

---

**1. Designação da unidade curricular**

[3482] Complementos de Máquinas Elétricas / Complements of Electrical Machines

---

**2. Sigla da área científica em que se insere**

EE

---

**3. Duração**

Unidade Curricular Semestral

---

**4. Horas de trabalho**

162h 00m

---

**5. Horas de contacto**

Total: 52h 30m, 67h 30m das quais T: 15h 00m, 22h 30m | TP: 15h 00m, 22h 30m | P: 22h 30m

---

**6. % Horas de contacto a distância**

Sem horas de contacto à distância

---

**7. ECTS**

6

---

**8. Docente responsável e respetiva carga letiva na Unidade Curricular**

[1559] Rita Marcos Fontes Murta Pereira | Horas Previstas: 1260 horas

---

**9. Outros docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular**

[1328] Pedro Miguel Neves da Fonte | Horas Previstas: 360 horas

---

**10. Objetivos de aprendizagem e a sua compatibilidade com o método de ensino (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes).**

Análise, modelização e identificação das máquinas elétricas em regime dinâmico.

Estudo e análise da transformação física e matemática das máquinas elétricas.

Estudar a utilização de observadores nas máquinas elétricas.

Análise do efeito da saturação magnética no comportamento das máquinas elétricas

**10. Intended Learning objectives and their compatibility with the teaching method (knowledge, skills and competences by the students).**

Modeling and application of the dynamic behavior of electrical machines.

Analysis and application of electric machines mathematical and physical transformations.

Application of observers in electric machines.

Analysis of magnetic saturation effect in electric machines behavior.

**11. Conteúdos programáticos**

Estudo da dinâmica de conversores eletromecânicos: Teoria clássica e generalizada; Função de estado e variáveis de estado; Lagrangeano; Equação de Lagrange. Energia de um conversor eletromecânico. Grafos de ligação energética: Variáveis generalizadas. Representação dos elementos, junções e das suas equações matemáticas. Analogia entre sistemas físicos. Sentido da energia. Causalidade. Obtenção das equações dinâmicas. Controlabilidade e observabilidade. Ativação. Modelos generalizados das máquinas elétricas: Transformação física da máquina síncrona. Transformações reais e complexas. Dedução da transformação abc-dq. Transformação física da máquina DC. Dedução da transformação abc- $\alpha\beta$  e dq- $\alpha\beta$ . Modelos temporais. Máquina primitiva de comutação. Regime permanente e dinâmico. Equações comportamentais da máquina DC. Máquina DC, síncrona e assíncrona: Caracterização de transitórios eletromagnéticos, eletromecânicos e de pequena perturbação. Análise do efeito da saturação magnética.

**11. Syllabus**

Dynamic equations determination of electric machines: electric machines classic theory vs generalized theory, system state function, state variables of conservative systems, conservative Lagrangean, Lagrange equation of motion. Bondgraphs: variables definition, system power flow, bondgraph elements, system dynamic equations, causality, controllability, observability, activation. Electric machines generalized models: physical transformation of a salient pole synchronous and DC machine; commutator primitive machine model; transformations: abc-dq, abc  $\alpha\beta$ , dq- $\alpha\beta$ , complex transformed machined model, time-domain model. Modeling and analysis of the dynamic behavior of DC machines: Equations of motion, Steady-state and dynamic behavior. Electromagnetic and electromechanical transients, small disturbances transients and Magnetic saturation analysis of DC, synchronous and induction machines

---

**12. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular**

Os conteúdos programáticos visam a aquisição de competências por parte dos alunos nos seguintes domínios:

Modelização de conversores eletromecânicos de energia,

Modelização e análise do comportamento dinâmico de máquinas elétricas Análise dos modelos generalizados obtidos através da transformação física e matemática

Estudo do efeito da saturação magnéticas na modelização das máquinas elétricas.

Análise do comportamento das máquinas elétricas com recurso a observadores.

Neste sentido os objetivos da unidade curricular sintetizam de forma clara as competências a adquirir pelos alunos, as quais estão em concordância com os conteúdos programáticos apresentados.

---

**12. Evidence of the syllabus coherence with the curricular unit's intended learning outcomes**

These programmatic contents aim students ?competence acquirement on following domains:

- electromechanical energy conversion modeling
- electrical machines dynamic behavior modeling and analysis
- General machines models based on mathematical and physical transformation analysis
- Study of magnetic saturation effect in electric machines modeling

---

**13. Metodologias de ensino e de aprendizagem específicas da unidade curricular articuladas com o modelo pedagógico**

O ensino é composto por três vertentes: teórica, teórico-prática e laboratorial. Na teoria, são discutidos fundamentos com problemas e casos reais. Na prática, aplica-se o conhecimento na resolução de problemas e atividades laboratoriais. Técnicas de aprendizagem ativa são utilizadas e, nas aulas laboratoriais, objetivos e competências são definidos com prazos específicos.

