instituto superior de engenharia de lisboa

# Ficha de Unidade Curricular A3ES
# Processamento de Sinais Multimédia
# Licenciatura em Engenharia Informática e Multimédia

**2025-26**

**1. Designação da unidade curricular**

[4451] Processamento de Sinais Multimédia / Multimedia Signal Processing

| | |
|---|---|
| **2. Sigla da área científica em que se insere** | TEL |
| **3. Duração** | Unidade Curricular Semestral |
| **4. Horas de trabalho** | 162h 00m |
| **5. Horas de contacto** | Total: 67h 30m das quais T: 22h 30m \| TP: 15h 00m \| P: 30h 00m |
| **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** | [1755] André Ribeiro Lourenço \| Horas Previstas: 67.5 horas |
| **9. Outros docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular** | [1690] Joel Vera Cruz Preto Paulo \| Horas Previstas: 112.5 horas<br>[2208] Tiago Filipe da Silva Gonçalves \| Horas Previstas: 90 horas |

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

Os estudantes que terminam com sucesso esta unidade UC serão capazes de (CCCR = Conhecer e compreender conceitos relacionados com):
1. CCCR com o processamento digital de sinais em vários domínios, mas com especial enfase no áudio;
2. CCCR sistemas (e particularmente SLITs), tais como linearidade, invariância temporal, causalidade e estabilidade, convolução, resposta impulsional e resposta em frequência. Sistemas Discretos;
3. Analisar filtros FIR e IIR usando a transforma Z;
4. Projetar filtros FIR e IIR, dadas as suas especificações e objetivos;
5. Projetar filtros para aplicações/efeitos de som (reverberação, eco, vibrato, trémolo, etc.)
6. CCCR a acústica e a sua relação com os sistemas, fazendo analogia com um espaço fechado, entendendo os mecanismos de propagação sonora para criação de modelos virtuais em multimédia;
7. CCCR a audição binaural (dois ouvidos);
8. Projetar sistemas de áudio imersivo relacionando-os com os sistemas.

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

Students who successfully complete this course will be able to:
1. Understand and comprehend concepts related to digital signal processing in various domains, with a particular emphasis on audio;
2. Understand and comprehend concepts related to systems (particularly LTI systems), such as linearity, time invariance, causality, stability, convolution, impulse response, and frequency response. Discrete Systems;
3. Analyze FIR and IIR filters using the Z-transform;
4. Design FIR and IIR filters given specifications and objectives;
5. Design filters for audio applications (reverberation, echo);
6. Understand and comprehend concepts related to acoustics and their relationship with systems; and
7. Design immersive audio systems related to the systems.

**11. Conteúdos programáticos**

I. Introdução aos sistemas. Conceitos elementares de linearidade, invariância temporal, causalidade e estabilidade. Sistemas Lineares e Invariantes no Tempo (SLIT).
II. Filtros FIR (Finite Impulse Response). Convolução e resposta impulsional.
III. Resposta em frequência. Análise de sistemas. Conceito de filtragem.
IV. Análise sistemática de filtros usando a transformada Z. Relação com Resposta em frequência.
V. Filtros IIR (Infinite Impulse Response). Formas direta I e II.
VI. Conceitos de propagação sonora em espaços fechados.
VII. Mecanismos da audição binaural (dois ouvidos).
VIII. Projeto de Filtros para aplicações Áudio (exemplo Áudio Imersivo).

**11. Syllabus**

I. Introduction to Systems. Basic concepts of linearity, time invariance, causality, and stability. Linear Time-Invariant Systems (LTI).
II. FIR Filters (Finite Impulse Response). Convolution and impulse response.
III. Frequency Response. System analysis. Concept of filtering.
IV. Systematic analysis of filters using the Z-transform. Relationship with frequency response.
V. IIR Filters (Infinite Impulse Response). Direct Forms I and II.
VI. Concepts of Sound Propagation in Enclosed Spaces.
VII. Mechanisms of Binaural Hearing (two ears).
VIII. Filter Design for Audio Applications (example: Immersive Audio).

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

O objetivo da unidade curricular centra-se na compreensão dos fundamentos teóricos e representação matemática dos sistemas e como podem ser usados para o processamento digital de sinais.

São introduzidos os sistemas, como operadores que realizam transformações sobre sinais, sendo os SLITs o caso particular em análise (item I).

É estudada a implementação de filtros FIR e IIR (itens II e V) e a sua análise no domínio da frequência (item III) e usando a transformada Z (item IV).

Essas bases teóricas são usadas para a análise de filtros para aplicações áudio (item VII) e de propagação sonora em espaços fechados (item VI) que completam os conteúdos programáticos da unidade curricular.

O processo de ensino/aprendizagem dos tópicos abordados é suportado na realização de vários projetos.

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

The aim of this course unit is centered on the understanding of the theoretical foundations and mathematical representation of systems and how they can be used for digital signal processing.

