ACEF/1920/0313917 — Guião para a auto-avaliação

I. Evolução do ciclo de estudos desde a avaliação anterior

1. Decisão de acreditação na avaliação anterior.

1.1. Referência do anterior processo de avaliação.

ACEF/1314/13917

1.2. Decisão do Conselho de Administração.

Acreditar

1.3. Data da decisão.

2015-07-03

2. Síntese de medidas de melhoria do ciclo de estudos desde a avaliação anterior, designadamente na sequência de condições fixadas pelo CA e de recomendações da CAE.

2. Síntese de medidas de melhoria do ciclo de estudos desde a avaliação anterior, designadamente na sequência de condições fixadas pelo CA e de recomendações da CAE (Português e em Inglês, PDF, máx. 200kB).

[2._Síntese de medidas de melhoria.pdf](#)

3. Alterações relativas à estrutura curricular e/ou ao plano de estudos (alterações não incluídas no ponto 2).

3.1. A estrutura curricular foi alterada desde a submissão do guião na avaliação anterior?

Sim

3.1.1. Em caso afirmativo, apresentar uma explanação e fundamentação das alterações efetuadas.

Ver pdf do ponto 2.

3.1.1. If the answer was yes, present an explanation and justification of those modifications.

See pdf of point 2.

3.2. O plano de estudos foi alterado desde a submissão do guião na avaliação anterior?

Sim

3.2.1. Em caso afirmativo, apresentar uma explanação e fundamentação das alterações efetuadas.

Ver pdf do ponto 2.

3.2.1. If the answer was yes, present an explanation and justification of those modifications.

See pdf of point 2.

4. Alterações relativas a instalações, parcerias e estruturas de apoio aos processos de ensino e aprendizagem (alterações não incluídas no ponto 2)

4.1. Registaram-se alterações significativas quanto a instalações e equipamentos desde o anterior processo de avaliação?

Não

4.1.1. Em caso afirmativo, apresentar uma breve explanação e fundamentação das alterações efetuadas.

<sem resposta>

4.1.1. If the answer was yes, present a brief explanation and justification of those modifications.

<no answer>

4.2. Registaram-se alterações significativas quanto a parcerias nacionais e internacionais no âmbito do ciclo de estudos desde o anterior processo de avaliação?

Não

4.2.1. Em caso afirmativo, apresentar uma síntese das alterações ocorridas.

<sem resposta>

4.2.1. If the answer was yes, present a synthesis of those changes.

<no answer>

4.3. Registaram-se alterações significativas quanto a estruturas de apoio aos processos de ensino e aprendizagem desde o anterior processo de avaliação?

Não

4.3.1. Em caso afirmativo, apresentar uma síntese das alterações ocorridas.

<sem resposta>

4.3.1. If the answer was yes, present a synthesis of those changes.

<no answer>

4.4. (Quando aplicável) registaram-se alterações significativas quanto a locais de estágio e/ou formação em serviço, protocolos com as respetivas entidades e garantia de acompanhamento efetivo dos estudantes durante o estágio desde o anterior processo de avaliação?

Não

4.4.1. Em caso afirmativo, apresentar uma síntese das alterações ocorridas.

<sem resposta>

4.4.1. If the answer was yes, present a synthesis of those changes.

<no answer>

1. Caracterização do ciclo de estudos.

1.1 Instituição de ensino superior.

Universidade Nova De Lisboa

1.1.a. Outras Instituições de ensino superior.

1.2. Unidade orgânica (faculdade, escola, instituto, etc.):

Faculdade De Ciências E Tecnologia (UNL)

1.2.a. Outra(s) unidade(s) orgânica(s) (faculdade, escola, instituto, etc.) (proposta em associação):

1.3. Ciclo de estudos.

Matemática e Aplicações

1.3. Study programme.

Mathematics and Applications

1.4. Grau.

Mestre

1.5. Publicação do plano de estudos em Diário da República (PDF, máx. 500kB).

[1.5_MMA_regul_DR_17ag2016.pdf](#)

1.6. Área científica predominante do ciclo de estudos.

Matemática

1.6. Main scientific area of the study programme.

Mathematics

1.7.1. Classificação CNAEF – primeira área fundamental, de acordo com a Portaria n.º 256/2005, de 16 de Março (CNAEF-3 dígitos):

461

1.7.2. Classificação CNAEF – segunda área fundamental, de acordo com a Portaria n.º 256/2005, de 16 de Março (CNAEF-3 dígitos), se aplicável:

<sem resposta>

1.7.3. Classificação CNAEF – terceira área fundamental, de acordo com a Portaria n.º 256/2005, de 16 de Março (CNAEF-3 dígitos), se aplicável:

<sem resposta>

1.8. Número de créditos ECTS necessário à obtenção do grau.

120

1.9. Duração do ciclo de estudos (art.º 3 DL n.º 74/2006, de 24 de março, com a redação do DL n.º 63/2016 de 13 de setembro):

2 anos (4 semestres)

1.9. Duration of the study programme (article 3, DL no. 74/2006, March 24th, as written in the DL no. 63/2016, of September 13th):

2 years (4 semesters)

1.10. Número máximo de admissões.

15

1.10.1. Número máximo de admissões pretendido (se diferente do número anterior) e respetiva justificação.

<sem resposta>

1.10.1. Intended maximum enrolment (if different from last year) and respective justification.

<no answer>

1.11. Condições específicas de ingresso.*Podem candidatar-se:*

- a. Titulares do grau de licenciado do 1º ciclo ou equivalente legal das áreas de Ciências Exactas ou Tecnologias, com preparação mínima de base nos temas de matemática relacionados com o ramo escolhido; ou*
- b. Titulares de um grau académico superior estrangeiro conferido na sequência de um 1º ciclo de estudos organizado, naquelas áreas, de acordo com os princípios do Processo de Bolonha por um Estado aderente a este Processo; ou*
- c. Titulares de um grau académico superior estrangeiro, naquelas áreas, que seja reconhecido como satisfazendo os objectivos do grau de licenciado pelo Conselho Científico da Faculdade de Ciências e Tecnologia; ou*
- d. Detentores de um currículo escolar, científico ou profissional, que seja reconhecido como atestando capacidade para realização deste ciclo de estudos pelo Conselho Científico da Faculdade de Ciências e Tecnologia.*

1.11. Specific entry requirements.*The eligibility criteria are:*

- a. To have a bachelor degree or a formal equivalent in the areas of Exact Science or Engineering, with background in themes of mathematics related to the chosen profile; or*
- b. To have a foreign bachelor degree, in the areas mentioned above, according to the principles of the Bologna Process and from a state where this Process was adopted; or*
- c. To have a foreign university level degree, in the areas mentioned above, with the level of a Bachelor degree recognized by the Scientific Council of Faculdade de Ciências e Tecnologia; or*
- d. To have an academic, scientific or professional profile, recognized by the Scientific Council of Faculdade de Ciências e Tecnologia as appropriate for the Master program.*

1.12. Regime de funcionamento.

Outros

1.12.1. Se outro, especifique:

O CE tem um regime de funcionamento misto, ver observações.

1.12.1. If other, specify:

The SC has a mixed specific entry requirements, see observations.

1.13. Local onde o ciclo de estudos será ministrado:

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

1.14. Regulamento de creditação de formação académica e de experiência profissional, publicado em Diário da República (PDF, máx. 500kB).

[1.14._11.2 RegCredComp_DR_16junho2016.pdf](#)

1.15. Observações.

O Mestrado em Matemática e Aplicações (MMA) está organizado em três ramos de especialização: Atuariado, Estatística e Investigação Operacional (AEIO); Matemática Pura (MP); e Matemática Financeira (MF). No final do ciclo de estudos os estudantes estão aptos a integrar o mercado de trabalho (empresas e laboratórios científicos), assim como a desenvolver as atividades de I&D e a prossecução de estudos (doutoramento). Todos os ramos possuem um núcleo de disciplinas obrigatórias e diversas UC de opcionais (dentro da área dos ramos, inter-ramos e/ou de outras áreas de estudo, como a Informática ou a Economia), que capacitam os estudantes da formação base necessária e simultaneamente lhes permitem uma diferenciação adaptada aos seus interesses pessoais. O plano curricular do MMA reflete também a sua conformidade com o Perfil Curricular da FCT.

1.12.1 - O ciclo de estudos tem um regime de funcionamento misto: ramos de Matemática Pura e Atuariado, Estatística e Investigação Operacional em regime diurno e ramo de Matemática Financeira em regime pós-laboral.

1.15. Observations.

The Master in Mathematics and Applications (MMA) is organized in three profiles: Actuarial, Statistics and Operational Research (ASOR), Pure Mathematics (MP); and Financial Mathematics (FM). At the end of the program, students are able to integrate the labour market (companies and scientific laboratories), to develop R&D activities or to pursue a higher level of studies (PhD). All profiles have a mandatory core of courses and many optional ones (within the profile, inter-profiles and/or other areas of study, such as Computer Science or Economics). This flexibility empowers the students to define a differentiated study programme that reflects their personal interests but still complies with the required basic training/academic background. The MMA's curriculum is also consistent with the FCT's Curricular Profile.

1.12.1 - The Pure Mathematics and the Actuarial, Statistics and Operational Research profiles' courses are lectured within working hours, while the Financial Mathematics profile is lectured after working hours.

2. Estrutura Curricular. Aprendizagem e ensino centrados no estudante.

2.1. Percursos alternativos, como ramos, variantes, áreas de especialização de mestrado ou especialidades de doutoramento, em que o ciclo de estudos se estrutura (se aplicável)

2.1. Ramos, opções, perfis, maior/menor, ou outras formas de organização em que o ciclo de estudos se estrutura (se aplicável) / Branches, options, profiles, major/minor, or other forms of organisation compatible with the structure of the study programme (if applicable)

Opções/Ramos/... (se aplicável):

Atuariado, Estatística e Investigação Operacional
Matemática Pura
Matemática Financeira

Options/Branches/... (if applicable):

Actuarial Science, Statistics and Operations Research
Pure Mathematics
Financial Mathematics

2.2. Estrutura curricular (a repetir para cada um dos percursos alternativos)

2.2. Estrutura Curricular - Perfil Atuariado, Estatística e Investigação Operacional

2.2.1. Ramo, opção, perfil, maior/menor, ou outra (se aplicável).

Perfil Atuariado, Estatística e Investigação Operacional

2.2.1. Branches, options, profiles, major/minor, or other (if applicable)

Actuarial, Statistics and Operational Research profile

2.2.2. Áreas científicas e créditos necessários à obtenção do grau / Scientific areas and credits that must be obtained before a degree is awarded

Área Científica / Scientific Area	Sigla / Acronym	ECTS Obrigatórios / Mandatory ECTS	ECTS Mínimos Opcionais / Minimum Optional ECTS*	Observações / Observations
Matemática / Mathematics	M	99	6	
Informática / Informatics	I	0	6	
Competências Complementares / Transferable Skills	CC	3	0	
Qualquer área científica / Any Scientific Area	QAC	0	6	

(4 Items)

102

18

2.2. Estrutura Curricular - Perfil Matemática Pura

2.2.1. Ramo, opção, perfil, maior/menor, ou outra (se aplicável).

Perfil Matemática Pura

2.2.1. Branches, options, profiles, major/minor, or other (if applicable)

Pure Mathematics profile

2.2.2. Áreas científicas e créditos necessários à obtenção do grau / Scientific areas and credits that must be obtained before a degree is awarded

Área Científica / Scientific Area	Sigla / Acronym	ECTS Obrigatórios / Mandatory ECTS	ECTS Mínimos Optativos / Minimum Optional ECTS*	Observações / Observations
Matemática / Mathematics	M	81	30	
Competências Complementares / Transferable Skills	CC	3	0	
Qualquer área científica / Any Scientific Area	QAC	0	6	
(3 Items)		84	36	

2.2. Estrutura Curricular - Perfil Matemática Financeira

2.2.1. Ramo, opção, perfil, maior/menor, ou outra (se aplicável).

Perfil Matemática Financeira

2.2.1. Branches, options, profiles, major/minor, or other (if applicable)

Financial Mathematics profile

2.2.2. Áreas científicas e créditos necessários à obtenção do grau / Scientific areas and credits that must be obtained before a degree is awarded

Área Científica / Scientific Area	Sigla / Acronym	ECTS Obrigatórios / Mandatory ECTS	ECTS Mínimos Optativos / Minimum Optional ECTS*	Observações / Observations
Matemática / Mathematics	M	93	0	
Informática / Informatics	I	9	0	
Economia / Economics	E	9	0	
Competências Complementares / Transferable Skills	CC	3	0	
Qualquer área científica / Any Scientific Area	QAC	0	6	
(5 Items)		114	6	

2.3. Metodologias de ensino e aprendizagem centradas no estudante.

2.3.1. Formas de garantia de que as metodologias de ensino e aprendizagem são adequadas aos objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências) a desenvolver pelos estudantes, favorecendo o seu papel ativo na criação do processo de aprendizagem.

As diferentes unidades curriculares têm, na sua maioria, uma organização baseada em aulas teórico-práticas. O docente expõe a matéria e de seguida realiza a aplicação dos conceitos adquiridos. Dentro deste enquadramento é concedida autonomia aos respectivos docentes responsáveis para definirem os métodos de ensino, respeitando o Regulamento de Avaliação de Conhecimentos da FCT, que melhor se adequem à transmissão de informação, aplicação prática e desenvolvimento de competências. A iniciação à investigação científica é feita desde logo em algumas das UC em que a avaliação integra a realização de trabalhos em temas avançados, o que inclui a pesquisa e análise de bibliografia actualizada, bem como a elaboração e apresentação pública de trabalhos de síntese do estado da arte ou análise crítica de artigos científicos.

2.3.1. Means of ensuring that the learning and teaching methodologies are coherent with the learning outcomes (knowledge, skills and competences) to be achieved by students, favouring their active role in the creation of the learning process.

Most courses of the programme are organized in theoretic-practical classes. The teacher exposes the theoretical concepts and then apply them to case studies. Within this framework, autonomy is granted to the unit's responsible to define, respecting FCT's regulations, the teaching methodology that best ensures the transmission of information, practical application and skill development of students. On some courses, the introduction to scientific research is done immediately through the evaluation of project works on advanced topics requiring students to: research and analyse updated literature; synthesise state of the art works; prepare and publicly present a critical analysis of scientific articles.

2.3.2. Forma de verificação de que a carga média de trabalho necessária aos estudantes corresponde ao estimado em ECTS.

O trabalho global exigido aos estudantes está repartido entre as unidades curriculares. Cada UC é limitada pelo esforço atribuído no plano curricular, medido em ECTS (1 ECTS: 28 horas de trabalho do estudante, incluindo horas de contacto com os docentes e horas de trabalho autónomo). Em cada UC a carga média de trabalho requerida aos estudantes é estimada pelo docente responsável, com base na sua experiência e em UC de estrutura semelhante. A distribuição pelas diferentes atividades é alvo de análise, por forma a assegurar que corresponde ao esforço atribuído à disciplina. A interação aberta e com elevado grau de proximidade entre os alunos e o corpo docente permite aferir, durante o decurso da UC, o esforço efetivamente realizado pelos alunos. Quando necessário o corpo docente toma as medidas corretivas adequadas. Esta informação de proximidade é complementada pela realização de inquéritos aos estudantes, realizados anualmente pela FCT NOVA.

2.3.2. Means of verifying that the required average student workload corresponds to the estimated in ECTS.

The overall work required from students is divided among courses. Every course is limited by the effort assigned on the program's plan, measured in ECTS (1 ECTS corresponding to 28h of student's work). The average workload required by a course is estimated by the unit's responsible based on his experience and courses with a similar structure. The distribution among the activities ensures that the effort assigned is adequate. The close interaction between students and teachers allows an immediate assessment of the effort actually performed by students. When needed, suitable and corrective actions are taken. This information is complemented by student surveys, conducted annually by FCT NOVA.

2.3.3. Formas de garantia de que a avaliação da aprendizagem dos estudantes é feita em função dos objetivos de aprendizagem.

As metodologias de avaliação de cada UC são especificadas na respetiva ficha, antes do início do semestre, sendo esta verificada quer pelo Responsável da UC, quer pela Comissão Científica do Curso, que têm também o papel de promover a sua harmonização e adequação aos objetivos da respetiva UC e do curso. Nas UC mais aplicadas a aprendizagem é avaliada sob a forma de trabalhos que aproximam os objetivos de aprendizagem da prática do mercado laboral.