---

**13. Teaching and learning methodologies specific to the curricular unit articulated with the pedagogical model**

Lectures have three components: theoretical, theoretical-practical and laboratory. In theory, fundamentals are discussed using real problems and cases. In practice, knowledge is applied in problem-solving and laboratory activities. Active learning techniques are used and, in laboratory classes, objectives and competences are defined with specific deadlines.

---

#### 14. Avaliação

A avaliação de conhecimentos consiste na avaliação distribuída com exame final (nos termos do estipulado no ponto 1, artigo 21 do RPAC, despacho 8077/2023 de 7 de agosto) e é composta por 2 componentes, pedagogicamente fundamentais:

1- Realização e discussão de 4 trabalhos práticos, nota mínima de 8,00 valores e média mínima de 9,50 valores (NP).

2- Realização de Exame escrito, com nota mínima de 9,50 valores (NE);

A classificação final, NF, é obtida pela média ponderada das 2 componentes:  $NF = 0,5xNE + 0,5xNP$

(A nota final para aprovação tem o mínimo de 10 valores, numa escala de zero a vinte).

---

#### 14. Assessment

The assessment consists of distributed assessment with a final exam (as stipulated in point 1, article 21 of the RPAC, order 8077/2023 of August 7) and is made up of 2 pedagogically fundamental components:

1- Completion and discussion of 4 practical assignments, with a minimum mark of 8.00 and a minimum average of 9.50.

2- A written exam, with a minimum mark of 9.50 (NE);

The final grade, NF, is obtained from the weighted average of the 2 components:  $NF = 0.5xNE + 0.5xNP$  (The final grade for approval is a minimum of 10 points, on a scale of zero to twenty).

---

#### 15. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular

Para cumprimentos dos objetivos de aprendizagem da unidade curricular, o aluno deve estar motivado e conseguir aplicar os conhecimentos teóricos a casos práticos e laboratoriais. Existe um elevado grau de articulação temporal entre as componentes, teórica, teórico-prática e laboratorial, para que o aluno consiga uma articulação adequada e lógica entre o saber e o saber fazer. Uma das formas de demonstração da coerência entre as metodologias de ensino e objetivos de aprendizagem é realizada através motivação (difícilmente mensurável) dos alunos associado ao número de aprovações (facilmente mensurável). Neste sentido os alunos que se submetem a avaliação teórica e que frequentam as aulas teóricas e teórico-práticas têm uma taxa de aprovação de cerca de 72 %. As metodologias adotadas nas aulas teórico-práticas indiciam um aumento da motivação dos alunos, medido através da frequência dos alunos nestas aulas ao longo do semestre. A metodologia adotada para as aulas laboratoriais contribui para consolidação do conhecimento uma vez que os alunos definem o processo, metodologia e aplicam os conhecimentos teóricos, contribuindo para a sinergia entre as aulas das componentes teóricas, teórico-práticas e laboratoriais. Os alunos que frequentam as aulas teóricas e teórico-práticas de forma regular, são os que se submetem a avaliação teórica.

**15. Evidence of the teaching methodologies coherence with the curricular unit's intended learning outcomes**

To accomplish the learning objectives of the course, students should be motivated and able to apply theoretical knowledge into practical and laboratorial problems. There is a high coordination between the theoretical, exercises and laboratorial components. This coordination helps students to achieve a proper and logical articulation between knowledge and know-how. One way of demonstrating the consistency between teaching methodologies and learning objectives are accomplished through student's motivation (hardly measurable) associated with approvals numbers (easily measured). In this sense students who undergo theoretical evaluation and attend all lectures have an approval ratio around 72%. The methodologies used in exercises lectures indicate some increase in students' motivation, accordingly to students' attendance numbers measured along the semester. The adopted methodology for the laboratory classes contributes to consolidation and construction of knowledge. Students must define and chose the process, methodology and apply theoretical knowledge, contributing to the synergy between exercise and laboratorial lectures. The students who attend these all classes components with some regularity are those who submit into theoretical evaluation.

**16. Bibliografia de consulta/existência obrigatória**

?Complementos de Máquinas Elétricas? - Elementos de apoio ao estudo disponibilizados pelo docente, na página moodle;

Krause, Wasynczuk, Sudhoff, Analysis of Electric Machinery and drives, IEEE 2002.

Lyshevski, Electromechanical Systems, Electric Machines and Applied Mechatronics, CRC Press, 2000

Amalendu Mukherjee; Ranjit Karmakar, Modelling and Simulation of Engineering Systems Through Bondgraphs, Alpha Science International Ltd, 2000

**17. Observações**

Unidade Curricular Obrigatória

Data de aprovação em CTC: 2025-09-23 Data de aprovação em CTC: 2025-09-23

Data de aprovação em CP: 2025-09-23 Data de aprovação em CP: 2025-09-23