

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

1. Caracterização da Unidade Curricular.

1.1. **Designação da unidade curricular** (1.000 carateres).
Modelação e Simulação de Sistemas Naturais

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

1.3. **Duração**¹ (100 carateres).
Semestral

1.4. **Horas de trabalho**² (100 carateres).
162

1.5. **Horas de contacto**³ (100 carateres).
TP: 22.5, PL: 45

1.6. **ECTS** (100 carateres).
6

1.7. **Observações**⁴ (1.000 carateres).
Obrigatória

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

2. **Docente responsável e respetiva carga letiva na Unidade Curricular** (preencher o nome completo) (1.000 carateres).
Arnaldo Joaquim de Castro Abrantes, 180 horas de contacto

3. **Outros docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular** (1.000 carateres).
Paulo Jorge Mestre Vieira, 67.5 horas de contacto

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

No final desta unidade curricular os estudantes serão capazes de:

1. Compreender a importância da modelação e simulação no desenvolvimento de pensamento sistémico/holístico;
2. Compreender o papel dos ciclos de realimentação e atrasos no comportamento dos sistemas dinâmicos complexos;
3. Conhecer e compreender conceitos de sistemas dinâmicos, tais como variáveis de estado, funções iteradas, órbitas, pontos fixos, ciclos limite, estabilidade, caos, fractais;
4. Aplicar diagramas de ciclos causais e diagramas de níveis e fluxos em modelação e simulação de sistemas, através da utilização de software específico;
5. Conhecer e compreender a modelação baseada em indivíduos (agentes) e a sua relação com a modelação baseada em agregados;
6. Conhecer e compreender modelos matemáticos de sistemas dinâmicos complexos, tais como autómatos celulares e outros modelos baseados em agentes;
7. Aplicar modelos computacionais de Vida Artificial, tais como o modelo de Boids de Reynolds, em simulações/jogos.

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

At the end of this course students you will be able to:

1. Understand the importance of modeling and simulation in the development of systemic/holistic thinking;
2. Understand the role of feedback cycles and delays in the behavior of complex dynamic systems;
3. Know and understand concepts of dynamic systems, such as state variables, iterated functions, orbits, fixed points, limit cycles, stability, chaos, fractals;
4. Apply causal loop diagrams and diagrams of levels and flows in modeling and simulation of systems, through the use of specific software;
5. To know and understand the modeling based on individuals (agents) and its relation with the modeling based on aggregates;
6. Know and understand mathematical models of complex dynamic systems, such as cellular automata and other agent-based models;
7. Apply Artificial Life computational models, such as the Reynolds Boids model, in simulations/games.

5. Conteúdos programáticos (1.000 caracteres).

- I. Introdução e motivação à M&S de sistemas;
- II. O paradigma de M&S designado por Dinâmica de Sistemas: modelação baseada em agregados, cuja evolução é descrita por equações diferenciais não lineares onde se enfatiza o papel da realimentação e atrasos no comportamento do sistema;
- III. Conceitos em sistemas dinâmicos: variáveis de estado, funções iteradas, órbitas, pontos fixos, ciclos limite, caos, fractais;
- IV. Utilização de ferramentas de software em M&S (e.g., Vensim, AnyLogic);
- V. O paradigma de M&S designado por Modelação baseada em Agentes, onde se enfatizam as interações locais entre agentes e a natureza não linear destas, como explicação para a emergência de um determinado comportamento global;
- VI. Os autómatos celulares como caso particular de modelação baseada em agentes;
- VII. Modelos inspirados na Biologia celular: autómatos celulares e sistemas de Lindenmayer;
- VIII. Simulação de sistemas de Vida Artificial: sistemas de partículas, bandos de pássaros (Boids) e colónias de formigas.

5. Syllabus (1.000 characters).

- I. Introduction and motivation to M&S;
- II. The System Dynamics paradigm: aggregate models whose evolution is described by non-linear differential equations where the role of feedback and delays in system behavior is emphasized;
- III. Concepts in dynamic systems: state variables, iterated functions, orbits, fixed points, limit cycles, chaos, fractals;
- IV. Use of software tools in M&S (e.g., Vensim, AnyLogic);
- V. The Agent-Based Modeling paradigm: individual-based models which emphasizes the local interactions between agents and their non-linear nature, as an explanation for the emergence of a given global behavior;
- VI. Cellular automata as a particular case of agent-based modeling;
- VII. Models inspired in biology: cellular automata and Lindenmayer systems;
- VIII. Simulation of Artificial Life systems: particle systems, flocks of birds (Boids) and colonies of ants.