As metodologias de avaliação são continuamente aferidas e ajustadas, de forma informada por inquéritos aos estudantes. Os relatórios das UC, elaborados pelos docentes, nos quais devem responder explicitamente aos resultados dos inquéritos e propor medidas para melhorar o funcionamento da UC, incluindo a metodologia de avaliação, são apreciados pelo Coordenador do Curso, pelo Presidente do Departamento e pelo Conselho Pedagógico.

2.3.3. Means of ensuring that the student assessment methodologies are aligned with the intended learning outcomes.

The evaluation methodologies adopted by each course are specified in the respective unit files available in the beginning of the corresponding semester. This information is verified by the Programme Coordinator and the Scientific Committee, that also have the role of promoting the whole programme harmonization and the adequacy of the course unit's goals. For more applied courses, the evaluation methodologies are practical assignments that approximate the learning objectives of the labour market practice.

The evaluation methodologies are continually assessed and adjusted, taking into account the student surveys. Teachers prepare unit reports, in which they explicitly respond to the survey results and propose measures to improve the functioning of course, including the assessment methodology. These reports are then appreciated by the Programme Coordinator, the Head of Department and the Pedagogical Council.

2.4. Observações

2.4 Observações.

n.a.

2.4 Observations.

n.a.

3. Pessoal Docente

3.1. Docente(s) responsável(eis) pela coordenação do ciclo de estudos.

3.1. Docente(s) responsável(eis) pela coordenação do ciclo de estudos.

3.3 Equipa docente do ciclo de estudos (preenchimento automático)

3.3. Equipa docente do ciclo de estudos / Study programme's teaching staff

Nome / Name	Categoria / Category	Grau / Degree / Especialista / Specialist	Área científica / Scientific Area	Regime de tempo / Employment link	Informação/ Information
Alan James Cain	Professor Auxiliar convidado ou equivalente	Doutor	Matemática	20	Ficha submetida
Ana Cristina Malheiro Casimiro	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática	100	Ficha submetida
António Carlos Bárbara Grilo	Professor Associado ou equivalente	Doutor	Gestão Industrial - Comércio Electrónico	100	Ficha submetida
António José Mesquita da Cunha Machado Malheiro	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Álgebra, Lógica e Fundamentos	100	Ficha submetida
Bernardo Parente Coutinho Fernandes Toninho	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Computer Science / Informática	100	Ficha submetida
Carlos Manuel Saiago	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática / Álgebra	100	Ficha submetida
Célia Maria Castanheira de Moura da Costa Cabral	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Economia	100	Ficha submetida
Fernanda Maria Barquinha Tavares Vieira Barbosa	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Informática	100	Ficha submetida
Francisco de Moura e Castro Ascensão de Azevedo	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Informática	100	Ficha submetida
Herberto de Jesus da Silva	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática	100	Ficha submetida
Isabel Cristina Maciel Natário	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Estatística e Investigação Operacional - ramo Probabilidades e Estatística	100	Ficha submetida
Isabel Maria da Silva Cabral	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática, especialidade de Álgebra	100	Ficha submetida
Isabel Maria Oitavem Fonseca da Rocha Kahle	Professor Associado ou equivalente	Doutor	Matemática	100	Ficha submetida
João Miguel da Costa Magalhães	Professor Associado ou equivalente	Doutor	Computer Science	100	Ficha submetida
João Pedro Bizarro Cabral	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática - Geometria e Topologia	100	Ficha submetida
Joaquim Amaro Graça Pires Faia e Pina Catalão Lopes	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Economia	100	Ficha submetida
Joaquim Francisco Ferreira da Silva	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Informática	100	Ficha submetida
José Maria Nunes de Almeida Gonçalves Gomes	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Análise Matemática	100	Ficha submetida
Ludwig Krippahl	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Bioquímica estrutural	100	Ficha submetida
Luís Pedro Carneiro Ramos	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática	100	Ficha submetida
Magda Stela de Jesus Rebelo	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática	100	Ficha submetida
Manuel Leote Tavares Inglês Esquível	Professor Associado ou equivalente	Doutor	Matemática/Processos Estocásticos	100	Ficha submetida
Manuel Valdemar Cabral Vieira	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática Aplicada	100	Ficha submetida
Margarida Paula Neves Mamede	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Informática	100	Ficha submetida
Maria de Lourdes Belchior Afonso	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática Aplicada à Economia e Gestão	100	Ficha submetida
Maria Fernanda de Almeida Cipriano Salvador Marques	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Análise Matemática/Matemática	100	Ficha submetida
Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes	Professor Associado ou equivalente	Doutor	Engenharia e Gestão Industrial	100	Ficha submetida
Marta Cristina Vieira Faias Mateus	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Economia	100	Ficha submetida
Miguel Jorge Tavares Pessoa Monteiro	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Informática	100	Ficha submetida

Nelson Fernando Chibeles Pereira Martins	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Engenharia de Sistemas	100	Ficha submetida
Nuno Filipe Marcelino Martins	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática/ Análise Numérica	100	Ficha submetida
Oleksiy Karlovych	Professor Associado ou equivalente	Doutor	Matemática	100	Ficha submetida
Pedro José dos Santos Palhinhas Mota	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Estatística / Matemática	100	Ficha submetida
Pedro Manuel Corrêa Calvente Barahona	Professor Catedrático ou equivalente	Doutor	Informática (Computer Science)	100	Ficha submetida
Regina Maria Baltazar Bispo	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Estatística e Investigação Operacional	100	Ficha submetida
Rui Alberto Pimenta Rodrigues	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Matemática , equações diferenciais	100	Ficha submetida
Rui Manuel Rodrigues Cardoso	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Philosophy in Actuarial Mathematics and Statistics	100	Ficha submetida
Carmen Pires Morgado	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Engenharia Informática	100	Ficha submetida
Vanda Marisa da Rosa Milheiro Lourenço	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Estatística e Processos Estocásticos	100	Ficha submetida
Vasco Miguel Moreira do Amaral	Professor Auxiliar ou equivalente	Doutor	Ciência da Computação	100	Ficha submetida
Vitor Hugo Bento Dias Fernandes	Professor Associado ou equivalente	Doutor	Matemática	100	Ficha submetida
				4020	

<sem resposta>

3.4. Dados quantitativos relativos à equipa docente do ciclo de estudos.

3.4.1. Total de docentes do ciclo de estudos (nº e ETI)

3.4.1.1. Número total de docentes.

41

3.4.1.2. Número total de ETI.

40.2

3.4.2. Corpo docente próprio do ciclo de estudos

3.4.2. Corpo docente próprio – docentes do ciclo de estudos em tempo integral / Number of teaching staff with a full time employment in the institution.*

Corpo docente próprio / Full time teaching staff	Nº de docentes / Staff number	% em relação ao total de ETI / % relative to the total FTE
Nº de docentes do ciclo de estudos em tempo integral na instituição / No. of teaching staff with a full time link to the institution:	40	99.502487562189

3.4.3. Corpo docente do ciclo de estudos academicamente qualificado

3.4.3. Corpo docente academicamente qualificado – docentes do ciclo de estudos com o grau de doutor / Academically qualified teaching staff – staff holding a PhD

Corpo docente academicamente qualificado / Academically qualified teaching staff	Nº de docentes (ETI) / Staff number in FTE	% em relação ao total de ETI* / % relative to the total FTE*
Docentes do ciclo de estudos com o grau de doutor (ETI) / Teaching staff holding a PhD (FTE):	40.2	100

3.4.4. Corpo docente do ciclo de estudos especializado

3.4.4. Corpo docente do ciclo de estudos especializado / Specialised teaching staff of the study programme

Corpo docente especializado / Specialized teaching staff	Nº de docentes (ETI) / Staff number in FTE	% em relação ao total de ETI* / % relative to the total FTE*	
Docentes do ciclo de estudos com o grau de doutor especializados nas áreas fundamentais do ciclo de estudos (ETI) / Teaching staff holding a PhD and specialised in the fundamental areas of the study programme	26.2	65.174129353234	40.2
Especialistas, não doutorados, de reconhecida experiência e competência profissional nas áreas fundamentais do ciclo de estudos (ETI) / Specialists not holding a PhD, with well recognised experience and professional capacity in the fundamental areas of the study programme	0	0	40.2

3.4.5. Estabilidade do corpo docente e dinâmica de formação

3.4.5. Estabilidade e dinâmica de formação do corpo docente / Stability and development dynamics of the teaching staff

Estabilidade e dinâmica de formação / Stability and training dynamics	Nº de docentes (ETI) / Staff number in FTE	% em relação ao total de ETI* / % relative to the total FTE*	
Docentes do ciclo de estudos em tempo integral com uma ligação à instituição por um período superior a três anos / Teaching staff of the study programme with a full time link to the institution for over 3 years	39	97.014925373134	40.2
Docentes do ciclo de estudos inscritos em programas de doutoramento há mais de um ano (ETI) / FTE number of teaching staff registered in PhD programmes for over one year	0	0	40.2

4. Pessoal Não Docente

4.1. Número e regime de dedicação do pessoal não docente afeto à lecionação do ciclo de estudos.

Maria da Graça Nobre dos Santos – Assistente Técnica
Maria Libânia Patrício Gaspar – Assistente Técnica
Maria Deolinda da Conceição Teixeira Mata – Assistente Operacional

4.1. Number and employment regime of the non-academic staff allocated to the study programme in the present year.

Maria da Graça Nobre dos Santos – Technical Assistant
Maria Libânia Patrício Gaspar – Technical Assistant
Maria Deolinda da Conceição Teixeira Mata – Operational Assistant

4.2. Qualificação do pessoal não docente de apoio à lecionação do ciclo de estudos.

Maria da Graça Nobre dos Santos – 12º ano
Maria Libânia Patrício Gaspar – 9º ano
Maria Deolinda da Conceição Teixeira Mata – 6º ano

4.2. Qualification of the non-academic staff supporting the study programme.

Maria da Graça Nobre dos Santos – 12th grade
Maria Libânia Patrício Gaspar – 9th grade
Maria Deolinda da Conceição Teixeira Mata – 6th grade

5. Estudantes

5.1. Estudantes inscritos no ciclo de estudos no ano letivo em curso

5.1.1. Estudantes inscritos no ciclo de estudos no ano letivo em curso

5.1.1. Total de estudantes inscritos.

50

5.1.2. Caracterização por género

5.1.1. Caracterização por género / Characterisation by gender

Género / Gender	%
------------------------	----------

Masculino / Male
Feminino / Female

58
42

5.1.3. Estudantes inscritos por ano curricular.

5.1.3. Estudantes inscritos por ano curricular / Students enrolled in each curricular year

Ano Curricular / Curricular Year	Nº de estudantes / Number of students
1º ano curricular	29
2º ano curricular	21
	50

5.2. Procura do ciclo de estudos.

5.2. Procura do ciclo de estudos / Study programme's demand

	Penúltimo ano / One before the last year	Último ano/ Last year	Ano corrente / Current year
N.º de vagas / No. of vacancies	15	15	15
N.º de candidatos / No. of candidates	43	48	30
N.º de colocados / No. of accepted candidates	32	42	23
N.º de inscritos 1º ano 1ª vez / No. of first time enrolled	20	26	20
Nota de candidatura do último colocado / Entrance mark of the last accepted candidate	0	0	0
Nota média de entrada / Average entrance mark	0	0	0

5.3. Eventual informação adicional sobre a caracterização dos estudantes

5.3. Eventual informação adicional sobre a caracterização dos estudantes.

Os estudantes são provenientes tanto da licenciatura em Matemática da responsabilidade do DM FCT Nova como de outras Universidades. Os estudantes provenientes de ciclos de estudo externos à FCT Nova têm formações base diversificadas (matemática, matemática aplicada, gestão, entre outras). Todos os anos dois ou três alunos provenientes de países de língua portuguesa (usualmente de Angola, Moçambique e Cabo Verde) são admitidos neste ciclo de estudos. São também colocados estudantes de faixas etárias mais avançadas que pretende atualizar os seus currículos académicos. Estes estudantes estão ingressam normalmente nos ramos de Atuariado, Estatística e Investigação Operacional e de Matemática Financeira.

5.3. Eventual additional information characterising the students.

Students come from both the Mathematics Degree under the responsibility of DM FCT Nova and other Universities. Students coming from outside FCT Nova have a diverse background (math, applied mathematics, management, among others). Every year two or three students from Portuguese-speaking countries (usually from Angola, Mozambique and Cape Verde) are admitted to this study cycle. Students from older age groups who want to update their academic curricula are also posted. These students are normally in the fields of Actuarial, Statistical and Operational Research and Financial Mathematics.

6. Resultados

6.1. Resultados Académicos

6.1.1. Eficiência formativa.

6.1.1. Eficiência formativa / Graduation efficiency

	Antepenúltimo ano / Two before the last year	Penúltimo ano / One before the last year	Último ano / Last year
N.º graduados / No. of graduates	11	3	5
N.º graduados em N anos / No. of graduates in N years*	6	2	2
N.º graduados em N+1 anos / No. of graduates in N+1 years	4	1	3

N.º graduados em N+2 anos / No. of graduates in N+2 years	1	0	0
N.º graduados em mais de N+2 anos / No. of graduates in more than N+2 years	0	0	0

Pergunta 6.1.2. a 6.1.3.

6.1.2. Apresentar relação de teses defendidas nos três últimos anos, indicando, para cada uma, o título, o ano de conclusão e o resultado final (exclusivamente para cursos de doutoramento).

n.a.

6.1.2. List of defended theses over the last three years, indicating the title, year of completion and the final result (only for PhD programmes).

n.a.

6.1.3. Comparação do sucesso escolar nas diferentes áreas científicas do ciclo de estudos e respetivas unidades curriculares.

O baixo número de estudantes inscritos em algumas UC não permite uma análise global com significado (existem UC com 1 aluno inscrito aprovado, assim como UC com 1 estudante inscrito que não foi avaliado). Com os dados disponíveis de 3 anos letivos, 2016/17 a 2018/19, observa-se que nas UC com um maior número de estudantes inscritos, a percentagem de estudantes aprovados é em média superior a 73%. Considerando os alunos aprovados sobre os avaliados a percentagem média sobe para 92%. A percentagem de estudantes reprovados (sobre avaliados, 8%) pode-se considerar marginal. Note-se que a quase totalidade dos alunos não aprovados não se submeteram a avaliação.

Uma vez que a maioria das UC do Mestrado em Matemática e Aplicações são da área da Matemática, uma análise por áreas carece também de significado. Contudo, relativamente a unidades curriculares de áreas que não a Matemática (Economia, Informática, Competências complementares e Qualquer área científica), a percentagem de estudantes não avaliados é ligeiramente maior, 25%.

6.1.3. Comparison of the academic success in the different scientific areas of the study programme and the respective curricular units.

The low number of students enrolled in the Master does not allow a meaningful analysis (some courses have only one student). Considering the available data, from 2016/17 to 2018/19, we can observe that in course units with a higher number of enrolled students, the percentage of students that pass the course units is, on average, higher than 73%. If we consider the passed/evaluated students ratio, the average increases to 92%. The percentage of students that fail the course units is marginal (fail/evaluated students ratio is, on average, 8%). Almost all non approved students have not been evaluated.

Since almost all the course units are from the area of Mathematics, an analysis by areas is also meaningless. However, for non Mathematics units (Informatics, Economics, Transferable Skills and Any Scientific Area), the number of students not evaluated is slightly higher (over 25%).

6.1.4. Empregabilidade.

6.1.4.1. Dados sobre desemprego dos diplomados do ciclo de estudos (estatísticas da DGEEC ou estatísticas e estudos próprios, com indicação do ano e fonte de informação).

De acordo com os resultados dos inquéritos efectuados pelo OBIPNOVA - Observatório da Inserção Profissional dos Diplomados da Universidade NOVA de Lisboa (<https://www.unl.pt/ensino/obipnova>) nos anos 2016 e 2017, a taxa de desemprego é de 0%, sendo o rendimento médio líquido mensal do diplomado da ordem dos 1200€ (rendimento médio mensal líquido da população portuguesa empregada por conta de outrem foi de 888€ em 2018, de acordo com dados publicados pelo Instituto Nacional de Estatística). A taxa de resposta a este estudo foi de 67%, em 2016, e 82% em 2017, não tendo sido divulgada a dimensão da amostra.

Não encontramos quaisquer outros dados oficiais que nos permitissem fazer uma análise mais aprofundada deste ponto. É, no entanto, do nosso conhecimento que os nossos alumni ou estão empregados ou prosseguiram os seus estudos. Aquando da apresentação das provas públicas muitos dos estudantes já se encontra a trabalhar.