Systems are introduced as operators that perform transformations on signals, with LTI systems being the particular case under analysis (Item I).

The implementation of FIR and IIR filters (Items II and V) and their analysis in the frequency domain (Item III) and using the Z-transform (Item IV).

These theoretical foundations are used for the analysis of filters for audio applications (item VII) and for the study of sound propagation in enclosed spaces (item VI), which complete the syllabus of the course.

The teaching and learning process of the topics covered is supported by the completion of several projects.

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

As aulas teóricas e teórico-práticas decorrem de forma interativa, estimulando a participação dos estudantes, a apresentação de exemplos e realização de exercícios.

Nas aulas de prática laboratorial, os estudantes aplicam ferramentas e técnicas específicas de processamento digital de sinal e aplicações em áudio.

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

Theoretical and theoretical-practical classes take place interactively, encouraging student participation, the presentation of examples and the execution of exercises.

In laboratory practice classes, students apply specific digital signal processing tools and techniques for audio applications.

**14. Avaliação**

A unidade curricular tem uma metodologia de avaliação distribuída com exame final.

Existem duas componentes pedagogicamente fundamentais: teórica e prática.

A componente teórica é avaliada por exame escrito ou testes parcelares.

A componente prática é avaliada por trabalhos realizados em grupo, em conjunto com uma discussão final presencial para validação da nota.

A classificação final será obtida através da média ponderada dos seguintes elementos de avaliação: exame (50%), 2 trabalhos realizados ao longo do semestre com discussão (50%).

Para obter aprovação, o aluno terá de obter média final igual ou superior a 9.50 valores (escala 0-20) com nota mínima no exame de 9.50 e nota mínima na componente prática (trabalhos) também de 9.50.

**14. Assessment**

The course unit follows a distributed assessment methodology with a final exam.

There are two pedagogically fundamental components: theoretical and practical.

The theoretical component is assessed through a written exam or partial tests.

The practical component is assessed through group projects, along with a final in-person discussion to validate the grade.

The final grade will be obtained through the weighted average of the following assessment elements: exam (50%) and 2 projects carried out throughout the semester with discussion (50%).

To pass, the student must achieve a final average of 9.50 or higher (on a scale of 0-20), with a minimum score of 9.50 in the exam and a minimum score of 9.50 in the practical component (projects).

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

O conhecimento sobre o funcionamento detalhado de sistemas processamento digital de sinais é obtido através de aulas interativas com diversos elementos de apoio (slides, apontamentos e software), da realização de exercícios (dentro e fora das aulas) e de dois projetos baseados em computador que incluem a aquisição de sinais reais. Com esta abordagem, o estudante toma contacto com as diferentes e atuais abordagens existentes para processamento digital de sinal, bem como para processamento de sinais áudio, entendendo a importância e aplicação destes sistemas.

A realização de aulas teóricas e teórico-práticas interativas, com muitos períodos curtos de exposição da teoria, acompanhada da resolução de exercícios conduz a que os estudantes assimilem os principais conceitos da unidade curricular. Nas aulas de prática laboratorial o estudante toma contacto com as implementações das técnicas e a sua aplicação a problemas concretos, no âmbito de diferentes sistemas de processamento de sinal. Esta abordagem leva a que os estudantes consigam aplicar muitos desses conceitos nos projetos em computador, terminando com a realização de componentes de um sistema de processamento de sinais áudio, com supervisão do docente. O trabalho iniciado nas aulas de prática laboratorial é posteriormente desenvolvido no período fora de aula.

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

Knowledge of the detailed functioning of digital signal processing systems is acquired through interactive classes with various supporting materials (slides, notes, and software), the completion of exercises (both in and out of class), and two computer-based projects that include the acquisition of real signals. With this approach, students are introduced to different and current methods for digital signal processing, as well as audio signal processing, understanding the importance and application of these systems.

The interactive theoretical and theoretical-practical classes, featuring many short periods of theoretical exposition followed by exercise resolution, help students assimilate the main concepts of the course. In laboratory practice classes, students engage with the implementation of techniques and their application to concrete problems within different signal processing systems. This approach enables students to apply many of these concepts in their computer projects, culminating in the creation of components of an audio signal processing system, under the supervision of the instructor. The work initiated in the laboratory practice classes is further developed during out-of-class time.

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


- McClellan, Schafer and Yoder, "Digital Signal Processing First", 2nd ed., Pearson, 2017
- Allen B. Downey, "Think DSP: Digital Signal Processing in Python", Green Tea Press, 2016
- David Howard, Jamie Angus, "Acoustics and Psychoacoustics", 4th ed., Focal Press - Elsevier, 2009
- Nuno Fonseca, "3D Audio" (livro gratuito download)


**17. Observações**

Unidade Curricular Obrigatória

Data de aprovação em CTC:

Data de aprovação em CP: