



Plano de Estudos

Escola: Instituto de Investigação e Formação Avançada
Grau: Programa de Doutoramento
Curso: Engenharia Mecatrónica e Energia (cód. 720)

Especialidade Mecatrónica

1.º Ano - 1.º Semestre Especialidade Mecatrónica

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
MAT13278D	Matemática Computacional e Otimização	Matemática	6	Semestral	156
INF13279D	Programação Avançada	Informática	6	Semestral	156
FIS13280D	Eletromecânica dos Meios Contínuos	Física	6	Semestral	156
Optativas					
Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13155D	Mecânica Computacional	Engenharia Mecânica	6	Semestral	156
EME13156D	Estruturas e Materiais Inteligentes	Engenharia Mecatrónica	6	Semestral	156
EME13157D	Otimização de Estruturas e Sistemas Mecânicos	Engenharia Mecânica	6	Semestral	156
EME13159D	Projeto Automático de Circuitos Eletrónicos	Engenharia Eletrotécnica	6	Semestral	156
EME13160D	Sistemas Automáticos de medida	Engenharia Eletrotécnica	6	Semestral	156
EME13161D	Sistemas Avançados de Controlo e Supervisão	Engenharia Mecatrónica	6	Semestral	156

1.º Ano - 2.º Semestre Especialidade Mecatrónica

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13281D	Elaboração Plano de Tese - Mecatrónica	Engenharia Eletrotécnica Engenharia Mecânica Engenharia Mecatrónica	30	Semestral	780

2.º Ano - 3.º Semestre Especialidade Mecatrónica

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13297D	Acompanhamento de Tese I - Mecatrónica	Engenharia Eletrotécnica Engenharia Mecânica Engenharia Mecatrónica	3	Anual	78
Tese					



2.º Ano - 4.º Semestre
Especialidade Mecatrónica

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Tese					

3.º Ano - 5.º Semestre
Especialidade Mecatrónica

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13308D	Acompanhamento de Tese II - Mecatrónica	Engenharia Ele- trotécnica Enge- nharia Mecânica Engenharia Me- catrónica	3	Anual	78
Tese					

3.º Ano - 6.º Semestre
Especialidade Mecatrónica

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Tese					

4.º Ano - 7.º Semestre
Especialidade Mecatrónica

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13309D	Acompanhamento de Tese III - Mecatrónica	Engenharia Ele- trotécnica Enge- nharia Mecânica Engenharia Me- catrónica	3	Anual	78
Tese					

4.º Ano - 8.º Semestre
Especialidade Mecatrónica

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Tese					

Especialidade Energia

1.º Ano - 1.º Semestre
Especialidade Energia

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
MAT13278D	Matemática Computacional e Otimização	Matemática	6	Semestral	156
INF13279D	Programação Avançada	Informática	6	Semestral	156
FIS13280D	Eletromecânica dos Meios Contínuos	Física	6	Semestral	156



1.º Ano - 1.º Semestre
Especialidade Energia

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Optativas					
Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13162D	Tópicos Avançados de Transferência de Energia	Engenharia Mecânica	6	Semestral	156
EME13166D	Tópicos Avançados de Mecânica de Fluidos Computacional	Engenharia Mecânica	6	Semestral	156
EME13171D	Conversão Térmica da Radiação Solar a Média e Alta Temperatura: Tecnologias e Aplicações	Engenharia das Energias Renováveis	6	Semestral	156
EME13172D	Otimização Avançada em Sistemas de Energia Elétrica	Engenharia Eletrotécnica	6	Semestral	156
EME13173D	Otimização de Equipamentos e Sistemas Térmicos	Engenharia Mecânica	6	Semestral	156
EME13174D	Modelação Atmosférica	Engenharia Mecânica	6	Semestral	156

1.º Ano - 2.º Semestre
Especialidade Energia

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13282D	Elaboração Plano de Tese - Energia	Engenharia das Energias Renováveis Engenharia Eletrotécnica Engenharia Mecânica	30	Semestral	780

2.º Ano - 3.º Semestre
Especialidade Energia

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13298D	Acompanhamento de Tese I - Energia	Engenharia das Energias Renováveis Engenharia Eletrotécnica Engenharia Mecânica	3	Anual	78
Tese					

2.º Ano - 4.º Semestre
Especialidade Energia

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Tese					



3.º Ano - 5.º Semestre
Especialidade Energia

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13306D	Acompanhamento de Tese II - Energia	Engenharia das Energias Renováveis Engenharia Eletrotécnica Engenharia Mecânica	3	Anual	78
Tese					