6.1.4.1. Data on the unemployment of study programme graduates (statistics from the Ministry or own statistics and studies, indicating the year and the data source).

According to the surveys conducted by OBIPNOVA - Observatory of the Professional Insertion of the Graduates of NOVA University of Lisbon (<https://www.unl.pt/ensino/obipnova>) in 2016 and 2017, the unemployment rate is 0%, with average monthly net income of about 1200 € (the average monthly net income was 888€ in 2018, according to the Statistics Portugal). The response rate to this study was 67% in 2016 and 82% in 2017, but the sample size was not disclosed.

We did not find any other official data allowing for deeper analyze of MMA graduates' unemployment. It is, however, of

our knowledge that our alumni are either employed or have continued their studies. At the time of their public examinations, many of the students are already employed.

6.1.4.2. Reflexão sobre os dados de empregabilidade.

Não existem dados que nos permitam fazer uma adequada reflexão sobre a empregabilidade dos diplomados pelo MMA. Sabemos pelo contato que mantemos com os nossos alumni que estes estão bastante satisfeitos com a formação que tiveram. Referem frequentemente que aprenderam a fazer o que as entidades empregadoras lhes pedem.

6.1.4.2. Reflection on the employability data.

There is no data allowing us an adequate reflection on the employability of MMA graduates. We know from the contact we have with our alumni that they are very satisfied with the knowledge and skills they have acquired in this Master programme. They often report that they have learned to do what employers ask them to.

6.2. Resultados das atividades científicas, tecnológicas e artísticas.

6.2.1. Centro(s) de investigação, na área do ciclo de estudos, em que os docentes desenvolvem a sua atividade científica

6.2.1. Centro(s) de investigação, na área do ciclo de estudos, em que os docentes desenvolvem a sua actividade científica / Research Centre(s) in the area of the study programme, where the teachers develop their scientific activities

Centro de Investigação / Research Centre	Classificação (FCT) / Mark (FCT)	IES / Institution	N.º de docentes do ciclo de estudos integrados/ No. of integrated study programme's teachers	Observações / Observations
CMA - Centro de Matemática e Aplicações	Muito Bom / Very Good	Faculdade de Ciências e Tecnologia UNL	25	https://www.cma.fct.unl.pt/

Pergunta 6.2.2. a 6.2.5.

6.2.2. Mapa-resumo de publicações científicas do corpo docente do ciclo de estudos em revistas internacionais com revisão por pares, livros ou capítulos de livros, ou trabalhos de produção artística, relevantes para o ciclo de estudos.

<http://www.a3es.pt/si/iportal.php/cv/scientific-publication/formId/4cb52dfc-e9cc-72c1-9814-5daee1a64229>

6.2.3. Mapa-resumo de outras publicações relevantes, designadamente de natureza pedagógica:

<http://www.a3es.pt/si/iportal.php/cv/other-scientific-publication/formId/4cb52dfc-e9cc-72c1-9814-5daee1a64229>

6.2.4. Atividades de desenvolvimento tecnológico e artístico, prestação de serviços à comunidade e formação avançada na(s) área(s) científica(s) fundamental(ais) do ciclo de estudos, e seu contributo real para o desenvolvimento nacional, regional e local, a cultura científica e a ação cultural, desportiva e artística.

O Departamento de Matemática (DM) e o Centro de Matemática e Aplicações (CMA) têm atividades regulares de divulgação da Matemática e da sua investigação. Frequentemente, nestas atividades, os nossos alunos são convidados a partilhar a "sala de aula" com o professor que lhes dirigiu o convite. De entre as atividades desenvolvidas destacamos:

- a *Mathmasters* destina-se a alunos universitários com gosto pela Matemática e que encarem a possibilidade de prosseguir os seus estudos nesta área (<https://eventos.fct.unl.pt/mathmasters/pages/welcome>).
- *Estágios Ciência Viva no Laboratório* www.cma.fct.unl.pt/outreach promovidos por investigadores do CMA, com atividades para alunos do Secundário.
- *Programa Cientificamente Provável* www.cma.fct.unl.pt/outreach com protocolos com escolas do ensino básico e secundário para realização de atividades de divulgação para jovens.

O CMA é responsável pelos cursos Ciência Viva no Laboratório, e protocolos Cientificamente Provável com escolas para realização de atividades dando cumprimento ao publicado no DR, 1ª série nº94, 16 de maio de 2019 que faz a revisão do regime jurídico das instituições que se dedicam à investigação científica e desenvolvimento tecnológico I&D:

"8- Estimular a relação entre a ciência e a sociedade, valorizando o reconhecimento social da ciência, a promoção da cultura científica, a comunicação sistemática do conhecimento e dos resultados das atividades de I&D e a apropriação social do conhecimento, designadamente através (...) das instituições que se dedicam à I&D"

Capítulo II, Artigo 9º

"c) Realização de ações de promoção da cultura científica, especialmente junto das crianças e jovens, proporcionando o contacto direto destes com a instituição e os projetos de investigação em curso"

Ainda são de referir: divMAT que promove iniciativas de divulgação da Matemática a alunos e professores do ensino secundário, visitando escolas e recebendo grupos nas instalações da FCT NOVA.

<https://sites.google.com/site/divmatfct/>

- ClubeMath (<http://eventos.fct.unl.pt/clubemath/>) destina-se a jovens do ensino básico e secundário, que se inscrevem e participam em 7 sessões anuais realizadas ao sábado, nas instalações da FCT NOVA.

- MatNova uma Escola de Verão que se realiza em Setembro e se destina a alunos de excelência do ensino secundário.

- A Mathingenious é uma escola destinada a alunos que concluíram o 12º ano e que evidenciaram uma forte apetência pela Matemática, bem como capacidades e talento acima da média.

Com estas atividades temos colaborado para a consciência social relativamente à importância dos estudos em

matemática.

O DM em conjunto com o CMA têm também prestação de serviços de formação avançada Actuarial Graduate Training for Willis Towers Watson “Fundamentals of Actuarial Mathematics and Pension Funds” como contributo na formação avançada na área atuarial de quadros de uma das maiores empresas de consultoria internacional.

www.cma.fct.unl.pt/business-industry

6.2.4. Technological and artistic development activities, services to the community and advanced training in the fundamental scientific area(s) of the study programme, and their real contribution to the national, regional or local development, the scientific culture and the cultural, sports or artistic activity.

The Department of Mathematics (DM) and the Centre of Mathematics and Applications (CMA) have regular activities to disseminate mathematics and research. Often in these activities our students are invited to share the “classroom” with the teacher who invited them. Among the activities, we highlight:

- Mathmasters is targeted to undergraduate College students with a special interest for Mathematics and that consider to pursue studies in this area. (<https://eventos.fct.unl.pt/mathmasters/pages/welcome>)
- Ciência Viva internships at the Laboratory promoted by CMA researchers, with activities for high school students. www.cma.fct.unl.pt/outreach
- Programa Cientificamente Provável with protocols with elementary and secondary schools to carry out outreach activities for young people. www.cma.fct.unl.pt/outreach

The CMA is responsible for the Ciência Viva in the Laboratory courses, and Programa Cientificamente Provável with schools to carry out activities in compliance with the published in the DR, 1st Series No.94, May 16, 2019 which revises the legal regime of institutions dedicated to scientific research and technological development R&D (in a free translation): “8- Stimulate the relationship between science and society, valuing the social recognition of science, the promotion of scientific culture, the systematic communication of knowledge and the results of R&D activities and the social appropriation of knowledge, namely through (...) R&D Institutions”; Chapter II, Article 9 “c) Carrying out actions to promote scientific culture, especially with children and young people, providing them with direct contact with the institution and ongoing research projects”

Still worth noting are:

- divMAT group (<https://sites.google.com/site/divmatfct/>) promotes activities targeted to Secondary students and teachers. The activities take place either at the schools or at FCT NOVA.
- ClubeMath (<http://eventos.fct.unl.pt/clubemath/>), a mathematics club gathering First grade till Secondary students. Club sessions occur in 7 Saturdays throughout the year, at FCT NOVA.
- MatNova, a Mathematics Summer School targeted to top Secondary Students, taking place at the first week of September at FCT NOVA.
- Mathingenious, a Mathematics School targeted to above average Students that have finished the 12th grade and that show a strong interest for Mathematics.
- Ciência Viva “Matemática Experimental” (Experimental Mathematics) project.

With these activities, the Department of Mathematics and the Centre of Mathematics and Applications has been contributing to raise the social awareness of the importance of advanced studies in Mathematics.

The Department of Mathematics has also provided advanced training, particularly in the area of Actuarial Graduate Training with the delivery of the course “Fundamentals of Actuarial Mathematics and Pension Funds” to the executives of Willis Towers Watson, a large international consulting company. www.cma.fct.unl.pt/business-industry

6.2.5. Integração das atividades científicas, tecnológicas e artísticas em projetos e/ou parcerias nacionais e internacionais, incluindo, quando aplicável, indicação dos principais projetos financiados e do volume de financiamento envolvido.

Existem vários projetos nas áreas científicas do ciclo de estudos com maior incidência nas áreas de Álgebra, Análise, Estatística e Investigação Operacional totalizando cerca de 40.000 euros.

Algumas parcerias nacionais tiveram como objetivo a resolução de problemas colocados pelas empresas nas áreas de interesse do ciclo de estudos, nomeadamente:

1. Como a chegada dos comboios a uma estação em intervalos constantes deve ser programadas para que o intervalo de segurança entre dois comboios seja máximo? Este é um problema de Investigação Operacional.
 2. Redução de Tempo do Processo de Embalagem; Automatização e aceleração do processo geral de atribuição de calçado a embalagens e otimização das caixas de calçado, de modo a reduzir o tamanho da caixa de cartão.
- Lista em <https://www.cma.fct.unl.pt/business-and-industrial-collaborations>.

6.2.5. Integration of scientific, technologic and artistic activities in projects and/or partnerships, national or international, including, when applicable, the main projects with external funding and the corresponding funding values.

With a financing total value of 40,000 Euros, several research projects are at present conducted in the scientific areas of the study programme, particularly in the areas of Algebra, Statistics and Operations Research. National partnerships were established with business and industry companies with the objective of solving companies’ problems. Two examples are:

1. How should trains be scheduled so that arrivals at a railway station happen at constant intervals and the safety interval between trains is maximum? This is the train frequency compatibility (TFC) problem, a timetabling problem.
2. How to ensure Time Reduction of a Packaging Process? For a shoes packaging process, the questions addressed were automatization and speed up of the overall packaging process (assignment of shoes to boxes) such that the packaging is optimized (reduction of the shoes boxes’ size).

A detailed list of these collaborations may be found in <https://www.cma.fct.unl.pt/business-and-industrial-collaborations>.

6.3. Nível de internacionalização.

6.3.1. Mobilidade de estudantes e docentes

6.3.1. Mobilidade de estudantes e docentes / Mobility of students and teaching staff

	%
Alunos estrangeiros matriculados no ciclo de estudos / Foreign students enrolled in the study programme	10
Alunos em programas internacionais de mobilidade (in) / Students in international mobility programmes (in)	8
Alunos em programas internacionais de mobilidade (out) / Students in international mobility programmes (out)	2
Docentes estrangeiros, incluindo docentes em mobilidade (in) / Foreign teaching staff, including those in mobility (in)	5
Mobilidade de docentes na área científica do ciclo de estudos (out) / Teaching staff mobility in the scientific area of the study (out).	4

6.3.2. Participação em redes internacionais com relevância para o ciclo de estudos (redes de excelência, redes Erasmus).

6.3.2. Participação em redes internacionais com relevância para o ciclo de estudos (redes de excelência, redes Erasmus).

Neste ciclo de estudos não existe muita apetência pelos alunos para ingressarem no programa Erasmus uma vez que os alunos interessados já o realizaram no 1º ciclo. No entanto recebemos alguns alunos bastante interessados em unidades curriculares lecionadas neste ciclo de estudos provenientes dos nossos parceiros no programa. Estes parceiros são 4 na Alemanha, na Itália e Turquia, 3 em Espanha, 1 em França, Bulgária, na Holanda e na Polónia, totalizando 19 acordos.

Lista em <https://www.dm.fct.unl.pt/bem-vindo-ao-dm/organizacao/comissao-para-o-programa-socrates/erasmus>.

6.3.2. Participation in international networks relevant for the study programme (excellence networks, Erasmus networks, etc.).

Until now, students in this study programme did not show a particular interest in international networks since Erasmus participation typically happens during the 1º cycle. Yet, international students were enrolled in different courses of the study programme. These students came from our international partners: universities of Germany (4), Italy (4), Turkey (4), Spain (3), France (1), Bulgaria(1), Netherlands (1) and Poland (1) in a total of 19 partners.

The complete list of network partners may be found in <https://www.dm.fct.unl.pt/bem-vindo-ao-dm/organizacao/comissao-para-o-programa-socrates/erasmus>.

6.4. Eventual informação adicional sobre resultados.

6.4. Eventual informação adicional sobre resultados.

n.a.

6.4. Eventual additional information on results.

n.a.

7. Organização interna e mecanismos de garantia da qualidade

7.1 Existe um sistema interno de garantia da qualidade certificado pela A3ES

7.1. Existe um sistema interno de garantia da qualidade certificado pela A3ES (S/N)?

Se a resposta for afirmativa, a Instituição tem apenas que preencher os itens 7.1.1 e 7.1.2, ficando dispensada de preencher as secções 7.2.

Se a resposta for negativa, a Instituição tem que preencher a secção 7.2, podendo ainda, se o desejar, proceder ao preenchimento facultativo dos itens 7.1.1 e/ou 7.1.2.

Não

7.1.1. Hiperligação ao Manual da Qualidade.

https://www.fct.unl.pt/sites/default/files/manual_da_qualidade_2018.pdf

7.1.2. Anexar ficheiro PDF com o último relatório de autoavaliação do ciclo de estudos elaborado no âmbito do sistema interno de garantia da qualidade (PDF, máx. 500kB).

<sem resposta>

7.2 Garantia da Qualidade

7.2.1. Mecanismos de garantia da qualidade dos ciclos de estudos e das atividades desenvolvidas pelos Serviços ou estruturas de apoio aos processos de ensino e aprendizagem, designadamente quanto aos procedimentos destinados à

recolha de informação (incluindo os resultados dos inquéritos aos estudantes e os resultados da monitorização do sucesso escolar), ao acompanhamento e avaliação periódica dos ciclos de estudos, à discussão e utilização dos resultados dessas avaliações na definição de medidas de melhoria e ao acompanhamento da implementação dessas medidas.

A avaliação dos Ciclos de Estudo (CE) assume especial importância para a prossecução da promoção e verificação da qualidade do Ensino e Aprendizagem. Para tal encontram-se descritos em procedimentos os processos de monitorização das Unidades Curriculares (UC) e dos CE. Nestes procedimentos encontram-se bem definidas e especificadas as funções de todos os intervenientes da comunidade académica, nomeadamente estudantes, docentes, regente e responsável da UC, coordenador e comissão científica (CC) do CE, presidente do departamento responsável pela UC e pelo CE, Subdiretor para os Assuntos Pedagógicos (SAP), Conselho de Gestão (CG) e Diretor.

O processo de monitorização semestral do CE apoia-se em 2 conjuntos de dados sobre as UC:

1) Os dados subjetivos que resultam da perceção dos estudantes e docentes são obtidos através da resposta aos seguintes Questionários de Avaliação das Perceções dos:

-Estudantes sobre o Funcionamento das UC e do Desempenho Global dos Docentes (QA);

-Docentes sobre as UC;

-Estudantes sobre o Desempenho Individual dos Docentes (QB).

2) Os dados objetivos que se referem ao desempenho obtido pelos estudantes nas UC:

-Sucesso escolar;

-Nível de eficiência formativa;

-Média das classificações obtidas pelos estudantes na UC.

O Sistema de Gestão Académica (CLIP) apoia todo o processo de monitorização e avaliação. Os questionários são respondidos online no CLIP, o qual também realiza o tratamento estatístico. Os dados objetivos são extraídos do CLIP. Os relatórios da UC e do CE que integram os dados anteriores são gerados automaticamente pelo CLIP, podendo os diversos intervenientes da comunidade académica aceder online ao respetivo relatório.

Com base nos critérios definidos as UC são classificadas como inadequadas, i.e. UC que necessitam de uma análise mais aprofundada, se o valor médio das respostas a uma das questões do questionário QA se situar abaixo do valor crítico ou se os indicadores de desempenho se situarem abaixo dos limiares críticos definidos.

