricas; transformadores: tipos, ensaios, circuito equivalente, regulação e rendimento, paralelismo de transformadores, transformador de corrente e Potencial, autotransformador; campo girante, máquinas síncronas: geradores síncronos, motores síncronos, teoria de máquinas síncronas de polos lisos e salientes, ensaios, circuitos equivalentes, controle da energia ativa e reativa, triângulo de *Potier*, diagrama de capacidade, tipos de excitação, enrolamento compensador, sincronismo, compensador síncrono, refrigeração; ensaios em laboratório.

### 3. PROGRAMA DO CURSO:

#### CAPÍTULO I - TRANSFORMADORES

- 1.01 - Introdução
- 1.02 - Aplicações Principais
- 1.03 - Classificação
  - 1.03.1 - Quanto ao Material do Núcleo
  - 1.03.2 - Quanto ao Número de Fases
  - 1.03.3 - Quanto à Forma do Núcleo
  - 1.03.4 - Quanto à Disposição Relativa dos Enrolamentos
  - 1.03.5 - Quanto à Proteção e Maneira de Dissipação de Calor
- 1.04 - Princípio de Funcionamento
- 1.05 - Marcas de Polaridade
  - 1.05.1 - Introdução
  - 1.05.2 - Regras para Colocar os Pontos
  - 1.05.3 - Ensaio de Polaridade
- 1.06 - O Transformador Ideal
  - 1.06.1 - Características do Transformador Ideal
  - 1.06.2 - Forças Contraeletromotrizes Induzidas. Relação de Transformação
  - 1.06.3 - Transformação de Impedâncias e de Admitâncias
- 1.07 - O Transformador Real
  - 1.07.1 - O Transformador Real em Vazio (Sem Carga). Corrente de Excitação
  - 1.07.2 - O Transformador Real Com Carga. Circuito Elétrico Equivalente

- 1.07.3 - Circuitos Elétricos Equivalentes Aproximados para Transformadores de Potência
- 1.08 – Rendimento
  - 1.08.1 - Perdas Magnéticas no Núcleo
  - 1.08.2 - Perdas Joule nas Resistências Ôhmicas dos Enrolamentos
  - 1.08.3 - Perdas Suplementares ou Adicionais
- 1.09 – Regulação
- 1.10 - Ensaio de Curto-Circuito
  - 1.10.1 – Objetivos
  - 1.10.2 – Procedimento
  - 1.10.3 – Considerações
- 1.11 - Ensaio de Circuito Aberto
  - 1.11.1 – Objetivos
  - 1.11.2 – Procedimento
  - 1.11.3 – Considerações
- 1.12 - Conexões em Transformadores Trifásicos
  - 1.12.1 – Introdução
  - 1.12.2 - Transformador Trifásico e Banco Trifásico
  - 1.12.3 - Conexões em Sistemas Trifásicos Equilibrados (**Y-Δ, Δ-Y, Δ-Δ e Y-Y**)
  - 1.12.4 - Observação Final
- 1.13 - As Harmônicas nos Transformadores Trifásicos
- 1.14 - Conexões Especiais
  - 1.14.1 - Conexão **V-V**
  - 1.14.2 - Conexão **T-T**
  - 1.14.3 - Conexão **SCOTT**
  - 1.14.4 - Outras Conexões (Estrela Hexafásica, Malha Hexafásica, Hexafásica Diametral, Dupla-Estrela Hexafásica, Duplo-Triângulo Hexafásica, Ziguezague)
- 1.15 - Ligação em Paralelo
  - 1.15.1 – Introdução
  - 1.15.2 - Transformadores que Podem ser Ligados em Paralelo
  - 1.15.3 - Divisão de Potências (Cargas)
  - 1.15.4 - Conclusões Finais
- 1.16 - O Sistema Por Unidade (*p.u.*)
  - 1.16.1 – Introdução
  - 1.16.2 - Vantagens do Sistema Por Unidade
  - 1.16.3 – Procedimento
  - 1.16.4 - Mudança de Base
  - 1.16.5 - O Sistema Por Unidade em Sistemas Trifásicos
- 1.17 - Transformador de Potencial (TP) e Transformador de Corrente (TC)
  - 1.17.1 - Introdução
  - 1.17.2 - O Transformador de Potencial (TP)
  - 1.17.2 - O Transformador de Corrente (TC)
  - 1.17.3 - Outras Considerações Sobre o TC
  - 1.17.4 - Conexões de Transformador de Potencial e de Corrente Junto a Instrumentos de Medição
- 1.18 - Autotransformador
  - 1.18.1 - Introdução
  - 1.18.2 - Aplicações
  - 1.18.3 - Vantagens do Autotransformador
  - 1.18.4 - Desvantagens do Autotransformador
  - 1.18.5 - Impedância de Dispersão
  - 1.18.6 - Impedância de Dispersão em Por Unidade
- 1.19 - O Transformador de Três Enrolamentos
  - 1.19.1 - Introdução
  - 1.19.2 - Impedâncias de Dispersão
  - 1.19.3 - Representação
  - 1.19.4 - Impedância de Dispersão em Por Unidade
- 1.20 - Acessórios de Transformadores

## ANEXO A - O CAMPO GIRANTE

### CAPÍTULO II - MÁQUINAS SÍNCRONAS

- 2.01 - Máquinas Síncronas de Rotor Liso em Regime Permanente
  - 2.01.1 - Introdução

- 2.01.2 - Máquina Síncrona de Rotor Liso ou Cilíndrico
- 2.02 - Ondas de Fluxo, Força Magnetomotriz e Reação de Armadura
  - 2.02.1 - Introdução
  - 2.02.2 - Enrolamentos Desenvolvidos de um Gerador Síncrono. Diagramas Fasoriais
  - 2.02.3 - Diagramas Fasoriais para Motores Síncronos
  - 2.02.4 - Torque ou Conjugado Eletromagnético
- 2.03 - Impedância Síncrona
  - 2.03.1 - Introdução
  - 2.03.2 - Circuitos Elétricos Equivalentes
- 2.04 - Características de Circuito Aberto e de Curto-Circuito
  - 2.04.1 - Introdução
  - 2.04.2 - Característica de Circuito Aberto e Perdas Rotacionais a Vazio
  - 2.04.3 - Característica de Curto-Circuito e Perdas de Curto-Circuito
- 2.05 - Problema Fundamental da Máquina Síncrona
- 2.06 - Análise Linear e Não-Linear
  - 2.06.1 - Introdução
  - 2.06.2 - Análise Linear
    - a) Método Geral
    - b) Método da Impedância Síncrona Não-Saturada
  - 2.06.3 - Análise Não-Linear
    - a) Método Geral
    - b) Método da Impedância Síncrona Saturada
- 2.07 - Regulação
- 2.08 - Característica de Funcionamento e de Ângulo de Carga em Regime Permanente
  - 2.08.1 - Curva Composta de Gerador
  - 2.08.2 - Característica Tensão-Corrente de Gerador, a Corrente de Campo Constante
  - 2.08.3 - Características de Ângulo de Carga
- 2.09 - Razão de Curto-Circuito (RCC)
- 2.10 - Característica de Fator de Potência Zero
  - 2.10.1 - Introdução
  - 2.10.2 - O Ensaio
  - 2.10.3 - Triângulo de *Potier*
- 2.11 - Máquinas de Polos Salientes
- 2.12 - Teoria dos Dois Eixos (Teoria de *Blöndel*)
  - 2.12.1 - Introdução
  - 2.12.2 - Eixo Direto e Eixo em Quadratura
  - 2.12.3 - Reatâncias de Eixo Direto e em Quadratura
  - 2.12.4 - Determinação da Posição dos Eixos
  - 2.12.5 - Outras Considerações Sobre Excitação e Ângulo de Carga
  - 2.12.6 - Método Geral para Máquinas de Polos Salientes
- 2.13 - Característica de Ângulo de Carga para Máquinas de Polos Salientes
  - 2.13.1 - Introdução
  - 2.13.2 - Máquina Ligada a um Barramento Infinito. Potência Ativa
  - 2.13.3 - Máquina Ligada a um Barramento Infinito. Potência Reativa
- 2.14 - Ângulo de Carga para a Máxima Potência
- 2.15 - Geradores Síncronos em Paralelo
  - 2.15.1 - Introdução
  - 2.15.2 - Interligação de Geradores Síncronos
    - a) Divisão de Potência Ativa
    - b) Controle da Tensão Gerada
    - c) Divisão de Potência Reativa
- 2.16 - Efeitos da Variação da Excitação e do Torque no Gerador Ligado a uma Barra Infinita
  - a) Potência Ativa
  - a) Potência Reativa
- 2.17 - O Motor Síncrono
  - 2.17.1 - Características
  - 2.17.2 - Aplicações
- 2.18 - Diagrama Fasorial e Circuito Elétrico Equivalente do Motor Síncrono
- 2.19 - Controle do Fator de Potência: Curvas "V"
- 2.20 - Carta de Potência da Máquina Síncrona
  - 2.20.1 - Introdução
  - 2.20.2 - Construção do Diagrama
- 2.21 - Partida de Motores Síncronos

- 2.21.1 - Introdução
- 2.21.2 - Métodos
- 2.22 - Sistemas de Excitação da Máquina Síncrona
  - 2.22.1 - Sistemas Coletivos
  - 2.22.2 - Sistemas Individuais
  - 2.22.3 - Sistemas Intermediários
  - 2.22.4 - Observações Finais
- 2.23 - Refrigeração da Máquina Síncrona

## Aulas Práticas/Laboratório:

1. Introdução; segurança no laboratório; placas e ligações das máquinas elétricas do laboratório e equipamentos de medição.

### Transformadores:

2. Placa; Ensaios de polaridade, relação de transformação, resistências de isolamento e dos enrolamentos, autotransformador;
3. Ensaios de circuito aberto e curto circuito em transformadores;
4. Ensaios de regulação e rendimento em transformadores;
5. Ensaios em transformadores trifásicos e em autotransformadores;
6. Outros temas relacionados a transformador;

### Máquinas Síncronas:

7. Placa e ligações da máquina síncrona, funcionamento como motor e gerador
8. Ensaios de circuito aberto e curto circuito em máquinas síncronas;
9. Determinação da reatância de *Potier*;
10. Determinação das Reatâncias de eixo direto e em quadratura;
11. Determinação das curvas "V" da máquina síncrona;
12. Outros temas relacionados a máquinas síncronas.

## 4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA:

- 📖 Apostila de Conversão Eletromecânica de Energia "A", do Prof. Renato Pacheco
- 📖 FITZGERALD, A. E.; Kinsley Jr., Charles & Kusko, Alexander: Máquinas Elétricas, São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., 1975.
- 📖 FITZGERALD, A. E.; Kinsley Jr., Charles & Umans, Stephen D.: Máquinas Elétricas, São Paulo, Editora Bookman, 2006.
- 📖 DEL TORO, Vincent: Fundamentos de Máquinas Elétricas, Rio de Janeiro, Prentice-Hall do Brasil Ltda., 1994.
- 📖 DEL TORO, Vincent: Electromechanical Devices for Energy Conversion and Control Systems, New Jersey(USA), Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1968.
- 📖 KOSOW, Irving L.: Máquinas Elétricas e Transformadores, Porto Alegre, Editora Globo, 1979.

## 5. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR:

- 📖 LANGSDORF, Alexander S.: Teoria de las Máquinas de Corriente Alterna, México, Libros McGraw-Hill de México, S.A., 1979.
- 📖 JORDÃO, Rubens Guedes: Transformadores, Rio de Janeiro/São Paulo, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A./Editora da Universidade de São Paulo, 1980.
- 📖 JORDÃO, Rubens Guedes: Máquinas Síncronas, Rio de Janeiro/São Paulo, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A./Editora da Universidade de São Paulo, 1980.
- 📖 MATSCH, Le Ander W.: Máquinas Electromecânicas y Electromagnéticas, México, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., 1974.
- 📖 FALCONE, Aurio Gilberto: Eletromecânica, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 1979.
- 📖 WEEDY, Birron Mathew: Sistemas Elétricos de Potência, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo/Editora Polígono, 1973.
- 📖 MURTY, P. S. R.: Power System Operation and Control, New Delhi, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., 1984.
- 📖 BOFFI, Luiz V.; Sobral Jr., Manoel & Dangelo, José Carlos: Conversão Eletromecânica de Energia, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda./Editora da Universidade de São Paulo, 1977.
- 📖 MARTINO, G.: Eletricidade Industrial, São Paulo, Hemus Editora Ltda., 1982.
- 📖 THALER, George J. & Wilcox, Milton L.: Máquinas Elétricas, México, D.F., Editorial Limusa-Wiley, S.A., 1969.
- 📖 KINDERMANN, G.: Curto-Circuito, Editora Sagra-Luzzatto.
- 📖 KINDERMANN, G.: Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, edição do autor (EEL/UFSC).
- 📖 Outros livros de Conversão Eletromecânica de Energia.

## 6. RECURSOS DIDÁTICOS:

- ◇ Apostila "CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA", do Prof. Renato Lucas Pacheco, com 120 páginas;
- ◇ Transparências/"PowerPoint";
- ◇ Exercícios práticos;
- ◇ Experiências de Laboratórios;
- ◇ Catálogos de Fabricantes.

## 7. CRONOGRAMA:

Capítulo I.....	26 aulas
Capítulo II.....	28 aulas
Laboratório.....	18 aulas

## 8. METODOLOGIA:

A disciplina será ministrada com o auxílio de aulas expositivas teóricas, onde se espera a participação ativa dos estudantes com perguntas ou apresentação de algum caso de interesse deles relacionados ao tema, além de respostas a perguntas que lhe serão dirigidas; exposição e análise de vídeos relacionados aos assuntos abordados na disciplina; trabalhos em pequenos grupos para atividades de "aprendizagem baseada no erro", realizadas para análise, em grupos, das provas realizadas, visando aprendizado/reforço de conteúdos e socialização dos estudantes; aulas de revisão dos conteúdos antes de cada prova; visitas técnicas, quando possível; atendimento extraclasse; provas de recuperação por conteúdo, aumentando a chance de aprender o conteúdo e de aprovação na disciplina; montagem de experimentos em equipes em laboratório, aplicando na prática vários conteúdos teóricos.

## 9. AVALIAÇÃO:

A verificação do alcance dos objetivos da disciplina será realizada progressivamente, durante o período letivo, através de vários instrumentos de avaliação, previstos neste plano de ensino, incluindo seu complemento, onde constam os professores da disciplina, as atividades previstas por dia de aula durante o semestre, incluindo as datas das provas e as formas e datas de recuperação de avaliações perdidas (ver complemento ao final deste documento). É realizada a composição de avaliações relativas à parte teórica e à parte experimental da disciplina. A parte teórica será avaliada em duas etapas, cada qual com três tópicos. A contribuição da parte prática é feita por meio de notas de relatórios e de uma prova prática (montagem) individual e/ou uma prova escrita sobre as atividades no laboratório, feita(s) ao final do semestre, levando-se também em conta a frequência àquelas aulas de laboratório. A pontuação final ( $P_F$ ) da disciplina é calculada pela expressão a seguir, que, após arredondamento matemático (frações de 0,5 ponto), será convertida em Nota Provisória ( $N_P$ ):

$$P_F = 0,375 \cdot (p_{11} \cdot Q_{12} + p_{21} \cdot Q_{2j} + p_{31} \cdot Q_{31} + p_{12} \cdot Q_{12} + p_{22} \cdot Q_{22} + p_{32} \cdot Q_{32}) + 0,250 \cdot P_L,$$

onde:

$$p_{1j} \cdot Q_{1j} + p_{2j} \cdot Q_{2j} + p_{3j} \cdot Q_{3j} = \sum_{i=1}^3 p_{ij} \cdot Q_{ij} = E_j$$

$$0,0 \leq Q_{ij} \leq 10,0$$

$$p_{1j} + p_{2j} + p_{3j} = \sum_{i=1}^3 p_{ij} = 1,00$$

- e:
- $P_F$  – pontuação final;
  - $E_j$  – etapa de avaliação j;
  - $P_L$  – pontuação da parte prática (laboratório);
  - $Q_{ij}$  – nota da avaliação  $Q_i$  na etapa j;
  - $p_{ij}$  – peso da avaliação  $Q_i$  na etapa j;

Se o discente obtiver Nota Provisória igual ou superior a 5,75 e tiver frequência suficiente (FS), esta será transformada em Nota Final ( $N_F$ ) e ele obtém a aprovação na disciplina. Caso o discente obtenha  $N_P$  inferior a 5,75, mas superior a 3,0 e FS, ele poderá fazer uma prova de recuperação, chamada aqui de "recuperação institucional), que constará de uma prova escrita sobre toda a disciplina. Então, neste caso, a  $N_F$ , será dada por:

$$N_F = \frac{\text{Nota}_{\text{recuperação}} + N_P}{2}$$

Não é prevista a recuperação das atividades/notas da parte prática (laboratório).

# Plano de Ensino – Parte Teórica

Disciplina: EEL7064 – CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA A

Semestre: 2019-2 – Horários: 207302/607302

Total de horas: 72 horas, sendo 54 horas teóricas e 18 de laboratório

Professores: **Renato Lucas Pacheco** (teoria)  
**Roberto de Souza Salgado** (laboratório) (ver a programação das aulas práticas com o professor)  
**Renato Lucas Pacheco** (laboratório) (ver a programação das aulas práticas com o professor)

## 1 – Datas das aulas e das avaliações

DATA	HORAS-AULA	ASSUNTO
05/08 – seg.	2	Apresentação (plano de ensino: programa, avaliação, bibliografia, segurança e outros temas)
09/08 – sex.	2	<b>Capítulo I – TRANSFORMADORES:</b> Itens 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4
12/08 – seg.	2	Itens 1.5 e 1.6
16/08 – sex.	2	Item 1.7
19/08 – seg.	2	Itens 1.8, 1.9, 1.10 e 1.11
23/08 – sex.	2	Item 1.12
26/08 – seg.	2	Itens 1.13 e 1.14
30/08 – sex.	2	<b>Anexo B - SISTEMA PU</b> (Por Unidade), com exemplos
02/09 – seg.	2	Itens 1.15, 1.16 e 1.17
06/09 – sex.	2	Itens 1.18, 1.19 e 1.20
09/09 – seg.	2	<b>Anexo A – CAMPO GIRANTE</b>
13/09 – sex.	2	<b>Revisão para a Primeira Etapa de Avaliação</b>
16/09 – seg.	2	<b>Primeira Etapa de Avaliação</b>
20/09 – sex.	2	<b>Capítulo II – MÁQUINAS SÍNCRONAS:</b> Itens 2.1, 2.2 e 2.3
23/09 – seg.	2	Itens 2.4, 2.5 e 2.6
27/09 – sex.	2	Itens 2.7, 2.8 e 2.9
30/09 – seg.	2	<b>Correção da Primeira Etapa de Avaliação – Aprendizagem baseada no erro</b>
04/10 – sex.	2	Itens 2.10, 2.11 e 2.12, até 2.12.5
07/10 – seg.	2	Itens 2.12.6, 2.13 e 2.14
11/10 – sex.	2	Itens 2.15 e 2.16
14/10 – seg.	2	Itens 2.17, 2.18 e 2.19
18/10 – sex.	–	Atividade opcional: Visita técnica à BELMAN Manutenção, Reforma e Comércio de Transformadores Ltda.
21/10 – seg.	2	Itens 2.20 e 2.21
25/10 – sex.	2	Itens 2.22 e 2.23
28/10 – seg.	–	<b>Ponto Facultativo – Dia do Servidor Público</b>
01/11 – sex.	2	<b>Revisão para a Segunda Etapa de Avaliação</b>
04/11 – seg.	2	<b>Segunda Etapa de Avaliação</b>
08/11 – sex.	–	Sem aula
11/11 – seg.	–	Sem aula
15/11 – sex.	–	<b>Feriado Nacional – Proclamação da República</b>
18/11 – seg.	2	<b>Correção da Segunda Etapa de Avaliação – Aprendizagem baseada no erro</b>
22/11 – sex.	–	Revisão para a Primeira Etapa de Recuperação
25/11 – seg.	–	Recuperação da Primeira Etapa de Avaliação
29/11 – sex.	–	Revisão para a Segunda Etapa de Recuperação
02/12 – seg.	2	Recuperação da Segunda Etapa de Avaliação e Recuperação Final
06/12 – sex.	–	Sem aula
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	-----

### OBSERVAÇÕES:

1 – Os itens acima se referem aos itens do programa (ou da Apostila) de Conversão Eletromecânica de Energia A.

2 – Havendo greve, paralisações ou suspensão de dias letivos, deslocar o calendário pela quantidade de dias sem aulas de Conversão A, ajustando-se as datas das provas para as segundas-feiras (disponibilidade de horário extra na mesma sala).

3 – Mudanças nas datas das Etapas de Avaliação (normais) são possíveis com por meio de um abaixo assinado em que conste o seguinte cabeçalho: “Nós, discentes da disciplina EEL7064 - Conversão Eletromecânica de Energia A, abaixo assinados, solicitamos a transferência da “Etapa de Avaliação” do dia D<sub>1</sub>/M<sub>1</sub>/Ano<sub>1</sub> para o dia D<sub>2</sub>/M<sub>2</sub>/Ano<sub>2</sub>”, e segue a lista de nomes.

**ATENÇÃO:** deverá haver no mínimo 75% de assinaturas em relação aos matriculados. A minoria deverá acatar a decisão da maioria. Concordando ou não com o critério, é a Democracia!!!

4 – Em virtude de vários problemas ocorridos no passado, **NÃO** será permitida a saída para ir ao banheiro após o início das avaliações. Cuidem da alimentação e do excesso de ingestão de líquidos antes das avaliações. Se não houver jeito, abra mão da avaliação em favor da recuperação da etapa de avaliação considerada. Se já for a recuperação de uma avaliação, paciência, mas, não haverá outra.

**5 – Uso de calculadoras: está ocorrendo problemas quanto ao uso desonesto de calculadoras programáveis. Em Conversão Eletromecânica de Energia A somente serão permitidas calculadoras simples!!!**

6 – “Colas” são totalmente proibidas. Se você for flagrado “colando”, por favor, ‘saia de fininho’ para não atrapalhar seus colegas que estão concentrados e fazendo sua avaliação honestamente.

## 2 – BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

- 📖 Apostila de Conversão Eletromecânica de Energia “A”, do Prof. Renato Pacheco
- 📖 FITZGERALD, A. E.; Kinsley Jr., Charles & Kusko, Alexander: Máquinas Elétricas, São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., 1975.
- 📖 FITZGERALD, A. E.; Kinsley Jr., Charles & Umans, Stephen D.: Máquinas Elétricas, São Paulo, Editora Bookman, 2006.
- 📖 DEL TORO, Vincent: Fundamentos de Máquinas Elétricas, Rio de Janeiro, Prentice-Hall do Brasil Ltda., 1944.
- 📖 DEL TORO, Vincent: Electromechanical Devices for Energy Conversion and Control Systems, New Jersey (USA), Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1968.
- 📖 KOSOW, Irving L.: Máquinas Elétricas e Transformadores, Porto Alegre, Editora Globo, 1974.

## 3 – SISTEMA DE AVALIAÇÃO

A verificação do alcance dos objetivos da disciplina será realizada progressivamente, durante o período letivo, através de vários instrumentos de avaliação, previstos neste plano de ensino. É realizada a composição de avaliações relativas à parte teórica e à parte experimental da disciplina. A parte teórica será avaliada em duas etapas, cada qual com três tópicos. A contribuição da parte prática é feita por meio de notas de relatórios e de uma prova prática (montagem) individual, feita ao final do semestre, levando-se também em conta a frequência àquelas aulas de laboratório. A pontuação final ( $P_F$ ) da disciplina é calculada pela expressão a seguir, que, após arredondamento matemático (frações de 0,5 ponto), será convertida em Nota Provisória ( $N_P$ ):

$$P_F = 0,375 \cdot (p_{11} \cdot Q_{12} + p_{21} \cdot Q_{2j} + p_{31} \cdot Q_{31} + p_{12} \cdot Q_{12} + p_{22} \cdot Q_{22} + p_{32} \cdot Q_{32}) + 0,250 \cdot P_L$$

onde:

$$p_{1j} \cdot Q_{1j} + p_{2j} \cdot Q_{2j} + p_{3j} \cdot Q_{3j} = \sum_{i=1}^3 p_{ij} \cdot Q_{ij} = E_j$$

$$0,0 \leq Q_{ij} \leq 10,0$$

$$p_{1j} + p_{2j} + p_{3j} = \sum_{i=1}^3 p_{ij} = 1,00$$

- e:
- $P_F$  – pontuação final;
  - $E_j$  – etapa de avaliação j;
  - $P_L$  – pontuação da parte prática (laboratório);
  - $Q_{ij}$  – nota da avaliação  $Q_i$  na etapa j;
  - $p_{ij}$  – peso da avaliação  $Q_i$  na etapa j;

Se o discente obtiver Nota Provisória igual ou superior a 5,75 e tiver frequência suficiente (FS), esta será transformada em Nota Final ( $N_F$ ) e ele obtém a aprovação na disciplina.

**ATENÇÃO:** a média mínima de aprovação é **6,0**, não **5,75**. Um estudante com média **5,74** não seria reprovado por **um** centésimo, mas, por **26** centésimos!

ARREDONDAMENTOS: **Frequência**, interesse, participação em aula, resolução de tarefas e exercícios, trabalhos etc.

Para estudantes com **frequência insuficiente** será atribuída nota final **ZERO**, independentemente das notas parciais. **Cada estudante é responsável pelo acompanhamento de suas faltas**, podendo solicitar ao Professor, a qualquer momento, sua frequência atualizada.

4 – RECUPERAÇÃO (se Nota Provisória ( $N_P$ ) < **5,75**):

Excepcionalmente, podem ser feitos dois tipos de recuperação por discentes com **frequência suficiente (FS)**:

1- **Recuperação parcial:**

É concessão do professor (o Plano de Ensino é aprovado pelo EEL e homologado pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica), **exclusivamente** para estudantes com **frequência suficiente**, e substitui etapas de avaliação em que o discente **faltou** (com ou sem justificativa) ou queira melhorar a nota na disciplina. É aproveitado o tempo disponível entre o término do programa de EEL7064 e o término do semestre<sup>1</sup>. **Os pontos obtidos na etapa de recuperação substituem os da etapa que foi recuperada.** A Nota Provisória ( $N_P$ ) é calculada como mostrado anteriormente. Na primeira data é feita a recuperação da Etapa 1. Na segunda data o discente decide se quer recuperar a Etapa 2 ou fazer a recuperação regimental, explicada a seguir, com toda a matéria. Excepcionalmente, a critério do Professor da disciplina, a recuperação da Etapa 2 poderá ocorrer em data anterior a da recuperação final. Neste caso, estará contemplada no calendário da disciplina ou poderá ser incluída com a concordância da turma, por maioria absoluta (75 %). **O estudante deve requerer o direito de realizar cada uma destas provas por “e-mail” ou em listas de assinaturas passadas para este fim.**

2- **Recuperação regimental:**

É imposta pela Instituição e de direito para os discentes que, **além da frequência suficiente**, obtiverem **5,75 > Nota Provisória  $\geq 3,0$** . É feita sobre **todo** o conteúdo ministrado na disciplina. A nota final na disciplina é calculada por meio da expressão:

$$N_F = \frac{Nota_{recuperação} + N_P}{2}$$

---

<sup>1</sup> Lembrem-se de que a parte teórica da disciplina é de 3 créditos (54 horas-aulas), mas, são ministrados 4 créditos (dariam 72 horas-aulas). Com isso, a parte teórica se encerra antes do final do semestre, ao se completarem 54 horas-aulas. Isso é feito, conforme Projeto Pedagógico do Curso, para que haja um adiantamento da parte teórica em relação às aulas práticas, para melhorar o aproveitamento nessas aulas e corrigir dificuldades observadas no passado.



## 1 Objetivo

Apresentar os aspectos práticos básicos dos Transformadores e das Máquinas Síncronas.

## 2 Programa

- Apresentação: divisão das turmas e equipes; informações gerais; segurança no laboratório; placas e ligações dos equipamentos; instrumentos de medição do laboratório etc.
- Transformadores: ensaios de polaridade; relação de transformação; resistências de isolamento e dos enrolamentos; autotransformador; ensaios de circuito aberto e de curto-circuito; ensaios de regulação e de rendimento; transformadores trifásicos;
- Máquinas Síncronas: placa e formas de conexão; funcionamento como motor e como gerador; ensaios de circuito aberto e curto-circuito; determinação da reatância de Potier; determinação das reatâncias de eixo direto e em quadratura; determinação das curvas  $V$  do motor síncrono; geradores síncronos em paralelo.

## 3 Avaliação

O aproveitamento nas aulas práticas será avaliado com base no desempenho do acadêmico durante as experiências, nos relatórios sobre os ensaios e em prova prática individual (uma montagem no laboratório), realizada após a conclusão do conteúdo da disciplina.

## 4 Bibliografia

- (1) Apostila de EEL 7064 – CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA A – Aulas Práticas, dos professores Roberto de Souza Salgado e Renato Lucas Pacheco;
- (2) Electric Machinery Fundamentals, Stephen J. Chapman, McGraw-Hill Company, 1985;
- (3) Máquinas Elétricas, de A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr., Alexander Kusko, editora McGraw-Hill da Brasil Ltda, 1973.

**EEL 7064 - LABORATÓRIO DE CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA A**

SEMESTRE 2019-2

06202E/06202F – 610102

PROF. RENATO LUCAS PACHECO

DATA	TURMA	ATIVIDADES
09 de agosto	I e II	Apresentação. Divisão das turmas e equipes. Informações gerais, segurança no laboratório e outros assuntos.
16 de agosto	I	Transformador: placa de identificação, resistência dos enrolamentos, resistência do isolamento, relação de transformação, ensaio de polaridade.
	II	Transformador: placa de identificação, resistência dos enrolamentos, resistência do isolamento, relação de transformação, ensaio de polaridade.
23 de agosto	I	Transformador: ensaio de circuito aberto e de curto circuito. Ensaio de rendimento e de regulação.
	II	Transformador: ensaio de circuito aberto e de curto circuito. Ensaio de rendimento e de regulação.
30 de agosto	I	Ligações trifásicas em transformadores <u>ou</u> Ligação de transformadores em paralelo <u>ou</u> Autotransformadores.
	II	Ligações trifásicas em transformadores <u>ou</u> Ligação de transformadores em paralelo <u>ou</u> Autotransformadores.
06 setembro	–	Repetição da etapa do dia 30/08, a pedido da Equipe 1, que não pode comparecer naquela data
13 de setembro	–	Recuperação de experiências para faltantes em etapas anteriores, das turmas de terça e de sexta-feira..
20 de setembro	–	Sem aula.
27 de setembro	–	Sem aula.
04 de outubro	–	Sem aula.
11 de outubro	I	Placa de identificação e acionamento da máquina síncrona. Características de circuito aberto e de curto circuito da máquina síncrona. Determinação da reatância síncrona e da reatância de Potier.
	II	Placa de identificação e acionamento da máquina síncrona. Características de circuito aberto e de curto circuito da máquina síncrona. Determinação da reatância síncrona e da reatância de Potier.
18 de outubro		Visita técnica à Belman Transformadores.
25 de outubro	I	Ensaio com carga do gerador síncrono, curvas <b>V</b> do motor síncrono (ou outra experiência de máquina síncrona).
	II	Ensaio com carga do gerador síncrono, curvas <b>V</b> do motor síncrono (ou outra experiência de máquina síncrona).
01 de novembro	I	<b>Treinamento para a prova prática.</b>
08 de novembro	I	<b>Prova prática (marcar horário com o professor!).</b>
	II	<b>Treinamento para a prova prática.</b>
15 de novembro	–	Feriado Nacional – Proclamação da República.
	II	<b>Prova prática (marcar horário com o professor!).</b>
22 de novembro	–	Sem aula.
29 de novembro	–	Sem aula.
06 de dezembro	–	Sem aula.