3.º Ano - 6.º Semestre
Especialidade Energia

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Tese					

4.º Ano - 7.º Semestre
Especialidade Energia

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
EME13307D	Acompanhamento de Tese III - Energia	Engenharia das Energias Renováveis Engenharia Eletrotécnica Engenharia Mecânica	3	Anual	78
Tese					

4.º Ano - 8.º Semestre
Especialidade Energia

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Tese					



Condições para obtenção do Grau:

Área de Especialização em Mecatrónica ou Energia: { \ }newline

{ \ }newline

Para aprovação na componente curricular na respetiva especialização deste programa de doutoramento é necessário a aprovação (através de avaliação ou creditação) das seguintes unidades curriculares:

1º Ano

1º Semestre:

- 3 UC Obrigatórias num total de 18 ECTS { \ }newline

- 2 UC Optativas num total de 12 ECTS do conjunto de optativas disponíveis no plano de estudos da respetiva especialização.

2º Semestre:

-1 UC Obrigatórias num total de 30 ECTS

Para obtenção do grau necessita obter ainda aprovação a:

2º Ano

3º Semestre:

-1 UC Obrigatórias num total de 3 ECTS

3º Ano

5º Semestre:

-1 UC Obrigatórias num total de 3 ECTS

4º Ano

7º Semestre

-1 UC Obrigatórias num total de 3 ECTS

{ \ }newline

{ \ }newline

e aprovação nas provas públicas de defesa da Tese com inscrição na mesma a partir do 2.º ano

Conteúdos Programáticos

[Voltar](#)

Matemática Computacional e Otimização (MAT13278D)

-Números em máq. computação. Erros absol. e relativos. Probl. bem/mal condicionados.

-Diferenciação, integração e interpolação. Derivadas qualquer ordem. Fórm. quadratura, mét. adaptativos. Erros numéricos. Interpolação Lagrange, Hermite e continuidade Ck Splines e NURBS. Interpol. curvas, superfícies, volumes. Erros interpolação.

-Resol. Sist. eq. lineares e não-lineares. Mét. directos, iterativos p/ sist. lineares. Mét. matrizes esparsas, cheias, sist. grande dimensão. Mét. Newton e quasi-Newton para sist. não lineares.

-Eq. diferenciais. Aproxim. funções. Mét. dif. finitas. Mét. integração tempo (Runge-Kutta, multipasso, Newmark...) Mét. elem. finitos.

-Optimização. Optim. s/ restrições. Cond. necessárias do extremo. Mét. p/ funções 1-variável. Mét. p/ funções n variáveis: algoritmos s/ e c/ uso de derivadas. Optim. c/ restrições. Cond. de optimalidade, multiplicadores Lagrange. Mét. ponto interior. Optim. multi-objectivo. Optim. global. Algorit. genéticos. Probl. Controlo Ótimo.



[Voltar](#)

Programação Avançada (INF13279D)

- Linguagens de programação: Os paradigmas das linguagens de programação: imperativo, declarativo, funcional, orientado por objectos. Exemplificação recorrendo (nas normas mais recentes) ao Fortran, C, Java, Matlab e Python.
- Implementação de algoritmos: Estruturação dos dados, subdivisão do problema em pequenas tarefas, definição de classes e objectos, arranjo da sequência de cálculo. Recurso a bibliotecas de cálculo numérico. Interoperabilidade entre linguagens. Pacotes de interface gráfica e visualização de resultados. Elaboração da documentação de programas de modo automático.
- Computação paralela: Motivação. Aspectos fundamentais das arquitecturas para o cálculo paralelo. O processo de paralelização de algoritmos de cálculo. Ferramentas disponíveis para a comunicação entre processadores. Avaliação do desempenho. Casos de aplicação. GRID. Bibliotecas para cálculo numérico utilizando processamento paralelo.

[Voltar](#)

Eletromecânica dos Meios Contínuos (FIS13280D)

A constituição da matéria e a hipótese de contínuo. Fenómenos de piezoelectricidade, electrostricção e magnetostricção, entre outros.

Mecânica de meios contínuos. Descrição Euleriana e Lagrangeana, medidas e taxas de deformação. Forças e binário distribuídos, medidas de tensão. Objectividade. Equações de balanço de massa, quantidade de movimento e energia, na forma integral e local. Termodinâmica.

Electromagnetismo: As noções de carga, corrente e campos eléctrico e magnético. Equações de Maxwell na forma integral e diferencial, e as suas aproximações electroquasistática (EQS) e magnetoquasistática (MQS). Extensão à presença de matéria, forças macroscópicas eléctricas e magnéticas exercidas sobre a matéria. Radiação electromagnética.