No final de cada semestre o Coordenador e a CC do CE elaboram o Relatório Semestral do CE o qual inclui (1) a análise dos dados referidos anteriormente, (2) um comentário geral sobre o funcionamento do CE nesse semestre, indicando pontos fortes e pontos fracos e (3) propostas de ações de melhoria ou modificações. Este relatório é analisado pelo SAP e submetido ao CG. Este avalia as propostas e podem sugerir novas ações de melhoria.

As ações de melhoria a implementar devem incluir medidas que permitam corrigir as situações problemáticas. Sempre que surjam situações inadequadas, de cariz repetitivo, deve ser sujeita a um processo de auditoria. Na realização da auditoria, a equipa auditora deve consultar os Responsáveis envolvidos.

Deste processo, resulta um relatório com uma síntese das causas apuradas para o problema e um conjunto de conclusões e recomendações.

O CE é também submetido a uma avaliação (anual) mais detalhada, a qual é sintetizada no Relatório Global de Monitorização do CE.

7.2.1. Mechanisms for quality assurance of the study programmes and the activities promoted by the services or structures supporting the teaching and learning processes, namely regarding the procedures for information collection (including the results of student surveys and the results of academic success monitoring), the monitoring and periodic assessment of the study programmes, the discussion and use of the results of these assessments to define improvement measures, and the monitoring of their implementation.

The evaluation of the Study Cycles is of particular importance for the continuation of the promotion and verification of the Teaching and Learning quality. To this end, the monitoring processes of Curricular Units and Study Cycles are described in procedures. In these procedures, are well defined and specified the functions of all the actors of the academic community, namely students, teachers, regent and responsible of the Curricular Unit, coordinator and scientific commission of the Study Cycle, president of the department responsible for the Curricular Unit and for the Study Cycle, Vice-Dean for Pedagogical Affairs, Management Board and Dean.

The biannual monitoring process of the Study Cycles is based on two sets of data on the Curricular Units:

1) Subjective data that result from the students 'and teachers' perception, and are obtained through the answer to the following Questionnaires of Evaluation of the Perceptions of:

- Students on the Functioning of Curricular Unit and the Global Performance of Teachers (QA);

- Teachers about the Curricular Units;

- Students on the Individual Performance of Teachers (QB).

2) Objective data that refer to the performance achieved by students in the Curricular Units:

- School success;

- Level of formative efficiency;

- Average of the classifications obtained by the students in the Curricular Units.

The Academic Management System (CLIP) supports the entire monitoring and evaluation process. The questionnaires are answered online at the CLIP, which also performs the statistical treatment. The objective data is extracted from the CLIP. The reports of the Curricular Unit and the Study Cycle that integrate the previous data are generated automatically by the CLIP, and the various actors of the academic community can access online the respective report. Based on the criteria defined, the Curricular Units are classified as inadequate, that is, Curricular Units that need further analysis if the average value of the answers to one of the questions in the QA questionnaire is below the critical value, or if the performance indicators are below the defined critical thresholds.

At the end of each semester, the Coordinator and the Scientific Committee of the Study Cycle prepare the Semester Report of the Study Cycle which includes (1) the analysis of the data referred to above, (2) a general comment on the functioning of the Study Cycle in this semester, indicating strengths and weaknesses and (3) proposals for improvement actions or modifications. This report is reviewed by Vice-Dean for Pedagogical Affairs and submitted to the Management Board. It evaluates the proposals and may suggest further improvement actions.

The improvement actions to be implemented should include measures to correct the problem situations. Where there are inappropriate situations of a repetitive nature, they should be subject to an audit procedure. When conducting the

audit, the audit team should consult with those responsible.

From this process, a report summarizes the causes of the problem and a set of conclusions and recommendations. The Study Cycle is also subjected to a more detailed (annual) assessment, which is summarized in the Global Study Cycle Monitoring Report.

7.2.2. Indicação da(s) estrutura(s) e do cargo da(s) pessoa(s) responsável(eis) pela implementação dos mecanismos de garantia da qualidade dos ciclos de estudos.

Sendo um processo transversal a toda a instituição, são vários os responsáveis pela implementação dos mecanismos de garantia da qualidade do Ensino, assim:

1-ao nível da NOVA:

-Pró-Reitora responsável pela qualidade do ensino;

-Conselho da Qualidade do Ensino da NOVA: Assegurar o funcionamento do sistema de garantia da qualidade do ensino na NOVA.

2-ao nível da FCT:

-.Diretor: Orientar todas as estruturas orgânicas e funcionais para os princípios da garantia da qualidade.

- Subdiretor responsável pela garantia da qualidade do ensino na FCT NOVA.

- Comissão da Qualidade do Ensino da FCT NOVA: Assegurar o funcionamento do sistema de garantia da qualidade do ensino.

- Coordenador e Comissão Científica do CE e Presidente do Departamento responsável pelo CE e UC: processo de autoavaliação dos ciclos de estudos.

- Divisão de Gestão e Planeamento da Qualidade: Apoiar a implementação de práticas da qualidade.

- Delegados da Qualidade: Promover a implementação de práticas da qualidade.

7.2.2. Structure(s) and job role of person(s) responsible for implementing the quality assurance mechanisms of the study programmes.

Being a transversal process to the whole institution, there are several responsible for the implementation of the Teaching quality assurance mechanisms, thus:

1- at UNL level:

- Pro-Rector responsible for teaching quality;

- Teaching Quality Council of UNL: Ensure the functioning of UNL's Teaching Quality Assurance System.

2- at FCT level:

- Dean: To guide all organic and functional structures in accordance with the principles of quality assurance.

- Vice-Dean responsible for Teaching quality assurance at FCT NOVA.

- FCT NOVA Teaching Quality Committee: Ensure the functioning of the teaching quality assurance system.

- Coordinator and Scientific Committee of the CE and Chair of the Department responsible for the EC and UC: process of self-evaluation of study cycles.

- Planning and Quality Management Division (DPGQ): Support the implementation of quality practices.

- Quality Delegates (DQ): Promote the implementation of quality practices.

7.2.3. Procedimentos de avaliação do desempenho do pessoal docente e medidas conducentes à sua permanente atualização e desenvolvimento profissional.

O Regulamento da FCT NOVA relativo à Avaliação do Desempenho (RAD) têm por objeto o desempenho dos docentes, visando avaliá-lo em função do mérito e melhorar a sua qualidade. A avaliação de desempenho abrange todos os docentes das escolas envolvidas, tem em conta a especificidade de cada área disciplinar e considera todas as vertentes da respetiva atividade: a) Docência; b) Investigação científica, desenvolvimento e inovação; c) Tarefas administrativas e de gestão académica; d) Extensão universitária, divulgação científica e prestação de serviços à comunidade. Os resultados da avaliação têm consequências no posicionamento remuneratório, contratação por tempo indeterminado e renovações de contratos. Para a permanente atualização dos docentes contribui, desde logo, a implementação de uma política de estímulo à investigação de qualidade com o objetivo de incentivar projetos com potencial de investigação e reconhecer o mérito dos investigadores mais destacados.

7.2.3. Procedures for the assessment of teaching staff performance and measures for their continuous updating and professional development.

The FCT NOVA Regulation on Performance Assessment (RAD) are aimed at the performance of the teachers, in order to assess it on the basis of merit and to improve its quality. The performance evaluation covers all the teachers of the schools involved, takes into account the specificity of each subject area and considers all aspects of their activity: a) Teaching; (b) scientific research, development and innovation; c) Administrative and academic management tasks; d) University extension, scientific dissemination and service delivery to the community. The results of the evaluation have consequences on the remuneration positioning, contract renewals and tenure. For the permanent updating of the teaching staff, it mainly contributes the implementation of a policy to stimulate research quality with the goal of encouraging projects with research potential and recognizing the merit of the most outstanding researchers.

7.2.3.1. Hiperligação facultativa ao Regulamento de Avaliação de Desempenho do Pessoal Docente.

<https://dre.pt/application/conteudo/107752661>

7.2.4. Procedimentos de avaliação do pessoal não-docente e medidas conducentes à sua permanente atualização e desenvolvimento profissional.

A avaliação do pessoal não docente é efetuada segundo o SIADAP – Sistema Integrado de Avaliação de Desempenho da Administração Pública – o qual assenta na definição de objetivos institucionais que são desdobrados pela organização. Os objetivos a atingir por cada funcionário, administrativo ou técnico, são definidos no início de cada biénio e estão alinhados com os objetivos estratégicos da instituição. A progressão do funcionário, a existir, dependerá da avaliação bienal que é feita em função do cumprimento das metas fixadas.

7.2.4. Procedures for the assessment of non-academic staff performance and measures for their continuous updating and professional development.

The performance of non-academic staff is based on SIADAP – Integrated System for Performance Evaluation of Public Administration. SIADAP requires the definition and deployment of institutional objectives. The goals to be attained by the non-academic staff are aligned with the institution strategic objectives and are defined at the beginning of each biennium. The career progression of staff depends on their biennial evaluation, which is based on the degree of accomplishment of the pre-defined goals.

7.2.5. Forma de prestação de informação pública sobre o ciclo de estudos.

A informação pública deste ciclo de estudos presta-se sob a forma de:

- i) escolas para alunos do secundário (Mathingeniuos, MatNova), onde alguns dos temas dos projetos propostos abordam tópicos aprofundados neste ciclo de estudos*
- ii) publicidade nas redes sociais e via Google Adds com maior incidência na altura das candidaturas*
- iii) escola de inverno (Mathmasters) direcionada ao terceiro ano de uma Licenciatura ou Mestrado Integrado em Ciências, Engenharia ou Economia de uma qualquer instituição do Ensino Superior. <https://eventos.fct.unl.pt/mathmasters/>*
- iv) manutenção das páginas web dos diferentes ramos do ciclo de estudos*
- v) divulgação institucional de todos os ciclos de estudos a cargo da FCT NOVA, nomeadamente o programa Embaixadores onde colaboram alguns docentes e alunos do DM.*

7.2.5. Means of providing public information on the study programme.

Public information of this study programme is available through:

- i) schools targeted to Secondary students (Mathingeniuos, MatNova) where some of the projects' topics are further studied in the study programme*
- ii) social networks and Google Adds, particularly during the application period*
- iii) winter school (Mathmasters) targeted to undergraduate college students (third year) of Science, Engineering or Economics (degree or Master's students) of any higher education institution. <https://eventos.fct.unl.pt/mathmasters/>*
- iv) web pages of the different study programme's profiles*
- v) institutional promotion of all FCT NOVA's study programmes, particularly through the Ambassadors project, a project with the participation of several Department of Mathematics teachers and students.*

7.2.6. Outras vias de avaliação/acreditação nos últimos 5 anos.

n.a.

7.2.6. Other assessment/accreditation activities over the last 5 years.

n.a.

8. Análise SWOT do ciclo de estudos e proposta de ações de melhoria

8.1 Análise SWOT global do ciclo de estudos

8.1.1. Pontos fortes

- O curso oferece uma sólida formação científica, com um currículo atualizado, diversificado e abrangente. Os diplomados adquirem um conjunto de competências adequadas quer ao prosseguimento de estudos de terceiro ciclo quer à sua inserção no mercado de trabalho como profissionais altamente qualificados. Nos estudos recentes, de entre todas as áreas científicas, a Matemática aparece entre as que tem menor número de inscritos nos centros de emprego.*
- Estrutura organizacional responsável pelo Ciclo de Estudos com estruturas e mecanismos da qualidade bem definidos desde o DM até ao topo (Reitoria), nomeadamente através de procedimentos para recolha e utilização de informação relativa a UC e ao Ciclo de estudos o que permite uma monitorização e avaliação do curso, bem estruturadas e eficientes, permitindo uma melhoria contínua da qualidade/desempenho.*
- A Faculdade dispõe de bons serviços informáticos que facilitam a comunicação entre alunos e professores. Há um sistema de gestão académico (CLIP) que suporta toda a atividade curricular e um sistema pedagógico Moodle.*
- Campus com boas infraestruturas, em particular uma boa biblioteca, muito atraente e ainda com espaço para crescimento; espaços comuns como os dedicados ao ensino são de excelente qualidade e promovem um bom ambiente de relacionamento humano.*
- Componente prática suportada em laboratórios de computadores, com equipamento adequado; os estudantes têm acesso livre a um laboratório de computadores, durante o horário de expediente e, fora deste, mediante autorização.*
- Corpo docente altamente qualificado e experiente, inteiramente constituído por doutorados e que são simultaneamente investigadores ativos.*
- A estrutura curricular e o plano escolar do curso oferecem uma formação abrangente, conferindo competências que permitem a inserção no mercado de trabalho e/ou a prossecução da especialização de natureza académica.*
- O desempenho dos estudantes é muito bom na generalidade das unidades curriculares.*
- Os estudantes reconhecem que existe uma boa relação e proximidade docente-aluno, num ambiente personalizado e amigável.*
- Existe uma satisfação geral dos diplomados no DM com a sua inserção no mercado de trabalho e com as*

competências adquiridas no curso.

- Os empregadores têm manifestado, em geral, satisfação com o nível de competência, motivação e atitude dos alunos formados no DM.

8.1.1. Strengths

- The programme offers a strong scientific background with an updated, diversified and broad curriculum. With the acquired competences, the graduates may pursue Doctoral studies or join the labour market as highly qualified professionals. Recent studies point to the fact that among all scientific areas, Mathematics is the area with fewer enrollments in the State Employment Agency.*
- The organizational structure that responds for the study programme; Quality assurance mechanisms and structures are well defined all the way from the Department of Mathematics till Rectory. Information collection and information usage procedures are established for all courses and the study programme. This structured and efficient programme monitoring and evaluation, enables a continuous improvement of the quality/performance.*
- The College provides good computer services that fosters the students and teachers communication. In this sense, all curricular activities are supported by the academic management system (CLIP) and pedagogical activities may be supported by Moodle.*
- The campus has good infrastructures and a high standard library that still may be expanded; Common areas, as the ones devoted to teaching, provide a pleasant atmosphere.*
- Computer laboratories have appropriate equipment that support practical activities; Students have free access during office hours and at any other time upon permission.*
- The academic staff has excellent academic credentials (entirely PhDs) and are active members of the scientific research community.*
- Student's achievement is very positive in most of the courses.*
- The students recognize the teacher-student relationship as positive and supportive, providing an encouraging and motivating platform.*
- The overall satisfaction of Mathematics' graduated students with the competences acquired and their integration in the labour market.*
- The overall satisfaction of employers with the competence level, motivation and attitude of the graduated students from the Department of Mathematics.*

8.1.2. Pontos fracos

- A: O número de estudantes ainda é reduzido, em especial nalguns ramos do Mestrado, prejudicando a troca de experiências entre eles.*
- B: Escasso número de horas de formação em ciências atuárias não permite a acreditação, como atuário, pelo Instituto de Atuários Portugueses nem em nenhuma instituição estrangeira.*
- C: Desajuste entre calendário escolar do ramo Matemática Financeira e o calendário escolar em vigor na FCT NOVA escola como consequência do seu funcionamento em regime pós laboral.*
- D: O período de candidaturas está desarticulado com os concorrentes diretos; quando é aberto muitos possíveis candidatos já se encontram inscritos noutras Universidades.*
- E: Taxa de resposta dos estudantes aos questionários letivos FCT NOVA inferior ao que seria desejável.*

8.1.2. Weaknesses

- A: The number of enrolled students is still small, particularly in some of the programme's specializations, which affects the exchange of experiences amongst them.*
- B: The reduced number of hours lectured in the Actuarial Science courses, does not allow students to be certified as actuaries either by the Portuguese Institute of Actuaries or any international institution.*
- C: The gap between the scholar schedule of the Financial Mathematics specialization and the one of FCT-UNL, due to the after-labour schedule of this specialization.*
- D: The application period is delayed when compared with other competitors' periods: possible candidates are already enrolled in other Universities when the application period starts.*
- E: Students' response rate to surveys is below the expected level.*

8.1.3. Oportunidades

- A evolução tecnológica em constante aceleração está a disponibilizar quantidades de dados que necessitam tratamento estatístico. Existe, no mercado, falta de profissionais com sólida formação em áreas técnicas onde a matemática, em especial a estatística e a investigação operacional, são fundamentais.*
- O Perfil curricular em vigor na FCT NOVA, em vigor desde ano letivo 2012/13, permite uma maior interação entre estudantes dos diferentes ciclos de estudos da FCT NOVA e, dependendo da escolha do aluno, uma maior integração na investigação científica ou um primeiro contacto com o mercado de trabalho. As medidas relacionadas com a avaliação contínua (perfil FCT) têm contribuído positivamente para o sucesso escolar.*
- A acessibilidade do campus é cada vez melhor, devido à intensificação da ligação por metro de superfície. Existe também uma residência universitária muito próxima do campus.*
- Existência de bom número de cooperações de investigação a nível internacional.*
- Maior abertura dos outros departamentos sediados no Campus, a colaborações científicas conjuntas com os docentes do DM.*
- A calendarização das avaliações é elaborada, com supervisão da coordenação do ciclo de estudos, de modo a evitar sobreposição de avaliações. É também tornada pública no início de cada semestre, permitindo aos estudantes planear o seu estudo ao longo do semestre.*
- A existência de um corpo docente experiente com elevada qualificação académica facilita a adaptação da oferta formativa, adequando-a às evoluções do conhecimento e às necessidades do mercado.*
- Uma maior sensibilidade social para a necessidade da formação continuada ao longo da vida.*

- A abertura de um novo ciclo de estudo do DM, Licenciatura em Matemática Aplicada à Gestão do Risco, permite a construção de um 2.º ciclo de estudos acreditado para as Ciências Atuariais e a consequente adequação do atual ciclo de estudos, com o aumento no número de ECTS nas áreas de investigação operacional e estatística.

