

## **Ficha de Unidade Curricular – (Versão A3ES 2018-2023)**

### **1 Caracterização da Unidade Curricular.**

#### **1.1 Designação da unidade curricular (1.000 carateres).**

Máquinas Eléctricas 1 (ME1 - 3891)

#### **1.2 Sigla da área científica em que se insere (100 carateres).**

EE

#### **1.3 Duração (100 carateres).**

Semestral

#### **1.4 Horas de trabalho (100 carateres).**

189h

#### **1.5 Horas de contacto (100 carateres).**

90h; T: 45h; TP: 22,5h; PL: 22,5h.

#### **1.6 ECTS (100 carateres).**

7,0

#### **1.7 Observações (1.000 carateres).**

#### **1.7 Remarks (1.000 carateres).**

### **2 Docente responsável e respetiva carga letiva na Unidade Curricular (preencher o nome completo) (1.000 carateres).**

Pedro Miguel Neves da Fonte 6h

### **3 Outros docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular (1.000 carateres).**

Manuel Joaquim Baptista Pereira 6h

Ricardo Jorge Ferreira Luís 1,5h

Rita Marcos Fontes Murta Pereira 1,5h

### **4 Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes). (1.000 carateres).**

Esta unidade curricular pretende dotar os alunos de conhecimentos e competências na área das máquinas eléctricas. Para tal, o aluno deverá:

- Compreender a natureza do funcionamento de circuitos magnéticos na perspectiva da engenharia electrotécnica, com ênfase na área disciplinar das máquinas eléctricas;
- Compreender o princípio de funcionamento do transformador de potência enquanto elemento da rede eléctrica;
- Obter competências a nível dos ensaios e exploração do transformador;
- Compreender e aplicar os princípios de conversão electromecânica de energia;
- Compreender o princípio de funcionamento da máquina de indução rotativa (máquinas assíncrona) como accionamento electromecânico e gerador de energia;

- Obter competências a nível das manobras, ensaios e exploração das máquinas de indução rotativas em regime motor, gerador e freio;
- Compreender os princípios básicos do funcionamento das máquinas síncronas e de corrente contínua;
- Compreender o princípio de funcionamento da máquina de indução monofásica enquanto máquina especial.

**4. Intended learning outcomes (knowledge, skills and competences to be developed by the students). (1.000 characters).**

This course intends to endow the students with knowledge and skills in the electrical machines area. To achieve this, the students have to:

- Understand the operation nature of the magnetic circuits in the electrical engineering perspective, with emphasis in the electrical machines knowledge area;
- Understand the operation principle of power transformer as element of energy grid;
- Obtain skills on transformer tests and exploration level;
- Understand and apply the electromechanical energy conversion principles;
- Understand operation principle of the rotating induction machine (asynchronous machine) as electromechanical drive and power generator;
- Obtain skills on manoeuvres level, tests and exploration of rotating induction machines as motor, generator and brake;
- Understand the basic principles of operation of synchronous and direct current machines;
- Understand the principle of operation of single-phase induction machine as special machine.

**5. Conteúdos programáticos (1.000 caracteres).**

1. I - CIRCUITOS MAGNÉTICOS
  - 1.1. Circuitos Magnéticos em Corrente Contínua
  - 1.2. Circuitos Magnéticos em Corrente Alternada. Fluxo de Ligação, Indutância e Energia
  - 1.3. Propriedades dos Materiais Magnéticos. Fenómeno da Excitação
  - 1.4. Magnetos Permanentes
  - 1.5. Aplicações dos Materiais Magnéticos Permanentes
  
2. II - TRANSFORMADORES
  - 2.1. Teoria Elementar dos Transformadores
    - 2.1.1. Transformador Ideal em Vazio
    - 2.1.2. Transformador Ideal em Carga
    - 2.1.3. Transformador Real
    - 2.1.4. Esquemas Equivalentes e Aproximados dos Transformadores
  - 2.2. Transformador Real em Carga
    - 2.2.1. Característica Externa do Transformador
    - 2.2.2. Regulação da Tensão
    - 2.2.3. Correntes de Curto-Circuito em Regime Nominal
    - 2.2.4. Balanço Energético
    - 2.2.5. Rendimento
  - 2.3. Transformadores em Redes Trifásicas
    - 2.3.1. Banco de Transformadores Monofásicos.
    - 2.3.2. Transformadores Trifásicos
      - 2.3.2.1. Tipo
      - 2.3.2.2. Construção