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

A complexidade dinâmica do mundo em que vivemos torna a simulação computacional a única forma que dispomos para alargar a nossa capacidade de o compreender e perceber, e assim tomar decisões que nos conduzam a um desenvolvimento sustentável (objetivo 1, concretizado em I).

A chamada Dinâmica de Sistemas constitui um dos focos da disciplina, analisando-se as dinâmicas dos sistemas complexos com base na identificação e modelação dos seus principais ciclos de realimentação e atrasos (objetivos 2 a 4 concretizados em II, III e IV).

Aborda-se também a representação de sistemas complexos usando modelação baseada em agentes, sendo enfatizada a estreita ligação existente entre este tipo de modelação e a criação de mundos virtuais e desenvolvimento de jogos (objetivos 5 a 7 concretizados em V, VI, VII e VIII).

A disciplina pretende assim abordar, de forma integrada, dois diferentes paradigmas de modelação de sistemas: modelação baseada em agregados versus baseada em indivíduos (agentes).

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

The dynamic complexity of the world in which we live makes computational simulation the only way we can extend our ability to understand and perceive it, and thus make decisions that lead to sustainable development (objective 1, concretized in I).

The so-called System Dynamics is one of the focuses of the discipline, analyzing the dynamics of complex systems based on the identification and modeling of their main cycles of feedback and delays (objectives 2 to 4 embodied in II, III and IV).

We also discuss the representation of complex systems using agent-based modeling, emphasizing the close connection between this type of modeling and the creation of virtual worlds and game development (objectives 5 to 7 embodied in V, VI, VII and VIII).

The discipline aims to address, in an integrated way, two different paradigms in system modeling, comparing individual-based and aggregate models.

7. Metodologias de ensino (avaliação incluída) (1.000 carateres).

É utilizada uma metodologia de ensino teórico-prática, suportada em pequenos projetos de modelação e simulação desenvolvidos ao longo do semestre.

Estes projetos envolvem a utilização de software específico (e.g., Vensim, AnyLogic) e o desenvolvimento de programas de simulação/jogos (e.g., na linguagem java, usando a biblioteca processing).

Os resultados de aprendizagem são avaliados individualmente através de exame escrito e de trabalhos realizados em grupo, em conjunto com uma discussão final desses trabalhos.

A classificação final será obtida através da média ponderada dos seguintes elementos de avaliação: exame (50%), trabalhos realizados ao longo do semestre (20%) e projeto final com discussão (30%). Para obter aprovação, o aluno terá que obter média final igual ou superior a 9.5 valores (escala 0-20) com nota mínima no exame de 9.5 e nota mínima na componente prática (trabalhos e projeto) também de 9.5.

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

A theoretical-practical teaching methodology is used, supported by small modeling and simulation projects developed during the semester.

These projects involve the use of specific software (e.g., Vensim, AnyLogic) and the development of

simulation/gaming applications (e.g., using Java language and the processing library).

The learning outcomes are assessed individually through written examination and group work, together with a final discussion of these assignments.

The final classification will be obtained through the weighted average of the following elements: exam (50%), work assignments done during the semester (20%) and final project with discussion (30%). To obtain approval in the course unit, the student will have to obtain a final grade greater or equal than 9.5 (scale 0-20) with a minimum grade of 9.5 in the exam and a minimum grade of 9.5 in the practical component (assignments and project).

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

Os temas correspondentes aos resultados de aprendizagem, na sua componente conceptual, são estudados em aulas teóricas específicas e concretizados em casos práticos e projetos desenvolvidos ao longo do semestre, em aulas teórico-práticas e de modo autónomo pelos alunos.

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

The themes corresponding to the learning outcomes, in their conceptual component, are studied in specific theoretical classes. These topics are then concretized in practical cases and projects, developed during the semester, autonomously by the students, in theoretical-practical classes.

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

Shiffman, D. (2012), *The Nature of Code: Simulating Natural Systems with Processing*

Shiflet, A., Shiflet, G. (2014), *Introduction to Computational Science: Modeling and Simulation for the Sciences*, Second Edition, Princeton University Press

Meadows, D. (2008), *Thinking in Systems: A Primer*, Chelsea Green Publishing

Flake, G. (1998), *The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation*, MIT Press

Feldman, D. (2012), *Chaos and Fractals: An Elementary Introduction*, Oxford University Press.

¹ Anual, semestral, trimestral, ...

² Número total de horas de trabalho.

³ Discriminadas por tipo de metodologia adotado (T - Ensino teórico; TP - Ensino teórico-prático; PL - Ensino prático e laboratorial; TC - Trabalho de campo; S - Seminário; E - Estágio; OT - Orientação tutorial; O - Outro).

⁴ Assinalar sempre que a unidade curricular seja optativa.