**Observações pertinentes**

1 – Quanto às “Atividades” da terceira coluna: algumas experiências podem ser substituídas por outras julgadas mais interessantes. Entretanto, a filosofia utilizada para elaborar o elenco de experiências a serem realizadas será mantida.

2 – **Divisão das turmas:** as turmas I e II serão definidas conforme o número de acadêmicos matriculados na disciplina. As experiências serão realizadas alternadamente semana sim, semana não, entre estas turmas I e II.

3 – **Avaliação:** A verificação do alcance dos objetivos da disciplina será realizada progressivamente, durante o período letivo, através de vários instrumentos de avaliação: assiduidade, disciplina dentro do laboratório, relatórios e prova prática final (individual). A prova final é individual e consta basicamente da repetição de uma das experiências realizadas durante o curso (ou parte de uma), que será sorteada imediatamente antes da prova. Serão exigidos relatórios (por equipe) os quais deverão ser entregues impreterivelmente no dia da próxima atividade da equipe no laboratório. A nota do laboratório é calculada pela expressão:

$$P_L = 0,06 \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) + 0,7 \cdot P_p - 0,5 \cdot N_F,$$

onde:

$P_L$  – pontuação da parte prática (laboratório);

$R_i$  – nota do Relatório  $i$ ;

$P_p$  – nota da prova prática;

$N_F$  – número de faltas nas aulas de laboratório em horas-aula (lembrar que cada dia de experiências corresponde a duas horas-aula). No caso de falta na primeira aula,  $N_F=1$ .

4 – **Recuperação de faltas:** uma (1) recuperação, com justificativa. Contatar o professor logo que possível, justificar a falta e planejar sua recuperação.

5 – O discente que tiver presença menor que 75 % na disciplina automaticamente ficará sem nota de laboratório. Cada discente deve controlar a sua presença. A qualquer instante pode solicitar ao professor o acesso aos dados do diário de classe para verificar eventuais faltas.

6 – Os relatórios são apresentados por equipe, com os nomes dos membros que estavam presentes ao evento relatado. Seguir o roteiro para confecção de relatórios fornecido. Discente faltante entregará relatório **individual**, onde constará, além do relato da experiência em si, a justificativa para a sua falta, a data e o horário da recuperação.

7 – Cada estudante pode usar o relatório **onde consta o seu nome** durante a prova prática (**único** material de apoio permitido durante a prova prática). Todas as anotações **À MÃO**, posteriores à correção do professor, são permitidas (por exemplo, correções de falhas ou complementos de assuntos, tabelas ou esquemas, percebidos durante os treinamentos para as provas práticas). Logo, é prudente que mantenham os seus relatórios. Cada relatório deve ser entregue no dia da experiência seguinte.

### **Roteiro para os Relatórios**

**Capítulo I** – Introdução/Resumo Teórico

**Capítulo II** – Montagens Realizadas/Circuitos Utilizados

**Capítulo III** – Resultados Obtidos

**Capítulo IV** – Análise dos Resultados/Confecção de Curvas e Tabelas

**Capítulo V** – Conclusões/Comentários/Críticas/Incidentes/Respostas às perguntas da Apostila do Laboratório. Se for o caso, indicação de quando a experiência foi recuperada (dia e hora) etc.

## 1 Objetivo

Apresentar os aspectos práticos básicos dos Transformadores e das Máquinas Síncronas.

## 2 Programa

- Apresentação: divisão das turmas e equipes; informações gerais; segurança no laboratório; placas e ligações dos equipamentos; instrumentos de medição do laboratório etc.
- Transformadores: ensaios de polaridade; relação de transformação; resistências de isolamento e dos enrolamentos; autotransformador; ensaios de circuito aberto e de curto-circuito; ensaios de regulação e de rendimento; transformadores trifásicos;
- Máquinas Síncronas: placa e formas de conexão; funcionamento como motor e como gerador; ensaios de circuito aberto e curto-circuito; determinação da reatância de Potier; determinação das reatâncias de eixo direto e em quadratura; determinação das curvas  $V$  do motor síncrono; geradores síncronos em paralelo.

## 3 Avaliação

O aproveitamento nas aulas práticas será avaliado com base no desempenho do acadêmico durante as experiências, nos relatórios sobre os ensaios e em prova prática individual (uma montagem no laboratório), realizada após a conclusão do conteúdo da disciplina.

## 4 Bibliografia

- (1) Apostila de EEL 7064 – CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA A – Aulas Práticas, dos professores Roberto de Souza Salgado e Renato Lucas Pacheco;
- (2) Electric Machinery Fundamentals, Stephen J. Chapman, McGraw-Hill Company, 1985;
- (3) Máquinas Elétricas, de A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr., Alexander Kusko, editora McGraw-Hill da Brasil Ltda, 1973.