Modelos constitutivos da matéria: Comportamento térmico, elástico, plástico, viscoelástico, fluido, eléctrico e suas combinações. Equações governo comportamento de contínuos electromagnéticos. Especialização para casos particulares de sólidos e fluidos.

[Voltar](#)

Mecânica Computacional (EME13155D)

Revisão das equações básicas dos meios contínuos e princípios energéticos em mecânica estrutural. Abordagem numérica por diferenças finitas, elementos finitos e elementos de fronteira.

Introdução à utilização de códigos comerciais, ANSYS, ABAQUS e sistemas CAE, CAD/CAM e CIM.

O método dos elementos finitos. Abordagem discreta e a sua implementação computacional. Abordagem contínua. Formulação de elementos de viga, placa, casca e sólido. Análise dinâmica. Comparação com modelos contidos em códigos comerciais.

Introdução à análise não linear, plasticidade e grandes deformações.

Formulação de elementos para a resolução de problemas acoplados (eléctrico, magnético, térmico, mecânico, etc.) incluindo materiais activos (piezoeléctricos, magnetostritivos, electrostrictivos, etc.). A formulação de elementos finitos para análise de escoamentos de fluidos.

Introdução à análise em múltiplas escalas. Micromecânica e homogeneização. Teoremas e limites de equivalências e mudanças de escalas.

[Voltar](#)

Estruturas e Materiais Inteligentes (EME13156D)

1. Materiais e estruturas activas e seus exemplos de aplicação em vários domínios. Piezoeléctricos, SMA (shape memory alloys), polímeros electroactivos, fluidos electro-reológicos e magneto-reológicos, biomimética.

2. Revisões de Mecânica dos meios contínuos e comportamento constitutivo.

3. Materiais activos electromagnéticos. Ferroelectricidade, piezoelectricidade, electrostricção, magnetostricção, electro-reologia. Leis constitutivas.

4. Ligas com memória de forma (SMA). Lei constitutiva.

5. Materiais feitos à medida da aplicação. Materiais compósitos. Benefícios da anisotropia do material.

6. Modelos de elementos finitos e análise em múltiplas escalas de materiais compósitos activos.

7. Projecto de componentes estruturais e mecanismos activos. Controlo activo e passivo. Critérios e modos de falha.

8. Noções de fabrico.



[Voltar](#)

Otimização de Estruturas e Sistemas Mecânicos (EME13157D)

Funções objectivo em estruturas. Algoritmos de optimização. Óptimos locais e globais. Análise de sensibilidades: Análise de sensibilidades às variáveis de projecto. Sensibilidades por diferenças finitas. Sensibilidades analíticas. Diferenciação automática. Algoritmos clássicos, genéticos e evolutivos. Utilização dos programas Ansys e Matlab na análise e optimização do projecto de estruturas, placas, cascas e compósitos.

Formação dos sistemas de equações globais para a análise cinemática de um mecanismo e a sua solução numérica. A resolução utilizando o método de Newton-Raphson, e a modularidade da construção da matriz jacobiana. Análise de modelos contidos em códigos comerciais e sua aplicabilidade.

Elementos de vigas e de placas. Formulação de juntas de corpos flexíveis. Métodos de subestruturas. Linearização de sistemas complexos. Controlo de sistemas mecânicos e estruturas como caso de aplicação. Biomecânica do movimento como caso de aplicação. Contacto/impacto de sistemas mecânicos

[Voltar](#)

Projeto Automático de Circuitos Eletrónicos (EME13159D)

1. Introdução. Conceito de “EDA”.
2. Ambientes de projecto.
3. Projecto simbólico.
4. Projecto de alto nível.
5. Modelação.
6. Verificação.
7. Implementação.

[Voltar](#)

Sistemas Automáticos de medida (EME13160D)

Sistemas automáticos de medida (SAM): Definição e objectivos.

Revisões de metrologia: medição, Exactidão, classe de precisão, incertezas, lei de propagação das incertezas, leis de distribuição probabilísticas.

Métodos de ajuste e aproximações de funções: Critério dos mínimos quadrados, critério de Tchebychev.

Revisões de Instrumentação digital. Interfaces de comunicação: GPIB, RS232, USB 2.0.

Norma IEEE 488.2: Protocolo de comunicação (handshaking), Caracterização física.

Projecto de SAM.

Instrumentação virtual.

Aplicações laboratoriais: Projecto de SAM para:

- Medição de impedâncias.
- Determinação da FT de um sistema dinâmico de 2ª ordem.
- Determinação da resposta em frequência de um filtro.
- Medição de ruído de um gerador de funções.
- Caracterização de conversores A/D p/ métodos estáticos e dinâmicos.
- Medição e caracterização no domínio da frequência de um ruído sonoro.
- Medição de deformações em estruturas mecânicas.
- Medição de parâmetros meteorológicos e ambientais.