- 2.3.2.3. Ligações e Relação de Transformação
  - 2.4. Paralelo de Transformadores
    - 2.4.1. Índice Horário
  - 2.5. Auto-transformadores
    - 2.5.1. Auto-transformador Monofásico
    - 2.5.2. Autotransformador Trifásico
  - 2.6. Transformadores Especiais
    - 2.6.1. Transformadores com mais de 2 enrolamentos
    - 2.6.2. Transformadores de Medida
    - 2.6.3. Transformadores de Proteção
- 3. III - SISTEMAS ELECTROMECHANICOS
  - 3.1. Princípios da Conversão Electromecânica da Energia
  - 3.2. Força e Binário em Circuitos Magnéticos
  - 3.3. Balanço de Energia
  - 3.4. Energia em Circuitos Magnéticos a Excitação Única. Co-Energia
  - 3.5. Forças Magnéticas e Energia
  - 3.6. Sistemas de Campo Magnético de Excitação Múltipla
- 4. IV - NOÇÕES DE MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS ELEMENTARES
  - 4.1. Máquina Assíncrona trifásica
    - 4.1.1. Máquinas de Indução Elementares
    - 4.1.2. Campos Magnéticos Girantes
    - 4.1.3. Análise Gráfica
    - 4.1.4. Ondas Progressivas
    - 4.1.5. Binário em Máquinas de Rotor Cilíndrico
    - 4.1.6. Máquinas de Indução Polifásicas
    - 4.1.7. Esquema equivalente e aproximado. Redução ao estator
    - 4.1.8. Características de funcionamento
    - 4.1.9. Característica electromecânica (motor, gerador e freio)
    - 4.1.10. Característica de potência mecânica (motor, gerador e freio)
    - 4.1.11. Balanço de potência e rendimento
    - 4.1.12. Ensaio para a obtenção dos parâmetros dos esquemas equivalentes
    - 4.1.13. Arranque de motores de indução
    - 4.1.14. Máquina de dupla gaiola
    - 4.1.15. Máquina de indução duplamente alimentada
  - 4.2. Máquina Assíncrona monofásica
    - 4.2.1. Máquina de indução monofásica
    - 4.2.2. Esquema equivalente
    - 4.2.3. Balanço de potência
    - 4.2.4. Características de funcionamento
    - 4.2.5. Arranque de motores de indução monofásicos
  - 4.3. Máquina de Corrente Contínua
    - 4.3.1. Princípio de Funcionamento da Máquina de Corrente Contínua
    - 4.3.2. Comutação da Máquina de Corrente Contínua
    - 4.3.3. Reacção Magnética do Induzido. Pólos Auxiliares e Enrolamento de Compensação
    - 4.3.4. Expressão Geral da f.e.m. do Induzido do Dínamo
    - 4.3.5. Expressão Geral do Binário interno da Máquina de Corrente Contínua

- 4.4. Máquina Síncrona
    - 4.4.1. Princípio de Funcionamento numa Máquina Síncrona
      - 4.4.1.1. Rotor de Pólos Salientes
      - 4.4.1.2. Rotor de Pólos Lisos
    - 4.4.2. Expressão Generalizada da f.e.m. de um Alternador Síncrono
- Ondas de Fluxo e f.m.m. em Máquinas Síncronas de Pólos Salientes

**5. Syllabus (1.000 characters).**

- 5. I – MAGNETIC CIRCUITS
  - 5.1. Magnetic circuits in direct current
  - 5.2. Magnetic circuits in alternate current. Linkage fluxes. Inductance and energy
  - 5.3. Magnetic materials properties. Excitation phenomena.
  - 5.4. Permanent magnets
  - 5.5. Applications of permanent magnets materials
- 6. II – POWER TRANSFORMERS
  - 6.1. Elementary theory of transformers
    - 6.1.1. No-load ideal transformer
    - 6.1.2. Loaded ideal transformer
    - 6.1.3. Real transformer
    - 6.1.4. Equivalent and approximated transformers schemes
  - 6.2. Loaded real transformer
    - 6.2.1. External characteristic
    - 6.2.2. Voltage regulation
    - 6.2.3. Steady state short-circuit currents
    - 6.2.4. Energetic balance
    - 6.2.5. Efficiency
  - 6.3. Transformers at three-phase grids
    - 6.3.1. Association of single-phase transformers
    - 6.3.2. Three-phase transformers
      - 6.3.2.1. Type
      - 6.3.2.2. Construction
      - 6.3.2.3. Connections and transformation ratio
  - 6.4. Association of transformers
  - 6.5. Autotransformer
    - 6.5.1. Single-phase autotransformer
    - 6.5.2. Three-phase autotransformer
  - 6.6. Special transformers
    - 6.6.1. Transformers with more than 2 windings
    - 6.6.2. Measuring transformers
    - 6.6.3. Protection transformers
- 7. III – ELECTROMECHANICAL SYSTEMS
  - 7.1. Electromechanical energy conversion principles
  - 7.2. Forces and torque in magnetic circuits
  - 7.3. Power balance