8.1.3. Opportunities

- The constant acceleration of the technological evolution produces large volumes of data that require statistical processing. As a result, the labour market is now lacking professionals with a strong background in technical areas for which Mathematics, and in particular Statistics and Operations Research, play a fundamental role.
- The curricular profile that prevails at FCT NOVA since the academic year of 2012/13, fosters a strong interaction between students of different degrees and also allows students to experience a scientific research project (PIIC project) or a short internship (PIPP), according to their choice. Additionally, the established continuous evaluation profile (FCT profile) has played a positive role in academic success.
- The campus accessibility has improved thanks to the reinforcement of the surface metro network. Campus housing is also available.
- The good number of ongoing international collaborations in scientific research.
- A stronger receptiveness from other departments to scientific collaborations with Department of Mathematics academic staff.
- The evaluation schedule is proposed by the Programme Coordination in order to avoid overlaps. It is also made public, so that students may plan their study ahead for all semester.
- The experienced academic staff with excellent academic credentials, allows courses to be more easily adapted to the knowledge evolution and the market needs.
- A deeper social awareness of the importance of lifelong learning.
- The proposal of a new Mathematics degree, the degree of Mathematics Applied to Risk Management, enables to propose a new credited study programme on Actuarial Science and to restructure the existing programme by reinforcing the number of ECTS in the areas of Operations Research and Statistics.

8.1.4. Constrangimentos

- As limitações orçamentais conduzem a limitações de recursos humanos e materiais, e impedem certas ações que permitiriam melhorar a qualidade do ciclo de estudos.
- A renovação do equipamento nos laboratórios de computadores existentes e, sobretudo, a manutenção em funcionamento dos mesmos no dia a dia é muito dificultada pelas limitações orçamentais.
- Em alguns dos espaços físicos em que são lecionadas as aulas, começam a existir sinais de degradação que a atual conjuntura orçamental não ajuda a resolver.
- O número reduzido de pessoal não docente afeto ao DM e ao CMA transfere muitas tarefas administrativas para o corpo docente, o que reduz a sua disponibilidade para as tarefas de docência e investigação.
- A localização do Campus embora vantajosa em termos de espaço, leva a necessidade de articular diferentes meios de transporte em conjunto com a reduzida capacidade de alojamento da residência diminui a atratividade da FCT.
- Existe alguma dificuldade de atrair alunos para o regime pós-laboral devido à localização do Campus, uma vez que a maior parte dos candidatos trabalham em Lisboa e no final do dia terão que enfrentar filas de trânsito no sentido Lisboa-Almada para assistirem às aulas.
- A carga docente média é elevada para uma escola de investigação como é o caso da FCT NOVA (mais de 8h semanais de aulas).
- A carência no mercado de profissionais com formação em Matemática leva a que os alunos iniciem a sua atividade profissional antes da conclusão do ciclo de estudos; historicamente estes alunos terminam a sua formação curricular mas não elaboram a dissertação.

8.1.4. Threats

- Budget restrictions lead to human and material resources constraints that hinder improvement actions of the programme quality.
- The replacement of computers and above all the maintenance of the existing equipment that must ensure the computing labs' daily service, is highly conditioned by budget constraints.
- Some of the rooms that host didactic activities begin to show damage signs. The present budgetary condition doesn't help to solve this situation.
- The reduced number of the non academic staff assigned to the Department of Mathematics and the Center of Mathematics and Applications compels the academic staff to perform administrative tasks which reduces their availability for teaching and research.
- The Campus location, though its large area is an advantage, requires that different types of transports must be linked. This and the small Campus housing capacity, reduce FCT NOVA attractiveness.
- The after-labour course regime has found some obstacles in attracting students: the large majority of the candidates works in Lisbon and classes at the end of the day would force them to face the Lisboa-Almada traffic jams.
- The average teaching load is heavy (more than 8h weekly) considering the fact that FCT NOVA is a scientific research school.
- The lack of professionals with a Mathematics background leads to an integration of students in the professional market prior to the conclusion of their degree. Typically, students finish the curricular section but do not produce the dissertation.

8.2. Proposta de ações de melhoria

8.2. Proposta de ações de melhoria

8.2.1. Ação de melhoria

A: Reforço da divulgação do ciclo de estudos por forma a captar mais alunos. Com a abertura do novo curso Licenciatura em Matemática Aplicada à Gestão do Risco espera-se que existam mais alunos a prosseguir a sua formação neste ciclo de estudos.

B: Foi submetida uma intenção de criação de um Mestrado em Matemática Atuarial cujo plano de estudos permitirá a certificação nacional dos formandos como atuários, de forma automática após a conclusão do ciclo de estudos, e facilitará consideravelmente a sua acreditação internacional. Como consequência, o ramo de Atuariado, Estatística e Investigação Operacional será revisto retirando as UC obrigatórias em Atuariado e adequando os correspondentes ECTS a outras áreas de formação.

C: O regime de funcionamento do Perfil Matemática Financeira passará de pós laboral para diurno.

D: Têm sido envidados esforços no sentido de sensibilizar o CC da FCT NOVA para adequar os períodos de candidaturas à necessidades dos ciclos de estudo. Iremos continuar insistindo na antecipação dos períodos de candidatura bem como na introdução de mecanismo de comprometimento dos alunos para com as vagas atribuídas.

E: Ações de sensibilização dos alunos para a importância do preenchimento dos questionários na reunião de arranque do semestre e no final do semestre em cada UC.

8.2.1. Improvement measure

A: Reinforce the dissemination of the present Study Programme in order to enlarge the number of enrolled students. With the offer of a new degree in Mathematics Applied to Risk Management, it is expected that more students will pursue their studies in the present Study Programme.

B: The request of approval of the Actuarial Mathematics Master degree has been submitted. This new degree will allow students to be automatically certified as Actuaries once graduated (by the Portuguese Institute of Actuaries) and favour their international accreditation. As a consequence, the mandatory courses in Actuarial Sciences will be removed from the Actuarial, Statistics and Operations Research profile and the respective ECTS will be distributed among the other areas of the programme.

C: The Financial Mathematics profile is going to be lectured within working hours

D: Efforts have been made to persuade the FCT NOVA's Scientific Committee to the importance of establishing application periods that match the needs of the study programmes. In this sense the anticipation of the application period and the introduction of a process that commits selected students, are two aspects that the Department of Mathematics will insist with CC for approval.

E: Students have been alerted to the importance of answering surveys. In this sense recommendation actions are conducted at the beginning and end of semester for every course.

8.2.2. Prioridade (alta, média, baixa) e tempo de implementação da medida

A: Média

B: Alta

C: Média

D: Alta

E: Alta

8.2.2. Priority (high, medium, low) and implementation time.

A: Medium

B: High

C: Medium

D: High

E: High

8.1.3. Indicadores de implementação

A: Avaliação do número de candidaturas e número de inscritos.

B: Aprovação pelo Colégio de Diretores da UNL e posterior certificação pela A3ES do ciclo de estudos em Matemática Atuarial; Aprovação pela A3ES das alterações ao ramo de Atuariado, Estatística e Investigação Operacional.

C: Aprovação pela A3ES das alterações propostas no perfil de Matemática Financeira.

D: Avaliação do número de candidaturas e número de inscritos.

E: Taxa de preenchimento disponível no sistema de informação (CLIP).

8.1.3. Implementation indicator(s)

A: Evaluation of the number of applications and the number of enrollments.

B: Approval of the study programme on Actuarial Mathematics by the UNL Directors Committee and the later certification by A3ES; Approval by A3ES on the changes of the Actuarial, Statistics and Operations Research profiles.

C: Approval by A3ES on the changes of the Financial Mathematics profile.

D: Fulfilment rate available on the information system (CLIP).

9. Proposta de reestruturação curricular (facultativo)**9.1. Alterações à estrutura curricular**

9.1. Síntese das alterações pretendidas e respectiva fundamentação

Sucintamente as alterações propostas são:

I) Os ECTS da dissertação passam de 42 para 60, a parte letiva é composta por dois semestres, esta medida permite que:

I.i) os alunos que pretendam realizar a dissertação em regime empresarial o possam fazer logo em setembro, altura em que usualmente chegam pedidos de estagiários à FCT NOVA e não apenas em Janeiro como se verifica atualmente.

I.ii) os alunos se foquem um ano inteiro no trabalho para dissertação; os atuais 42 ECTS repartidos em 12 e 30 leva a que a maior parte dos alunos se foque apenas na dissertação no 2.º semestre uma vez que no 1.º semestre ainda existem UC a realizar.

I.iii) no perfil Matemática Pura os alunos que pretendam prosseguir os estudos para doutoramento uma tese anual permite um trabalho de investigação mais aprofundado.

II) Está em processo de acreditação um novo 2º ciclo de estudos em Matemática Atuarial para que os alunos tenham acreditação nacional e posteriormente internacional como Atuários, logo consequentemente:

II.i) a formação científica de atuariado passa a opcional.

II.ii) altera-se a designação do perfil Atuariado, Estatística e Investigação Operacional para Ciências dos dados e da decisão.

III) O perfil Matemática Financeira passa para regime diurno, a procura na FCT NOVA é essencialmente de alunos não trabalhadores e o regime pós-laboral na nossa localização geográfica é pouco atrativo para os potenciais candidatos que trabalham em Lisboa.

IV) Em relação aos planos de estudos, foi efetuada uma atualização dos conteúdos no sentido de acomodar as alterações de ECTS da dissertação, a perda de UC obrigatórias em atuariado, e das alterações propostas ao nível do 1.º ciclo Licenciatura em Matemática.

9.1. Synthesis of the proposed changes and justification.

Briefly, the proposed changes are:

I) The dissertation ECTS goes from 42 to 60, the teaching component will be of two semesters, this measure allows:

I.i) Students wishing to undertake a dissertation as an internship on a company will be able to start in September, the time when, usually, companies contact us.

I.ii) students to focus on the dissertation work for an entire year. The current 42 ECTS divided into 12 and 30 means that most students focus only on the dissertation in the 2nd semester, since in the 1st semester there are still classes to attend.

I.iii) in the Pure Mathematics profile students wishing to pursue doctoral studies have one year for further research.

II) A new 2nd cycle of studies in Actuarial Mathematics is currently under accreditation process. Therefore:

II.i) the offer of actuarial subjects becomes elective.

II.ii) the name of the Actuarial, Statistical and Operational Research profile will be changed to Data and Decision Sciences.

III) The Financial Mathematics profile changes to the daytime regime. The majority of FCT NOVA candidates prefers the daytime regime. The candidates that would apply to an evening class schedule usually work in Lisbon. Our geographical location is very inconvenient due to the rush hour at that time from Lisbon to Almada.

IV) Regarding courses syllabus, there was an update of the contents due to the dissertation ECTS changes, due to the loss of UC in actuarial subjects, and the changes that occurring on the undergraduate degree on Mathematics.

9.2. Nova estrutura curricular pretendida (apenas os percursos em que são propostas alterações)

9.2. Ciências dos Dados e da Decisão

9.2.1. Ramo, opção, perfil, maior/menor ou outra (se aplicável):

Ciências dos Dados e da Decisão

9.2.1. Branch, option, profile, major/minor or other (if applicable).

Data and Decision Sciences

9.2.2. Áreas científicas e créditos necessários à obtenção do grau / Scientific areas and number of credits to award the degree

Área Científica / Scientific Area	Sigla / Acronym	ECTS Obrigatórios / Mandatory ECTS	ECTS Optativos / Optional ECTS*	Observações / Observations
Matemática / Mathematics	M	75	12	
Matemática / Informática / Engenharia Industrial / Mathematics / Informatics / Industrial Engineering	M / I / EI	0	24	
Competências Complementares	CC	3	0	
Qualquer Área Científica	QAC	0	6	
(4 Items)		78	42	

9.2. Matemática Financeira Computacional

9.2.1. Ramo, opção, perfil, maior/menor ou outra (se aplicável):

Matemática Financeira Computacional

9.2.1. Branch, option, profile, major/minor or other (if applicable).

Computational Financial Mathematics

9.2.2. Áreas científicas e créditos necessários à obtenção do grau / Scientific areas and number of credits to award the degree

Área Científica / Scientific Area	Sigla / Acronym	ECTS Obrigatórios / Mandatory ECTS	ECTS Optativos / Optional ECTS*	Observações / Observations
Matemática / Mathematics	M	102	0	
Informática / Informatics	I	6	0	
Economia / Economics	E	3	0	
Competências Complementares / Transferable Skills	CC	3	0	
Qualquer Área Científica / Any Scientific Area	QAC	0	6	
(5 Items)		114	6	

9.2. Matemática Pura

9.2.1. Ramo, opção, perfil, maior/menor ou outra (se aplicável):

Matemática Pura

9.2.1. Branch, option, profile, major/minor or other (if applicable).

Pure Mathematics

9.2.2. Áreas científicas e créditos necessários à obtenção do grau / Scientific areas and number of credits to award the degree

Área Científica / Scientific Area	Sigla / Acronym	ECTS Obrigatórios / Mandatory ECTS	ECTS Optativos / Optional ECTS*	Observações / Observations
Matemática / Mathematics	M	81	30	
Competências Complementares / Transferable Skills	CC	3	0	
Qualquer Área Científica / Any Scientific Area	QAC	0	6	
(3 Items)		84	36	

9.3. Plano de estudos

9.3. Plano de estudos - Ciências dos Dados e da Decisão - 1.º Ano

9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):

Ciências dos Dados e da Decisão

9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):

Data and Decision Sciences

9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular:

1.º Ano

9.3.2. Curricular year/semester/trimester:

1st Year

9.3.3 Plano de estudos / Study plan

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Estatística Multivariada / Multivariate Statistics	M	Semestre 1	168	TP: 56	6	
Otimização Combinatória / Combinatorial Optimization	M	Semestre 1	168	TP: 56	6	
Opção A1 / Option A1	M / EI	Semestre 1	168	depende da UC escolhida / dependent of choice	6	Optativa / Optional
Opção A2 / Option A2	M / EI	Semestre 1	168	depende da UC escolhida / dependent of choice	6	Optativa / Optional
Opção A3 ou B / Option A3 or B	M / I	Semestre 1	168	depende da UC escolhida / dependent of choice	6	Optativa / Optional
Seminário em Ciências dos Dados e da Decisão / Data and Decision Sciences Seminar	M	Semestre 2	84	S:28	3	
Empreendedorismo / Entrepreneurship	CC	Trimestre 2	84	TP: 45	3	
Unidade Curricular do Bloco Livre A / Unrestricted Elective A	QAC	Semestre 2	168	depende da UC escolhida / dependent of choice	6	Optativa / Optional
Opção C1 / Option C1	M	Semestre 2	168	depende da UC escolhida / dependent of choice	6	Optativa / Optional
Opção C2 / Option C2	M	Semestre 2	168	depende da UC escolhida / dependent of choice	6	Optativa / Optional
Opção C3 ou D / Option C3 or D	M / I	Semestre 2	168	depende da UC escolhida / dependent of choice	6	Optativa / Optional

(11 Items)

9.3. Plano de estudos - Ciências dos Dados e da Decisão - 1.º Ano - Grupo de Opções A, B, C e D

9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável): *Ciências dos Dados e da Decisão*