**EEL 7064 - LABORATÓRIO DE CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA A****SEMESTRE 2019-2****06213/06213B – 313302 PROF. RENATO LUCAS PACHECO**

<b>DATA</b>	<b>TURMA</b>	<b>ATIVIDADES</b>
06 de agosto	I e II	Apresentação. Divisão das turmas e equipes. Informações gerais, segurança no laboratório e outros assuntos.
13 de agosto	I	Transformador: placa de identificação, resistência dos enrolamentos, resistência do isolamento, relação de transformação, ensaio de polaridade.
	II	Transformador: placa de identificação, resistência dos enrolamentos, resistência do isolamento, relação de transformação, ensaio de polaridade.
20 de agosto	I	Transformador: ensaio de circuito aberto e de curto circuito. Ensaio de rendimento e de regulação.
27 de setembro	–	Sem aula.
	II	Transformador: ensaio de circuito aberto e de curto circuito. Ensaio de rendimento e de regulação.
03 de setembro	I	Ligações trifásicas em transformadores <u>ou</u> Ligação de transformadores em paralelo <u>ou</u> Autotransformadores.
	II	Ligações trifásicas em transformadores <u>ou</u> Ligação de transformadores em paralelo <u>ou</u> Autotransformadores.
10 de setembro	–	Sem aula.
17 de setembro	–	Sem aula.
24 de setembro	–	Sem aula.
01 de outubro	–	Sem aula.
08 de outubro	I	Placa de identificação e acionamento da máquina síncrona. Características de circuito aberto e de curto circuito da máquina síncrona. Determinação da reatância síncrona e da reatância de Potier.
	II	Placa de identificação e acionamento da máquina síncrona. Características de circuito aberto e de curto circuito da máquina síncrona. Determinação da reatância síncrona e da reatância de Potier.
15 de outubro		Sem aula.
22 de outubro	I	Ensaio com carga do gerador síncrono, curvas <b>V</b> do motor síncrono (ou outra experiência de máquina síncrona).
	II	Ensaio com carga do gerador síncrono, curvas <b>V</b> do motor síncrono (ou outra experiência de máquina síncrona).
29 de outubro		Sem aula.
05 de novembro	I	<b>Treinamento para a prova prática.</b>
12 de novembro	I	<b>Prova prática (marcar horário com o professor!).</b>
	II	<b>Treinamento para a prova prática.</b>
	II	<b>Prova prática (marcar horário com o professor!).</b>
19 de novembro		Sem aula.
26 de novembro	–	Sem aula.
03 de dezembro	–	Sem aula.

**Observações pertinentes**

1 – Quanto às “Atividades” da terceira coluna: algumas experiências podem ser substituídas por outras julgadas mais interessantes. Entretanto, a filosofia utilizada para elaborar o elenco de experiências a serem realizadas será mantida.

2 – **Divisão das turmas:** as turmas I e II serão definidas conforme o número de acadêmicos matriculados na disciplina. As experiências serão realizadas alternadamente semana sim, semana não, entre estas turmas I e II.

3 – **Avaliação:** A verificação do alcance dos objetivos da disciplina será realizada progressivamente, durante o período letivo, através de vários instrumentos de avaliação: assiduidade, disciplina dentro do laboratório, relatórios e prova prática final (individual). A prova final é individual e consta basicamente da repetição de uma das experiências realizadas durante o curso (ou parte de uma), que será sorteada imediatamente antes da prova. Serão exigidos relatórios (por equipe) os quais deverão ser entregues impreterivelmente no dia da próxima atividade da equipe no laboratório. A nota do laboratório é calculada pela expressão:

$$P_L = 0,06 \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) + 0,7 \cdot P_P - 0,5 \cdot N_F,$$

onde:

$P_L$  – pontuação da parte prática (laboratório);

$R_i$  – nota do Relatório  $i$ ;

$P_P$  – nota da prova prática;

$N_F$  – número de faltas nas aulas de laboratório em horas-aula (lembrar que cada dia de experiências corresponde a duas horas-aula). No caso de falta na primeira aula,  $N_F=1$ .

4 – **Recuperação de faltas:** uma (1) recuperação, com justificativa. Contatar o professor logo que possível, justificar a falta e planejar sua recuperação.

5 – O discente que tiver presença menor que 75 % na disciplina automaticamente ficará sem nota de laboratório. Cada discente deve controlar a sua presença. A qualquer instante pode solicitar ao professor o acesso aos dados do diário de classe para verificar eventuais faltas.

6 – Os relatórios são apresentados por equipe, com os nomes dos membros que estavam presentes ao evento relatado. Seguir o roteiro para confecção de relatórios fornecido. Discente faltante entregará relatório **individual**, onde constará, além do relato da experiência em si, a justificativa para a sua falta, a data e o horário da recuperação.

7 – Cada estudante pode usar o relatório **onde consta o seu nome** durante a prova prática (**único** material de apoio permitido durante a prova prática). Todas as anotações **À MÃO**, posteriores à correção do professor, são permitidas (por exemplo, correções de falhas ou complementos de assuntos, tabelas ou esquemas, percebidos durante os treinamentos para as provas práticas). Logo, é prudente que mantenham os seus relatórios. Cada relatório deve ser entregue no dia da experiência seguinte.

### **Roteiro para os Relatórios**

**Capítulo I** – Introdução/Resumo Teórico

**Capítulo II** – Montagens Realizadas/Circuitos Utilizados

**Capítulo III** – Resultados Obtidos

**Capítulo IV** – Análise dos Resultados/Confecção de Curvas e Tabelas

**Capítulo V** – Conclusões/Comentários/Críticas/Incidentes/Respostas às perguntas da Apostila do Laboratório. Se for o caso, indicação de quando a experiência foi recuperada (dia e hora) etc.