- 7.4. Energy in magnetic circuits with single excitation. Co-energy
- 7.5. Systems of magnetic fields with multiple excitation

8. IV – INTRODUCTION TO ELEMENTAR ROTATIVE ELECTRIC MACHINES

- 8.1. Three-phase asynchronous machine
  - 8.1.1. Elementary induction machines
  - 8.1.2. Rotating magnetic field
  - 8.1.3. Graphic analysis
  - 8.1.4. Progressive waves
  - 8.1.5. Torque in round rotor machines
  - 8.1.6. Poly-phase induction machines
  - 8.1.7. Equivalent and approximated schemes.
  - 8.1.8. Operation characteristics
  - 8.1.9. Electromechanical characteristics (motor, generator, brake)
  - 8.1.10. Mechanical power characteristics (motor, generator, brake)
  - 8.1.11. Power balance and efficiency
  - 8.1.12. Tests to calculate the equivalent scheme parameters
  - 8.1.13. Starting of three-phase induction motors
  - 8.1.14. Double cage induction machines
  - 8.1.15. Double feed induction machines
  
- 8.2. Single-phase asynchronous induction
  - 8.2.1. Single-phase induction machine
  - 8.2.2. Equivalent scheme
  - 8.2.3. Power balance
  - 8.2.4. Analysis of a single-phase induction motor
  - 8.2.5. Starting of single-phase induction machines
  
- 8.3. Direct current machine
  - 8.3.1. Operating principle
  - 8.3.2. Commutation
  - 8.3.3. Armature reaction. Auxiliary poles and compensation windings
  - 8.3.4. Direct current generator electromotive force
  - 8.3.5. Direct current machine internal torque
  
- 8.4. Synchronous machine
  - 8.4.1. Operation principle
    - 8.4.1.1. Salient poles rotor
    - 8.4.1.2. Round rotor
  - 8.4.2. Synchronous generator (general equation of electromotive force)
  - 8.4.3. Flux waves and magnetomotive force in salient poles synchronous machine

**6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular (1.000 caracteres).**

Os conteúdos programáticos escolhidos visam o cumprimento dos objetivos da unidade curricular.

É dado ênfase ao estudo dos circuitos magnéticos na perspectiva da engenharia electrotécnica, progredindo naturalmente para as máquinas de indução estáticas (transformadores) terminando nas máquinas de indução rotativa (máquina assíncrona). Com isto obtém-se um todo coerente onde os novos conceitos estão ligados com os anteriores fluindo naturalmente.

É feita uma abordagem sucinta do princípio de funcionamento das máquinas elétricas síncronas e de corrente contínua como preparação para um estudo mais pormenorizado das suas aplicações na unidade curricular de Máquinas Elétricas II.

Todo o conteúdo programático tem um suporte laboratorial, onde os alunos adquirem competências, validando os conceitos teóricos num ambiente o mais próximo possível da realidade.

#### **6. Evidence of the syllabus coherence with the curricular unit's intended learning outcomes (1.000 characters).**

The chosen syllabus intends to fulfil the contents of the course.

In this sense is done emphasis to the magnetic circuits concerning the electrical engineering perspective, progressing naturally, to the static induction machines (transformers) ending in the rotating induction machines (asynchronous machines). With this is obtained a coherent whole where the new concepts are linked with the previous ones flowing naturally.

It is done a succinct approach about the operating principle of synchronous and direct current machines as preparation to a deeper study of theirs applications during the electrical machines II course.

All the programmatic contents have a laboratorial support, where the students acquire skills, validating the theoretical concepts on an environment as close the reality possible.