9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable): *Data and Decision Sciences*

9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular: *1.º Ano - Grupo de Opções A, B, C e D*

9.3.2. Curricular year/semester/trimester: *1st Year - Option Group A, B, C and D*

9.3.3 Plano de estudos / Study plan

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Estatística Biomédica / Biomedical Statistics	M	Semestre 1	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção A / Option A
Processos Estocásticos e Modelação / Stochastics Processes and Modelling	M	Semestre 1	168	TP: 42	6	Optativa / Optional - Opção A / Option A
Estatística Numérica Computacional / Computational Numerical Statistics	M	Semestre 1	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção A / Option A
Técnicas de Previsão / Forecasting Techniques	M	Semestre 1	168	T:28; PL:28; OT:6	6	Optativa / Optional - Opção A / Option A

Simulação / Simulation	M	Semestre 1	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção A / Option A
Algoritmos Genéticos e Redes Neurais / Genetic Algorithms and Neural Networks	M	Semestre 1	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção A / Option A
Aprendizagem Automática / Machine learning	I	Semestre 1	168	T:28 PL: 28	6	Optativa / Optional - Opção B / Option B
Programação Avançada para Ciência e Engenharia de Dados / Advanced Programming for Data Science and Engineering	I	Semestre 1	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção B / Option B
Actuariado Vida I / Life Contingencies	M	Semestre 1	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção B / Option B
Inferência e Modelação Estatística / Statistical Modeling and Inference	M	Semestre 2	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção C / Option C
Métodos Bayesianos / Bayesian Methods	M	Semestre 2	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção C / Option C
Análise de Grandes Grafos / Large Graph Analytics	M	Semestre 2	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção C / Option C
Optimização não Linear / Non linear optimization	M	Semestre 2	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção C / Option C
Modelos de Apoio à Decisão / Decision Support Models	M	Semestre 2	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção C / Option C
Optimização Linear / Linear Optimization	M	Semestre 2	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção C / Option C
Estatística Não Paramétrica / Non-parametric Statistics	M	Semestre 2	168	TP: 56	6	Optativa / Optional - Opção C / Option C
Aprendizagem Com Dados Não Estruturados / Learning from Unstructured Data	I	Semestre 2	168	T:28; PL: 28	6	Optativa / Optional - Opção D / Option D
Visualização Interactiva de Dados / Interactive Data Visualization	I	Semestre 2	168	T:28; PL:28	6	Optativa / Optional - Opção D / Option D
Prospecção e Análise de Dados / Data Analytics and Mining	I	Semestre 2	168	T:28; PL:28	6	Optativa / Optional - Opção D / Option D
Provisões para Sinistros / Claims Reserving	M	Semestre 2	168	TP: 42	6	Optativa / Optional - Opção D / Option D

(20 Items)

9.3. Plano de estudos - Ciências dos Dados e da Decisão - 2.º Ano

9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável): *Ciências dos Dados e da Decisão*

9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable): *Data and Decision Sciences*

9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular:

2.º Ano

9.3.2. Curricular year/semester/trimester:

2nd Year

9.3.3 Plano de estudos / Study plan

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Opção Avançada de Formação / Advanced Training Option (1 Item)	M	Anual / Annual	1680	OT: 56	60	Optativa / Optional

9.3. Plano de estudos - Ciências dos Dados e da Decisão - 2.º Ano - Grupo Opção Avançada de Formação

9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):

Ciências dos Dados e da Decisão

9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):

Data and Decision Sciences

9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular:

2.º Ano - Grupo Opção Avançada de Formação

9.3.2. Curricular year/semester/trimester:

2nd Year - Advanced Training Option Group

9.3.3 Plano de estudos / Study plan

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Dissertação em Matemática e Aplicações - ramo Ciências dos Dados e da Decisão / Dissertation	M	Anual / Annual	1680	OT: 56	60	Optativa / Optional
Estágio com relatório em Matemática e Aplicações - ramo Ciências dos Dados e da Decisão/ Internship Report	M	Anual / Annual	1680	OT: 56	60	Optativa / Optional

(2 Items)

9.3. Plano de estudos - Matemática Financeira Computacional - 1.º Ano

9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):

Matemática Financeira Computacional

9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):

Computational Financial Mathematics

9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular:

1.º Ano

9.3.2. Curricular year/semester/trimester:

1st Year

9.3.3 Plano de estudos / Study plan

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica /	Duração /	Horas Trabalho /	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações /
--	-------------------	-----------	------------------	------------------------------------	------	---------------

	Scientific Area (1)	Duration (2)	Working Hours (3)		ECTS	Observations (5)
Métodos Computacionais / Computational Methods	I	Semestre 1	168	TP:42; PL:26	6	
Análise Numérica das Equações com Derivadas Parciais em Finanças / Numerical Analysis of Partial Derivative Equations in Finance	M	Semestre 1	168	TP:56	6	
Teoria da Probabilidade e Modelos Discretos em Finanças / Probability Theory and Discrete Models in Finance	M	Semestre 1	168	TP:56	6	
Economia Matemática / Mathematical Economics	M	Semestre 1	84	TP:28	3	
Risco de Mercado e Risco de Crédito / Market Risk and Credit Risk	E	Semestre 1	84	TP:28	3	
Unidade Curricular de Bloco Livre / Unrestricted Elective A	QAC	Semestre 1	168	depende da UC escolhida / dependent of choice	6	Optativa / Optional
Cálculo Estocástico e Aplicações às Finanças / Stochastic Calculus and Applications to Finance	M	Semestre 2	168	TP:56	6	
Modelação, Programação e Aprendizagem Automática para Análise Financeira / Modeling, Programming and Machine Learning for Financial Analysis	M	Semestre 2	168	TP:28, PL:28	6	
Estatística Econométrica e Financeira / Econometric and Financial Statistics	M	Semestre 2	168	TP:56	6	
Modelação Computacional de Produtos Derivados / Computational Modeling of Derivative Products	M	Semestre 2	168	TP:56	6	
Empreendedorismo / Entrepreneurship	CC	Semestre 2	80	TP:45	3	
Seminário em Matemática Financeira Computacional / Computational Financial Mathematics Seminar	M	Semestre 2	84	S:28	3	

(12 Items)

9.3. Plano de estudos - Matemática Financeira Computacional - 2.º Ano

9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):

Matemática Financeira Computacional

9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):

Computational Financial Mathematics

9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular:

2.º Ano

9.3.2. Curricular year/semester/trimester:

2nd Year

9.3.3 Plano de estudos / Study plan

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Opção Avançada de Formação / Advanced Training Option	M	Anual / Annual	1680	OT: 56	60	Optativa / Optional

(1 Item)

9.3. Plano de estudos - Matemática Financeira Computacional - 2º Ano - Grupo Opção Avançada de Formação

9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):

Matemática Financeira Computacional

9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):

Computational Financial Mathematics

9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular:

2º Ano - Grupo Opção Avançada de Formação

9.3.2. Curricular year/semester/trimester:*2nd Year - Advanced Training Option Group***9.3.3 Plano de estudos / Study plan**

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Dissertação em Matemática e Aplicações - ramo Matemática Financeira Computacional / Dissertation	M	Anual / Annual	1680	OT:56	60	Optativa / Optional
Estágio com relatório em Matemática e Aplicações - ramo Matemática Financeira Computacional / Internship Report	M	Anual / Annual	1680	OT:56	60	Optativa / Optional

(2 Items)

9.3. Plano de estudos - Matemática Pura - 1.º Ano**9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):***Matemática Pura***9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):***Pure Mathematics***9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular:***1.º Ano***9.3.2. Curricular year/semester/trimester:***1st Year***9.3.3 Plano de estudos / Study plan**

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Análise Funcional / Functional Analysis	M	Semestre 1	252	TP:56	9	
Álgebra Geral / General Algebra	M	Semestre 1	252	TP:56	9	
Opção I / Option I	M	Semestre 1	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Opção II / Option II	M	Semestre 1	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Empreendedorismo / Entrepreneurship	CC	Trimestre 2	80	TP:45	3	
Opção III / Option III	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Opção IV / Option IV	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Opção V / Option V	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Unidade Curricular do Bloco Livre / Unrestricted Elective	QAC	Semestre 2	165	depende da UC escolhida / dependent of choice	6	Optativa / Optional
Seminário em Matemática Pura / Pure Mathematics Seminar	M	Semestre 2	80	S:28	3	

(10 Items)

9.3. Plano de estudos - Matemática Pura - 1.º Ano - Grupo de Opções**9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):***Matemática Pura***9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):**

*Pure Mathematics***9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular:***1.º Ano - Grupo de Opções***9.3.2. Curricular year/semester/trimester:***1st Year - Option Group***9.3.3 Plano de estudos / Study plan**

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Cálculo das Variações / Calculus of Variations	M	Semestre 1	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Computabilidade e Complexidade / Computability and Complexity	M	Semestre 1	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Equações com Derivadas Parciais / Partial Differential Equations	M	Semestre 1	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Lógica / Logic	M	Semestre 1	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Semigrupos, Autómatos e Linguagens / Semigroups, Automata and Languages	M	Semestre 1	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Tópicos de Matrizes / Topics on Matrices	M	Semestre 1	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Topologia e Elementos de Variedades / Topology and Manifolds	M	Semestre 1	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Opção do Programa Doutoral em Matemática / Elective from the Doctoral Program on Mathematics	M	Semestre 1	252	depende da UC escolhida/dependent of choice	9	Optativa / Optional
Análise Numérica de Equações com Derivadas Parciais / Numerical Analysis of Partial Differential Equations	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Combinatória e Teoria de Ramsey / Combinatorics and Ramsey Theory	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Criptografia / Cryptography	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Equações Diferenciais Estocásticas / Stochastic Differential Equations	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Geometria Algébrica / Algebraic Geometry	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Grupos e Representações / Groups and Representations	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Lógica Avançada / Advanced Logic	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Teoria das Distribuições / Theory of Distributions	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Topologia Algébrica / Algebraic Topology	M	Semestre 2	168	TP:56	6	Optativa / Optional
Opção do Programa Doutoral em Matemática / Optional from the Doctoral Programme on Mathematics	M	Semestre 2	252	depende da UC escolhida/dependent of choice	9	Optativa / Optional

(18 Items)

9.3. Plano de estudos - Matemática Pura - 2.º Ano**9.3.1. Ramo, variante, área de especialização do mestrado ou especialidade do doutoramento (se aplicável):***Matemática Pura***9.3.1. Branch, option, specialization area of the master or speciality of the PhD (if applicable):***Pure Mathematics***9.3.2. Ano/semestre/trimestre curricular:***2.º Ano***9.3.2. Curricular year/semester/trimester:**

2nd Year

9.3.3 Plano de estudos / Study plan

Unidades Curriculares / Curricular Units	Área Científica / Scientific Area (1)	Duração / Duration (2)	Horas Trabalho / Working Hours (3)	Horas Contacto / Contact Hours (4)	ECTS	Observações / Observations (5)
Dissertação em Matemática e Aplicações - ramo Matemática Pura (1 Item)	M	Anual / Annual	1680	OT:56	60	

9.4. Fichas de Unidade Curricular

Anexo II - Inferência e Modelação Estatística

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Inferência e Modelação Estatística

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Inference and Statistical Modeling

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Carlos Manuel Agra Coelho - TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Manuel L. Esquível - TP:14

Frederico Caeiro - TP:14

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Pretende-se que o aluno adquira conhecimentos nas áreas de Inferência e Modelação Estatística que não são, em geral, objeto de estudo de um curso de 1º ciclo, sendo dada ênfase aos aspetos associados à Modelação Estatística, apresentada num contexto mais geral do que apenas o dos Modelos Lineares, de forma a que o aluno adquira uma visão mais abrangente tanto da Modelação Estatística como também de aspetos associados à Inferência, visão que é essencial não só na sua vertente teórica como também prática, a quem pretenda fazer no futuro aplicações bem fundamentadas e sólidas tanto na área da Modelação Estatística como na de Inferência Estatística; a associação da Inferência à Modelação Estatística pretende exatamente dar esta visão mais abrangente e a possibilidade da realização futura de aplicações nas mais variadas áreas, uma vez que os Modelos Lineares Generalizados, introduzidos na presente unidade curricular permitem uma vasta gama de aplicações da Inferência Estatística.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

We want the student to obtain a solid knowledge in areas of inference and statistical modelization which, usually, are not taught at the undergraduate level. Emphasis is placed in aspects related with statistical modelization presented in a more general context than just only the linear model setting, in such a way that the student may acquire a wider view of the modelization and inference process, which is essential for everyone that is willing to make solid applications in their future professional life. The association between modelization and inference wants to give this more embracing view and the possibility of applications in several areas, since Generalized and Mixed linear models, taught in this course, allow for a wide range of applications of statistical inference in many areas.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. *Revisão de conceitos fundamentais de estimação pontual e estimação intervalar*
2. *A Família Exponencial de Distribuições*
 - *A Família Exponencial de 1 e de vários parâmetros: conceitos fundamentais e resultados base*
 - *Distribuições na Família Exponencial*
 - *Estimação na Família Exponencial*
3. *Modelos Lineares Generalizados*
 - *Distribuições do erro como membros da Família Exponencial*
 - *A função de ligação – função de ligação canónica e funções de ligação não-canónicas*
 - *O Modelo Linear como caso particular*
 - *Modelos Logit*
 - *Modelos Log-lineares*
 - *Modelos com efeitos aleatórios e Modelos mistos*
4. *Modelos Não-Lineares*

9.4.5. Syllabus:

1. *Review of fundamental concepts about point and interval estimation*
2. *The Exponential family of distributions*
 - *The Exponential family of 1 and several parameters: fundamental concepts and results*
 - *Distributions in the Exponential family*
 - *Estimation in the Exponential family*
3. *Generalized Linear Models*
 - *Error distributions as members of the Exponential family*
 - *The link function - canonical and non-canonical link functions*
 - *The Linear Model as a particular case*
 - *Logit models*
 - *Log-linear models*
 - *Random effects and Mixed effects models*
4. *Non-linear models*

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

A Família Exponencial de distribuições apresenta interessantes propriedades em termos de estimação, as quais se refletem depois inevitavelmente ao nível da inferência. Por outro lado, esta família inclui a distribuição Normal e ao mesmo tempo abrange um largo leque de outras distribuições quer contínuas quer discretas. Desta forma, uma vez que ela é também a base para as distribuições de erro dos Modelos Lineares Generalizados, estes surgem assim, ao nível de uma disciplina do 2º ciclo como a desejável generalização do Modelo Linear, profundamente estudado ao nível do 1º ciclo. Os Modelos Não-lineares surgem então como o complemento que falta para um mais completo quadro no âmbito da Inferência e Modelação.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The Exponential Family of distributions has interesting properties in terms of estimation which inevitably have a reflex in terms of inference. Moreover, this family includes the Normal distribution while it admits as members a large range of other distributions, both continuous and discrete. As such, and since this family is also the basis for the error distributions in the Generalized Linear Models, these models arise, at a Master course level, as a much interesting generalization of the Linear Model, which was deeply studied at the undergraduate level. The non-linear models appear then as the 'natural' complement in order to give students a more complete view over the area of Statistical Modeling and Inference.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são lecionadas em regime teórico-prático, havendo inicialmente uma parte expositiva seguida da resolução de exercícios sobre os tópicos expostos. A avaliação nesta disciplina será realizada através da resolução de 2 testes, com o peso de 30% cada um e de 2 conjuntos de exercícios, com o peso de 20% cada um.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes are taught in a theoretical-practical regime, initially having an expository part followed by the resolution of exercises on the taught topics. The evaluation of the course will be done through the realization of 2 midterms, with a weight of 30% each for the final grade, and the resolution of 2 sets of problems, each one of them with a weight of 20% for the final grade.