[Voltar](#)

Sistemas Avançados de Controlo e Supervisão (EME13161D)

PARTE I: Controlo de Sistemas contínuos e discretos:

- 1) Revisões de sistemas de controlo - formulação Espaço de Estados: Reguladores e Observadores.
- 2) Sistemas de Controlo Óptimo: índices de desempenho; problemas de optimização; controlo óptimo baseado em índices quadráticos; sistemas de controlo de tempo óptimo.
- 3) Sistemas de controlo por modelo de referência. Introdução aos sistemas de controlo adaptativo. Controlo Preditivo.
- 4) Sistemas Digitais: implementação digital de controladores analógicos, controladores digitais.

PARTE II: Sistemas de Supervisão:

- 1) Revisões projecto e implementação sistemas sequenciais com PLCs (Siemens S7-300).
- 2) Controlo Local e o Controlo Remoto. Redes de comunicação industriais (Ethenet e ProfiBus).
- 3) Cooperação entre processos GRAFCET múltiplos. Gestão de cadeias de controlo Master/slave.
- 4) Sistemas de Supervisão e Controlo – SCADA (Siemens WinCC);
- 5) Comunicação OPC: SCADA - Matlab, LabView, etc.

[Voltar](#)

Elaboração Plano de Tese - Mecatrónica (EME13281D)

N.A. - Dependente do âmbito da Tese.

[Voltar](#)

Acompanhamento de Tese I - Mecatrónica (EME13297D)

N.A. - Dependente do âmbito da Tese.

[Voltar](#)

Acompanhamento de Tese II - Mecatrónica (EME13308D)

N.A. - Dependente do âmbito da Tese.

[Voltar](#)

Acompanhamento de Tese III - Mecatrónica (EME13309D)

N.A. - Dependente do âmbito da Tese.

[Voltar](#)

Tópicos Avançados de Transferência de Energia (EME13162D)

1. Revisões radiação e transferência calor em sup. sólidas.
2. Eq. Transfer. calor p/ radiação em meios participativos: radiação no vácuo; atenuação p/ absorção e dispersão; aumento p/ emissão e dispersão; transfer. radiativa e mét. de solução.
3. Prop.radiativas gases: Emissão e absorção; espectros moleculares e atómicos; mod. espectrais; emissividade total e coef. absorção médio.
4. Prop.radiativas meios particulados: Absorção e dispersão em esfera; prop. radiativas de núvem de partículas; dispersão de Rayleigh e Rayleigh-Gans; prop. radiativas grandes esferas; funções fase aproximadas.
5. Prop.radiativas meios semi-transparentes: Absorção em sólidos e líquidos semitransparentes.
6. Soluções para a RTE: S. exacta para meios unidimensionais e cinzentos; mét. aproximados para meios uni-dimensionais; mét. numéricos: aprox. PN, mét. ordenadas discretas e das zonas.
7. Radiação combinada (condução; convecção camada limite; convecção natural; combustão). Interacção turbulência-radiação



[Voltar](#)

Tópicos Avançados de Mecânica de Fluidos Computacional (EME13166D)

1. Eq. conservação escoamentos reactivos. Cinética química. Escalar conservado. Fração mistura. Decomposição de Reynolds e Favre. Eq. conservação escoam. turbulentos.
2. Implem. computacional. Mét. volumes finitos. Selecção malha. Discretização eq. conservação. Mét. solução eq. discretizadas. Algorit. solução. Precisão numérica resultados. Software in-house e comercial.
3. Mod. turbulência. Mod.zero eq. Mod. 2 equações: k-e e variantes. Mod. de transporte das tensões de Reynolds. Mod. simulação grandes turbilhões. Simul. numérica directa. Implem. numérica do modelo k-e.
4. Eq. Transfer. calor radiação meios participativos. Prop. radiativas gases e partículas. Mod. cálculo das prop. radiativas gases e partículas. Métodos das zonas, Monte Carlo, ordenadas discretas, transferência discreta e P1. Implementação numérica do método das ordenadas discretas.
5. Mod. e mecanismos de formação de: poluentes; NO; fuligem. Implem. numérica Zeldovich.
6. Código comercial simul. escoam. reactivos.