#### **7. Metodologias de ensino (avaliação incluída) (1000 carateres).**

O ensino/aprendizagem na componente teórica da unidade curricular faz-se essencialmente com base na exposição das matérias pelo professor, nunca descurando, contudo, o encorajamento à investigação a realizar pelo próprio aluno. Paralelamente, pretende-se tornar as aulas pedagogicamente atractivas, encorajando os alunos a discutir os temas abordados, de modo a ir ao encontro das suas dúvidas e da maneira mais natural de interpretarem os conhecimentos transmitidos nas aulas. Complementarmente recorre-se, sempre que necessário, aos meios audiovisuais e à resolução e treino de problemas.

Na componente prática, os trabalhos são realizados numa perspectiva de validação de resultados e desse modo munir os alunos de competências que lhes permitam fazer uma ponte entre o conhecimento teórico e a sua aplicação prática. Neste processo os alunos têm de reconhecer as limitações que se têm de impor aos modelos teóricos de modo a poder-se adequar à realidade.

O desenvolvimento das aulas laboratoriais é feito em grupo, compostos por 3 a 4 alunos. A avaliação é feita através da discussão dos resultados obtidos durante as validações nas aulas (qualidade do relatório), pelo cumprimento dos pré-requisitos que permitem desenvolver o trabalho dentro do período do laboratório e ainda uma avaliação do desempenho nas aulas.

A avaliação da componente teórica é feita através de provas escritas. São realizados dois testes durante o período de aulas ou um exame em época normal. Existe também a possibilidade de realizarem um exame em época de recurso.

A classificação final (NF) resultará de uma média aritmética entre a nota resultante das provas escritas (NT) e da nota laboratorial (NL).  $NF=NT+NL$ .

### **7. Teaching methodologies (including assessment) (1.000 characters).**

The theoretical lectures are intended to promote students self-learning and encouraging the research about themes in the course aim. The teacher promotes discussing and gives inputs, driving students to the knowledge achievement. These lectures are also supported by problem solving.

The laboratory lectures are designed to be in line with theoretical lectures, where the laboratory experiences are developed and based on systems analysis. Students must apply the acquired knowledge in order to identify and to overcome mathematical models limitations.

Team work is mandatory and each working group has no more than 4 students. This course component is assessed through students' continuous evaluation during classes, previous laboratory experience design and obtained results evaluation.

The course theory component is evaluated by two assessments and one exam.

Both course components evaluation results from a weighted average between theory evaluation result and laboratory evaluation result.

### **8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular (3.000 carateres).**

As metodologias de ensino utilizadas são também coerentes com os objetivos. É dado especial ênfase à ponte entre o conhecimento teórico e a sua aplicação em ambiente próximo do industrial.

Dá-se especial enfoque, nas aulas teóricas, à utilização de catálogos, gráficos, esquemas, material audiovisual e resolução de problemas. Nas aulas práticas/laboratoriais o aluno deve projectar *à priori* os procedimentos a executar e quando for possível projectar os resultados e o comportamento dos equipamentos quando em funcionamento.

### **8. Evidence of the teaching methodologies coherence with the curricular unit's intended learning outcomes (3.000 characters).**

The course goals are in line with lecture methodologies. Emphasis is given into the interconnection promotion between theory and practice developed in almost industrial environment.

In theory lectures, highlights are given about skills development in technical documentation interpretation, graphics and electric schemes understanding and in problems solving. In laboratory lectures, students are called to design the necessary laboratory procedures, to anticipate results and to previously predict the system behaviour.

### **9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória (1.000 carateres).**

Chapman S. J.; "Electric Machinery Fundamentals"; Mc Graw Hill, USA, 2005

Fitzgerald A.E.; Kingsley, J.C., Umans, S.D. "Electric Machinery"; Mc Graw Hill, USA, 2003

Guru, B.S. ,Hiziroglu, H.R.; "Electric Machinery and Transformers"; Oxford University Press, USA, 2001

Kostenko M.P., Piotrovoski L.; "Máquinas Eléctricas - Volume II"; Edições Lopes da Silva, Porto, 1979

Martignoni, A., "Máquinas Eléctricas de Corrente Contínua", Editora Globo, Brasil, 1987

Martignoni, A., "Máquinas de Corrente Alternada", Editora Globo, Brasil, 1995