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

As aulas teórico-práticas permitirão numa unidade curricular como esta, que se integra num curso de 2º ciclo, que os alunos usufruam de uma forma de exposição que, embora sendo mais exigente do ponto de vista da compreensão da matéria do que um esquema que utilize a clássica divisão entre aulas teóricas e práticas, permita por outro lado uma maior proximidade temporal entre a exposição dos resultados e conceitos e a resolução de problemas que exigem a utilização desses conceitos e resultados, sendo a avaliação desta unidade curricular também levada a efeito através de um conjunto de 2 testes e de 2 trabalhos, estes últimos consistindo na resolução de um subconjunto dos problemas propostos mas não resolvidos nas aulas.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The joint lecture-lab class scheme will enable, in a curricular unit as this one, which is integrated in a Master level course, that the students may take advantage of an expository means which, although quite more demanding in terms of the time available to settle the concepts than the classical lecture+lab scheme, will allow for a higher closeness in time between the exposition of the concepts and results and their application in the resolution of the application problems, being the evaluation in this curricular unit done with the recourse to 2 midterms and the resolution of 2 sets of problems which will be a subset of those which were proposed but not solved in the classes.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Agresti, A. (1996). An Introduction to Categorical Data Analysis. J. Wiley & Sons, New York.
Coelho, C. A. (2007). Tópicos em Probabilidades e Estatística – Vol III, Cap. 7, 10, 11.
Esquivel, M. L., Mota P. P. (2018) Inferência e Modelação Estatística, NOVA FCT EDITORIAL, Primeira Edição 2018 (ISBN: 978-989-99528-9-8).
Gill, J. (2000). Generalized Linear Models: a Unified Approach. SAGE University Papers 134, 122pp.
Liang, K.-Y., Scott, L. Z. (1986). Longitudinal data analysis using Generalized Linear Models. Biometrika, 73, 13-22.
Lindsey, J. K. (1997). Applying Generalized Linear Models. Springer, New York.
Khuri, A. I., Mathew, B., Sinha, B. K. (1998). Statistical Tests for Mixed Linear Models. J. Wiley & Sons, New York.
McCullagh, P., Nelder, J. A. (1989). Generalized Linear Models, 2ª ed. Chapman & Hall/CRC, New York.
Nelder, J. A., Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized Linear Models, J.R.S.S., Ser. A, 135, 370-384.

Anexo II - Algoritmos Genéticos e Redes Neurais**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Algoritmos Genéticos e Redes Neurais

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Genetic Algorithms and Neural Networks

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Rui Alberto Pimenta Rodrigues – TP:56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

n.a.

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:

- *Compreender o funcionamento dos Algoritmos Genéticos (GA) como método de otimização,*
- *Ser capaz de aplicar o método GA a problema simples utilizando uma implementação de GA.*
- *Compreender os tipos básicos de redes neuronais: 'feedforward', convolução e recorrente. Entender o método de otimização dos parâmetros das redes e o papel dos hiperparâmetros associados à utilização das redes neuronais. Compreender os diversos tipos de regularização e as situações em que há necessidade de os utilizar.*
- *Ser capaz de utilizar um software que implementa redes neuronais para resolver problemas simples.*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

After this course the student should have acquired the following knowledge and competences:

- *To understand the way Genetic Algorithms (GA) work as a optimizing method.*
- *To be able to apply GA to simple problems using some software implementation of GA.*
- *To understand the neural networks basic types: feedforward, convolution and recurrent.*
- *To know the different Cost functions. To understand the usual optimization method used in neural networks: gradient descent. To understand the role of the different hyperparameters used in neural networks: number of layers, number of units on each layer and learning rate. To understand the different types of regularization and the situations that require the use of regularization.*
- *to be able to use a software implementation of neural networks to solve simple problems.*

9.4.5. Conteúdos programáticos:

Algoritmos Genéticos

- *Um método de otimização.*
- *Conceitos básicos: função objetivo, população, seleção, mutações, recombinação.*
- *Exemplos práticos com utilização de software.*

Redes Neuronais

- *Conceitos básicos: tipos de redes (feedforward, convolução e recorrentes), funções de ativação e funções de custo.*
- *Otimização dos parâmetros de uma rede neuronal e métodos de regularização.*
- *Exemplos práticos com utilização de software.*

9.4.5. Syllabus:

Genetic Algorithms:

- *An optimization method*
- *Basic Concepts: fitness measure, population, selection, mutation, recombination.*
- *Practical examples using software.*

Neural networks:

- *Basic concepts: neural network types (feed forward, convolution, recurrent), activation functions and cost functions.*
- *Parameter optimization methods and regularization methods.*
- *Practical examples using software*

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

Quer no caso dos algoritmos genéticos quer no caso das redes neuronais, a apresentação dos conceitos básicos seguida de um conjunto de exemplos contribui para que os conceitos sejam compreendidos e os alunos sejam capazes de utilizar os mesmos na resolução de problemas de âmbito semelhante e complexidade análoga aos exemplos que foram vistos na aula.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Both in Genetic Algorithms and Neural Networks, the presentation of concepts followed by practical examples help students understanding the concepts and being able to apply them solving problems.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Nas aulas a apresentação dos conceitos será intercalada com exemplos que serão trabalhados pelos alunos. Grande parte dos exemplos será processado com auxílio de um programa de computador. A avaliação de conhecimentos terá uma componente teórica e uma componente prática onde os alunos resolverão um problema com auxílio de um programa de computador.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

(max 1000 caracteres com espaços incluídos)

In the classes the presentation of concepts will be interspersed with examples worked out by the students. In many cases we will be using software in the examples.

The assessment will include a theoretical component and a practical component where the students will use software to solve a problem.

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

A repetida sequência de breves apresentações de conceitos seguidas de exemplos trabalhados pelos alunos contribui para a apreensão dos conceitos e desenvolve a capacidade de os alunos utilizarem os conceitos e técnicas para resolver problemas.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Interspersing the presentation of concepts with examples worked out by the students will help students understanding the concepts and being prepared to solve similar problems when they are evaluated.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- *Practical Genetic Algorithms, Second Edition, Randy L. Haupt Sue Ellen Haupt, 2004 John Wiley & Sons, Inc*
- *Introduction to Evolutionary Computing, A. E.Eiben and J. E. Smith, Springer, 2003*
- *Deep Learning, Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville, MIT Press, 2016*
- *Deep Learning with Python, Francois Chollet, Manning, 2018*

Anexo II - Estatística Biomédica**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Estatística Biomédica

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Biomedical Statistics

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Isabel Cristina Maciel Natário - TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Carlos Agra Coelho - TP:14

Miguel Fonseca - TP:14

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:

- *Compreender os principais métodos estatísticos aplicados nas ciências da vida e da saúde,*
- *Ser capaz de aplicar apropriadamente os referidos métodos na resolução de problemas concretos da vida real, na análise de dados, estimação e previsão associadas a esses fenómenos.*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this course unit the student will have acquired knowledge, skills and competences that allow him / her to:

- *Understand the main statistical methods applied in the life and health sciences,*

- Be able to apply these methods properly in solving real-life problems, data analysis, estimation and prediction associated with these phenomena.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

Módulo I: Métodos estatísticos em epidemiologia: Modelos lineares generalizados; Metodologia ROC; Estatística espacial.

Módulo II: Dados longitudinais e análise de sobrevivência.

Módulo III: Introdução à estatística Bayesiana: O paradigma Bayesiano; Inferência Bayesiana; Estimação sequencial e Markov Chain Monte Carlo (MCMC).

9.4.5. Syllabus:

Module I: Statistical methods in epidemiology: Generalized linear models; ROC methodology; Spatial statistics.

Module II: Longitudinal data and survival analysis.

Module III: Introduction to Bayesian statistics: The Bayesian paradigm; Bayesian inference; Sequential estimation and Markov Chain Monte Carlo (MCMC).

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

Na área das ciências da vida e da saúde conduzem-se diversos estudos de diagnóstico, ensaios clínicos, estudos epidemiológicos, etc. que dão origem a muitos dados, com idiosincrasias variadas, que devem ser analisados, modelados e previstos, de forma a serem úteis. Nesta disciplina ensinam-se as principais ferramentas estatísticas para tal, metodologias que diferem bastante entre si, mas que adequam as especificidades de cada problema concreto com a metodologia adequada, justificando essa escolha com os pressupostos de cada um dos modelos estudados e com o tipo de dados em análise, sendo o fio condutor desta disciplina a aplicação.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

In life sciences and health areas there are several diagnostic studies, clinical trials, epidemiological studies, etc. that originate lots of data, of different idiosyncrasies, that must be analyzed, modelled and predicted, in order to be of any help. In this discipline the main statistical tools to do so are taught, methods that differ quite a lot between them but that adequate the specificities of each problem with the correct method, justifying the choice with each models assumptions and the type of data under analysis, being the conducting wire of this discipline the application.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Aulas teórico-práticas de exposição das matérias teóricas, ilustradas de exemplos práticos e complementada pela resolução de exercícios com a participação ativa dos alunos. Adicionalmente, os alunos terão aulas laboratoriais onde poderão implementar eles próprios, com a orientação do docente, as diversas análises estatísticas a conjuntos de dados fictícios e reais, com recurso ao software R. As aulas tutoriais servirão para uma interacção mais próxima entre as dificuldades dos alunos e o docente e também para a exposição de trabalhos que os alunos forem efetuando. Trabalhos e/ou testes e/ou por módulos e/ou exame final, ficando ao critério do(s) docente(s) e dentro das necessidades dos próprios módulos.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Lectures where the theoretical concepts are exposed, practical examples are given, and exercises are solved with the active participation of students. Additionally, student have laboratorial classes where they can implement themselves, with the teacher guidance, the different statistical analyses to invented and real data sets, using the software R. Tutorial classes are meant to provide a more close interaction between the students difficulties and the teacher as well as a time for students expose the assignments that they are meant to do. Assignments and/or tests by module and/or final exam, according to the characteristics of the modules.

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

É necessário primeiramente justificar teoricamente as metodologias estatísticas a serem empregues, detalhando quais os pressupostos que as acompanham, para seguidamente exemplificar na prática a sua aplicação. A resolução de exercícios ajuda os alunos a compreenderem mais eficazmente que metodologia deve ser empregue em que ocasião. As aulas laboratoriais ajudam a implementar computacionalmente as referidas metodologias a conjuntos de dados muitas vezes não triviais e as aulas tutoriais completam o ciclo da aprendizagem dirigindo-se aos pontos que eventualmente não ficaram bem esclarecidos e permitindo, com a exposição dos seus trabalhos, que os alunos apreendam melhor os conceitos tendo de os explicar aos outros.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Firstly, it is necessary to justify theoretically the statistical methods to be employed, detailing carefully the assumptions behind them, for then exemplifying in practice their application. The resolution of exercises helps students to understand better which method should be employed in each situation. In laboratorial classes the referred methodologies are implemented computationally with data sets that are not always trivial. Tutorial classes complete the learning cycle addressing the points that eventually were not completely clear and allowing, with the presentation of their works, that students apprehend better the concepts having to explain them to the others.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- Carvalho & Natário (2008). *Análise de dados espaciais. SPE.*
- Turkman, Silva (2000). *Modelos lineares generalizados - da teoria à prática. SPE.*
- Cressie (1993). *Statistics for spatial data. Wiley, 2nd Edition.*
- McCullagh & Nelder (1989). *Generalized linear models. Chapman & Hall/CRC, 2nd Edition.*
- Zhou et al. (2011). *Statistical methods in diagnostic medicine. Wiley, 2nd Edition.*
- Cabral & Gonçalves (2010). *Análise de dados longitudinais. SPE.*
- Rocha & Papoila (2009). *Análise de sobrevivência. SPE.*
- Diggle et al. (2002). *Analysis of longitudinal data. Oxford University Press, 2nd Edition.*
- Klein & Moeschberger (2003). *Survival analysis. Springer, 2nd Edition.*
- Collett (1994). *Modelling survival data in medical research. Chapman & Hall.*
- Paulino, Turkman & Murteira (2003). *Estatística Bayesiana. Fundação Caloust Gulbenkian.*
- Gamerman & Lopes (2006). *Markov chain Monte Carlo - stochastic simulation for Bayesian inference. Chapman & Hall/CRC.*
- Crawley (2007). *The R book. Wiley.*

Anexo II - Estatística Multivariada

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Estatística Multivariada

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Multivariate Statistics

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Carlos Manuel Agra Coelho - TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Filipe José Gonçalves Pereira Marques - TP:14

Regina Bispo - TP:14

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:

- *Conhecer e saber demonstrar resultados fundamentais*
- *Ser capaz de efetuar uma análise descritiva de um conjunto de dados multivariados*
- *Conhecer e utilizar as propriedades das principais distribuições em Estatística Multivariada*
- *Ser capaz de utilizar diferentes técnicas e métodos estatísticos na análise de dados multivariados*
- *Ser capaz de abordar desafios resultantes da análise de grandes volumes de dados*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this course the student will have acquired knowledge and skills that will enable him to:

- *know and prove key results*
- *be able to perform a descriptive analysis of a set of multivariate data*

- know and use the properties of the main distributions in Multivariate Statistics
- be able to use different techniques and statistical methods in the analysis of multivariate data.
- be able to address challenges arising from the analysis of large volumes of data

9.4.5. Conteúdos programáticos:

- 1 - Breves revisões e noções básicas de Álgebra Linear. Estatística descritiva multivariada.
- 2 - A distribuição Normal Multivariada. Estimadores de máxima verosimilhança e suas distribuições. A distribuição Wishart
- 3 - Inferência sobre vectores de médias
 - 3.1 - Testes com base numa amostra
 - 3.2 - Testes com base em duas amostras, amostras emparelhadas e amostras independentes
 - 3.3 - Testes com base em várias amostras
- 4 - Regressão Multivariada e Análise Canónica. Inferência sobre matrizes de covariâncias
- 5 - Análise de Componentes Principais e Análise Factorial
- 6 - Análise Discriminante e Classificação
- 7 - Análise de Clusters

9.4.5. Syllabus:

- 1 – Brief review of basic notions in Linear Algebra. Multivariate descriptive statistics
- 2 – The Multivariate Normal distribution. Maximum likelihood estimators and their distributions. The Wishart distribution
- 3 – Inference on mean vectors
 - 3.1 – One sample tests
 - 3.2 – Two sample tests – paired and independent samples
 - 3.3 – Tests based on more than two samples
- 4 – Multivariate Regression and Canonical Analysis. Inference on covariance matrices.
- 5 – Principal Component Analysis and Factorial Analysis
- 6 – Discriminant Analysis and Classification
- 7 – Cluster analysis

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

Nesta UC são explorados os seguintes temas: análise descritiva, distribuições multivariadas Normal e Wishart, inferência sobre vetores de médias, regressão multivariada, análise canónica, análise de componentes principais, análise factorial, análise discriminante e análise de clusters. Estes temas abordam as principais técnicas e métodos estatísticos utilizados na análise de dados multivariados. Nos materiais de apoio estão disponíveis slides de apoio a cada capítulo, exercícios com e sem resolução e ficheiros com dados que servem de base para a resolução dos mais diversos problemas. A bibliografia fornecida aos alunos serve de complemento aos materiais de apoio disponibilizados. Durante as aulas serão dadas todas as indicações necessárias para a utilização correta do software R essencial para a resolução dos problemas propostos. Muitos dos exercícios são baseados em problemas da vida real e em situações que envolvam grandes volumes de dados. Os objetivos enunciados são assim abrangidos.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

In this curricular unit the following topics are explored: descriptive analysis, the multivariate Normal and Wishart distributions, inference about mean vectors, multivariate regression, canonical analysis, principal component analysis, factor analysis, discriminant analysis and cluster analysis. These topics cover the key techniques and statistical methods used in the analysis of multivariate data.

In the supporting materials are available: slides supporting each chapter, exercises with and without resolution and files with data that are the basis for the resolution of the most diverse problems. The bibliography provided to the students complements the supporting materials available.

During the classes will be given all the necessary information for correct use of the R software essential to the resolution of the problems proposed.

Many of the exercises are based on real life problems and in situations involving large volumes of data. The objectives are thus well covered.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são lecionadas em laboratório computacional em regime teórico-prático.

A avaliação contínua será feita através de 3 elementos de avaliação individual (dois testes e um trabalho). O aluno obtém aprovação se a média ponderada dos três elementos de avaliação for superior ou igual a 9.5 valores. Em caso de não compareça a um dos elementos de avaliação, este terá nota 0.0 para a classificação final.

Caso não obtenha aprovação, o aluno pode optar por realizar adicionalmente:

1. Exame com ponderação de 80%. Trabalho individual a realizar com o apoio do software R (ou similar) e que terá uma ponderação de 20%.

2. Exame com ponderação de 100%.

O aluno obtém aprovação na disciplina, se a média ponderada dos dois elementos de avaliação ou a nota do exame for superior ou igual a 9.5 valores.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes are taught in a computational laboratory in theoretical and practical regime.

Continuous evaluation will be done through 3 evaluation elements (two tests and one individual assignment). The

student obtain approval (continuous assessment) if the weighted average of the three assessment elements is greater than or equal to 9.5 values. If a student does not attend one of the assessments, this assessment element will be rated 0.0 for the final grade.