[Voltar](#)

Conversão Térmica da Radiação Solar a Média e Alta Temperatura: Tecnologias e Aplicações (EME13171D)

- 1 - O efeito do factor de concentração na temperatura de conversão térmica da radiação solar
- 2 - Sistemas ópticos de concentração linear: definição e parâmetros de desenho
- 3 - Sistemas ópticos de concentração pontual: definição e parâmetros de desenho
- 4 - Análise óptica de sistemas de concentração: efeitos ópticos, modificador de ângulo de incidência e rendimento óptico. Avaliação experimental e por traçado de raios.
- 5 - Análise térmica de sistemas de concentração: sistemas evacuados e não-evacuados. Metodologias de avaliação de desempenho térmico.
- 6 - Modelação de campos de colectores para diferentes tecnologias de concentração
- 7 - Aplicações térmicas a média temperatura: caracterização e definição de parâmetros de modelação
- 8 - Aplicações térmicas a alta temperatura: caracterização e definição de parâmetros de modelação
- 9 - Modelação de sistemas em diferentes aplicações: definição de componentes e sistema; modos de operação; parâmetros de avaliação; algoritmo de cálculo.

[Voltar](#)

Otimização Avançada em Sistemas de Energia Elétrica (EME13172D)

- 1.Planeamento Energético(PE)
Escalonamento PE; Estrutura SEE; Sistema Produção e Diag. Cargas; Mod. Lado da Oferta e Procura de Energia
- 2.Métodos de Optimização(MO)
Prog. Dinâmica (PD); Relaxação Lagrangeana(RL); Prog.Linear; Prog.Não Linear; Prog. Linear Inteira Mista (PLIM)
- 3.Afectação de Unidades
Formul. Problema(FP); Restrições sobre Unidades Térmicas(UT) e Hidráulicas; Suboptimização e Princípio da Optimalidade; PD e RL
- 4.Despacho Económico(DE) de UT
Função de Custo(FC); Técnicas Linearização da FC; Restrições de Igualdade e Desigualdade; FP de DE; Optimização: PLIM; Perdas na Transmissão
- 5.Fluxo de Potência Óptimo(FPO)
SEE no Problema de DE; FP de FPO; Solução mét. Primal/Dual
- 6.Coordenação Hidrotérmica(CHT)
FP; CHT a Curto Prazo; Reservatórios em Cascata; Função de Lagrange; Probl. dual Lagrange; MO: RL
- 7.Preços
IE da Função Dual de Lagrange; Preço Marginal(M); Custo M; MC; Preços Sombra; Políticas de Preços para Mercados Regulados e Desregulados
- 8.Simul. Optimização Económica



[Voltar](#)

Otimização de Equipamentos e Sistemas Térmicos (EME13173D)

1. Revisões de termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor e sua aplicação à modelação de equipamentos e sistemas térmicos.
2. Modelação de equipamentos e componentes térmicos (permutadores e dissipadores de calor compactos, colectores solares térmicos, receptores solares térmicos em sistemas de concentração, bombas de calor e outros). Equações constitutivas e modelação do escoamento e da transferência de calor.
3. Simulação de equipamentos e sistemas térmicos - desenvolvimento de modelos globais e técnicas de simulação envolvendo a solução de sistemas de equações não lineares. Aplicações.
4. Optimização de equipamentos e sistemas térmicos: (i) utilização de modelos de simulação para optimização de eficiência (ii) minimização da taxa de geração de entropia; (iii) análise exergética e irreversibilidade.
5. Optimização da geometria interna e do escoamento em permutadores e dissipadores de calor compactos. Convecção de calor em meios porosos.

[Voltar](#)

Modelação Atmosférica (EME13174D)

Escala do movimento e tipos de modelos atmosféricos: LES, mesoscala, previsão do tempo e circulação global.

As equações da dinâmica da atmosfera. Sistemas de coordenadas e projecções.

Métodos numéricos e técnicas computacionais. Discretização das equações e parametrização de processos físicos de sub-escala.

Interação superfície – atmosfera e a representação da camada limite atmosférica; turbulência

Modelos de transferência radiativa; Nuvens e precipitação; Convecção profunda; Parameterização de aerossóis e Química da atmosfera.

Assimilação de dados e inicialização dos modelos.

Realização de simulações numéricas com modelos atmosféricos (casos de estudo).

[Voltar](#)

Elaboração Plano de Tese - Energia (EME13282D)

N.A. - Dependente do âmbito da Tese.

[Voltar](#)

Acompanhamento de Tese I - Energia (EME13298D)

N.A. - Dependente do âmbito da Tese.

[Voltar](#)

Acompanhamento de Tese II - Energia (EME13306D)

N.A. - Dependente do âmbito da Tese.

[Voltar](#)

Acompanhamento de Tese III - Energia (EME13307D)

N.A. - Dependente do âmbito da Tese.