If not approved, the student may choose to perform additionally:

1. Exam + Writing assignment, weighted 80% and 20%, respectively. Writing assignment is to be done with the support of R software (or similar).

2. Exam with a weighting of 100%.

The student obtains approval if the weighted average of the two assessment elements or the exam grade is greater than or equal to 9.5 points.

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

As componentes teóricas e práticas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são ministradas nas aulas que já contemplam estas duas vertentes. Os alunos podem ainda recorrer ao horário de dúvidas para colmatar dúvidas que persistam. A componente teórica será aprofundada através da exposição oral dos conceitos apoiada em slides devidamente elaborados para o efeito e através da análise e discussão de diferentes exemplos. A vertente prática será desenvolvida através da resolução de problemas e da discussão dos mesmos. A avaliação continua é assegurada com a realização de três provas escritas.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The theoretical and practical components necessary to achieve the learning objectives are administered in classes that already include these two components. Students can also use the doubts schedule to clarify persistent doubts. The theoretical component shall be further developed through the oral presentation of the concepts supported by slides, properly designed for that purpose, and through analysis and discussion of various examples. The practical component will be developed by solving problems and by discussing them. The continuous evaluation is provided with three written tests.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Livros base/Base references:

Johnson, R. and Wichern, D. W. (2007), Applied Multivariate Statistical Analysis, 6th Edition, Prentice Hall, New Jersey

Timm, N. H. (2002). Applied Multivariate Analysis, Springer, New York.

Livros Complementares/Complementary references:

Flury, B. (1997), A First Course in Multivariate Statistics, Springer. New York

Morrison, D. F. (2004), Multivariate Statistical Methods, 4th Edition, Duxbury Press

Rencher, A. C. (1998), Multivariate Statistical Inference and Applications, John Wiley & Sons

Rencher, A. C. (2002), Methods of Multivariate Analysis, John Wiley & Sons

Bilodeau, M. and Brenner, D. (1999). Theory of Multivariate Statistics, Sringer, New York.

Bibliografia Avançada/Advanced references:

Anderson, T. W. (2003), An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, 3rd ed., J. Wiley & Sons, New York

Muirhead, R. J. (1982), Aspects of multivariate statistical theory, Wiley, New York

Kshirsagar, A. M. (1972). Multivariate Analysis, Dekker, New York

Anexo II - Estatística Numérica Computacional

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Estatística Numérica Computacional

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Computational Numeric Statistics

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:*<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Pedro José dos Santos Palhinhas Mota – TP:14***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Isabel Cristina Maciel Natário – TP:14**Marta Cristina Vieira Faias Mateus – TP:14**Vanda Marisa da Rosa Milheiro Lourenço – TP:14***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):**

A programação é fundamental no desenvolvimento de metodologias estatísticas, frequentemente assentes em métodos numéricos. O objetivo desta UC é aprender estatística computacional, com ênfase em métodos estatísticos e software mais relevantes para problemas de inferência de grande dimensionalidade; compreender e ser capaz de aplicar os seguintes métodos: Monte Carlo, técnicas de reamostragem (Bootstrap e Jackknife), modelação e inferência computacional, algoritmos do tipo Newton-Raphson, algoritmo EM, técnicas de amostragem-reamostragem e simulação iterativa (Método de Monte Carlo via Cadeias de Markov, MCMC). Ser capaz de utilizar o software estatístico R-project na aplicação dos métodos anteriores, em casos de estudo, recorrendo a bibliotecas estatísticas desenvolvidas especificamente para os métodos ou adaptando-as de modo a resolver os problemas de modo eficiente. Ser ainda capaz de escrever relatórios cientificamente bem documentados sobre as análises efetuadas.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Programming plays a fundamental role in the development of statistical methodologies, which frequently are based on numerical methods. The objective of this CU is to learn computational statistics, focusing on statistical methods and software more relevant for high dimensionality inference problems; to be able to understand and apply the following methods: Monte Carlo, resampling techniques (Bootstrap e Jackknife), computational modelling and inference, algorithms of type Newton-Raphson, EM algorithm, sampling-resampling techniques and iterative simulation (Monte Carlo via Markov Chain, MCMC method). To be able to use the statistical software R-project in applying the previous methods, in applied problems, by using the adequate available libraries or by properly modifying them, if needed. To be able to write scientifically well documented reports about the analyses performed.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

- 1. R-project*
- 2. Geração de números aleatórios, geração de variáveis aleatórias discretas e contínuas*
- 3. Métodos de Monte Carlo*
- 4. Técnicas de redução de variância*
- 5. Técnicas de reamostragem: Bootstrap e Jackknife*
- 6. Método de Newton-Raphson*
- 7. Métodos de amostragem de importância em inferência e computação Bayesiana*
- 8. Métodos de Monte Carlo via Cadeias de Markov (MCMC) em inferência e computação Bayesiana*
- 9. Algoritmo EM*
- 10. Método dos Scores de Fisher (modelos lineares generalizados)*
- 11. Aplicações dos métodos em vários contextos (regressões logística, Poisson, Gaussiana, Gama, séries temporais, modelos hierárquicos, etc.)*
- 12. Uso das técnicas aprendidas e adaptação das bibliotecas do R a casos de estudo de índole prática*
- 13. Elaboração de relatórios onde se documenta e suporta cientificamente, recorrendo à estatística, a análise realizada e as conclusões relativas a cada caso de estudo*

9.4.5. Syllabus:

- 1. R-project*
- 2. Pseudo-random number generation (discrete and continuous)*
- 3. Monte Carlo methods*
- 4. Variance reduction techniques*
- 5. Resampling techniques: Bootstrap and Jackknife*
- 6. Newton-Raphson method*
- 7. Importance sampling methods in Bayesian inference and computation*
- 8. Monte Carlo via Markov Chain (MCMC) methods in Bayesian inference and computation*
- 9. EM algorithm*
- 10. Fisher scoring method (generalized linear models).*
- 11. Application of the methods in different contexts (logistic, Poisson, Gaussian, Gamma regression, time series, hierarchical models, etc.)*
- 12. Utilization of the above techniques and adaptation of the R libraries to practical case studies*
- 13. Writing of well documented reports, where properly justified statistical analyses of a study case can be used to take and support conclusions*

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

Principia-se pela introdução do software R-project, linguagem em que se programarão os métodos numéricos em estatística que serão ensinados (ponto 1); em 2 e 3 estudam-se a geração de números aleatórios e os métodos Monte Carlo. O ponto 4 introduz as técnicas de redução de variância de modo a tornar a estimação robusta, os pontos 5, 7 e 8 são dedicados às técnicas de amostragem e reamostragem. Os pontos 6, 9 e 10 expõem métodos essenciais à modelação estatística (Newton-Raphson, algoritmo EM, scores de Fisher) assim como a teoria que os suporta pelo que se cobrem em simultâneo os objetivos 1 e 2. No fim de cada capítulo resolvem-se exemplos de aplicação das técnicas estudadas com recurso ao R cumprindo-se parte do objetivo 3. Nos pontos 11 a 13 aplicam-se os diferentes métodos a alguns modelos específicos (regressões logística, Poisson, Gaussiana, séries temporais, modelos hierárquicos...) e elaboram-se os respetivos relatórios cobrindo assim os e objetivos 3 e 4.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

We begin with an introduction to software R-project, the language in which the numerical methods in statistics that are taught are to be programmed (point 1); points 2 and 3 are devoted to pseudo-random number generation and Monte-Carlo methods, point 4 introduces variance reduction techniques for addressing robustness of the estimates, points 5, 7 and 8 are dedicated to sampling and resampling techniques. Points 6, 9 and 10 detail techniques and theory of the Newton-Raphson method, the EM algorithm and the Fisher scoring method, important parts of statistical modelling (covering the first and second objectives). At the end of each chapter, practical examples are solved using the R and, thus, part of the third objective is also covered. In points 11 to 13, the different methods are applied to specific models (logistic, Poisson, Gaussian, Gamma regression, time series, hierarchical models, etc.) and the respective reports are written, covering the third and fourth objectives.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Aulas teórico-práticas onde a par com a exposição dos conceitos e resultados fundamentais serão apresentados exemplos ilustrativos desses conceitos e resultados. De seguida são apresentados problemas que são resolvidos em laboratório usando o software R. Estes problemas são realizados em laboratório, pretendendo-se que os alunos participem ativamente na sua resolução. Deste modo os alunos adquirem as competências relativas ao software estatístico e também aos conceitos.

A avaliação consiste na realização de três a quatro trabalhos com relatório e/ou um teste final escrito. Os trabalhos que os alunos realizam para avaliação podem ser apresentados e discutidos na sala de aula.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Lecture-lab classes are the adequate way to convey the course contents to students as, together with the explanation of the main concepts and results, illustrative examples are given. Then, some problems are proposed to students to be solved in a lab context, using the software R, and students are supposed to take active part in their resolution. In this way, students acquire the basic expertise in the application of the statistic software as well as the concepts.

The evaluation consists on the resolution of three to four practical problems and with written report and/or a written final test. The practical problems solved for the evaluation may be presented and discussed by the students in classroom.

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

A forte componente prática desta UC que faz uso intensivo de computação justifica que as aulas sejam teórico-práticas o que permite uma maior proximidade temporal entre a exposição dos resultados e conceitos e a sua aplicação através da implementação computacional dos correspondentes métodos e técnicas. A componente de avaliação em que os alunos resolvem problemas em grupo e depois apresentam na aula permite que todos os alunos possam aprender e discutir as diferentes especificidades de cada problema.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The strong practical component of this course that makes intensive use of computation justifies the lecture-lab classes which will allow a smaller time gap between the exposition of the concepts and results and their application by the computational implementation of the related methods and techniques. The evaluation component in which students solve the problems in group and then make an exposition to the class permit that all students learn and discuss the different specificities of each problem.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

1. Davison, A.C., Hinkley, D.V., *Bootstrap Methods and their Application*, Cambridge University Press, 1997.
2. Gamerman, D., Lopes, H.F., *Stochastic Simulation for Bayesian Inference*, Chapman & Hall/CRC, 2006.
3. Gentle, J.E., *Random Number Generation and Monte Carlo Methods*, Springer-Verlag, 1998
4. McCullagh, P., Nelder, J.A., *Generalized Linear Models*, London: Chapman and Hall, 1983.
5. Rizzo, M., *Statistical computing with R*. CRC Press, 2007.
6. Robert, C.P., Casella, G., *Introducing Monte Carlo Methods with R*, Springer, 2010.
7. Ross, S.M., *Simulation*, 3rd Edition, Academic Press, 2002.

Anexo II - Otimização Combinatória**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:***Otimização Combinatória***9.4.1.1. Title of curricular unit:***Combinatorial Optimization***9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:***M***9.4.1.3. Duração:***Semestre / Semester***9.4.1.4. Horas de trabalho:***168***9.4.1.5. Horas de contacto:***TP:56***9.4.1.6. ECTS:***6***9.4.1.7. Observações:***<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Isabel Cristina Correia - TP:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Manuel Valdemar Vieira - TP:28***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):**

- (i) Compreensão dos conceitos fundamentais de grafos, poliedros e matróides*
- (ii) Apeensão de técnicas de demonstração em combinatória*
- (iii) Aperfeiçoamento da capacidade de concepção de algoritmos*
- (iv) Desenvolvimento da capacidade de formulação de problemas*
- (v) Amadurecimento da formação matemática*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

- (i) Comprehension of the main concepts from graphs, polyhedra and matroids*
- (ii) Development of skills for proving combinatorial results*
- (iii) Improving algorithm designing skills*
- (iv) Improving modeling skills*
- (v) Improving mathematical maturity*

9.4.5. Conteúdos programáticos:

- 1. Generalidades sobre grafos*
- 2. Poliedros*
- 3. Emparelhamentos e coberturas em grafos bipartidos*
- 4. Fluxos*
- 5. Emparelhamentos em grafos não bipartidos*
- 6. Matróides*
- 7. Complexidade computacional*
- 8. Programação linear inteira e matrizes totalmente unimodulares*

9.4.5. Syllabus:

- 1. Graphs*
- 2. Polytopes*
- 3. Matchings and covers in bipartite graphs*
- 4. Flows*
- 5. Matchings in nonbipartite graphs*

- 6. *Matroids*
- 7. *Computational complexity*
- 8. *Integer linear programming and totally unimodular matrices*

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

Grafos e poliedros são os pilares em que assenta a Otimização Combinatória (OC). O programa começa com estes dois tópicos (pontos 1 e 2). Os emparelhamentos têm tido um papel catalisador no desenvolvimento métodos gerais em combinatória. Os pontos 3, 4 e 5 do programa destinam-se ao estudo dos emparelhamentos e problemas relacionados. Os matróides são estruturas combinatórias gerais, intimamente relacionados com a eficiência de algoritmos para problemas de OC. Os matróides e a eficiência de algoritmos são tratados nos pontos 6 e 7, respetivamente, do programa. A teoria dos poliedros combinatórios constitui último tópico (ponto 8 do programa) da uc.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Graphs and polyhedra are the cornerstones of Combinatorial Optimization (CO). The program begins with these two topics (points 1 and 2). Matchings have played a catalytic role in developing general methods in combinatorics. Points 3, 4 and 5 of the program is dedicated to the study of matchings and related problems. The matroids are general combinatorial structures, closely related to the efficiency of algorithms for CO problems. Matroids and efficiency of algorithms are discussed in sections 6 and 7, respectively, of the program. The theory of combinatorial polyhedra is the last topic (point 8) of the programme.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A uc funciona em aulas teórico-práticas, onde se apresentam os conceitos teóricos e se efetuam demonstrações de alguns resultados e onde são resolvidos e discutidos exercícios propostos; estudo fora das salas de aula, onde o aluno, com recurso ao material disponibilizado e com o apoio do docente, nas aulas e em períodos de atendimento pré- estabelecidos, assimila a matéria teórica e procura resolver os exercícios sugeridos para realizar em ambiente não presencial.

É exigido, para aproveitamento, a obtenção de frequência que consiste na presença em pelo menos 2/3 das aulas práticas.

Durante o período letivo serão realizados dois testes (cada um com a cotação de 6 valores) e elaborado e apresentado oralmente um relatório escrito sobre um assunto a definir (com a cotação de 8 valores). C_{SEP} considera-se aprovado em avaliação contínua o aluno com frequência e soma das classificações obtidas ≥ 10 .

O aluno pode também ser aprovado em exame final.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The course consist of lectures where presentations of theoretical concepts, proofs, and resolution and discussion of proposed exercises are conducted; and study outside the classroom, where the student, individually and in groups, using the available material and the support of teachers, in classes and in periods of service pre-established, assimilates the theoretical material and seeks to solve the suggested exercises .

It is required the presence of at least 2/3 of practical classes.

During the semester there will be two tests (each with 6 values) and the presentation of a work on a specific topic (8 values). Student will be approved if sums up at least 9.5.

The student can also be approved by a final exam.

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

Os tópicos necessários para atingir os objetivos estabelecidos para a unidade curricular são ministrados nas aulas teórico-práticas, com o apoio do docente em horários de atendimento aos alunos. A aquisição destes conhecimentos é avaliada nas provas escritas (testes/exames) e numa apresentação oral. As componentes práticas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são desenvolvidas em todas as formas de horas de contacto: nas aulas teórico-práticas através da análise e discussão de problemas-tipo. A avaliação destas competências é também realizada nas provas escritas e na prova oral. A frequência pretende assegurar que os alunos acompanham a matéria ao longo do semestre.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The topics required to achieve the objectives established for the course are taught in problem-solving sessions, with the support of teachers in in pre-established schedules reserved for the students' attendance. The acquisition of knowledge is assessed in written tests (tests / exams) and in an oral presentation. The practical components necessary to achieve the learning objectives are developed in all forms of contact: in classes through analysis and discussion-type problems. The assessment of these skills is also performed in the written tests and oral tests. The requirement for the presence of at 2/3 of classes is meant to ensure that students follow the matter throughout the semester.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

D.B. West, Introduction to Graph Theory, Prentice Hall, 2001

A. Schrijver, Combinatorial Optimization: Polyhedra and Efficiency. Algorithms and Combinatorics, Springer, 2003

A. Schrijver, A Course in Combinatorial Optimization, 2013 available from <http://homepages.cwi.nl/~lex/files/dict.pdf> L.

Lovász and M.D. Plummer, Matching Theory, North-Holland Mathematics Studies, 1986

Anexo II - Simulação**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:***Simulação***9.4.1.1. Title of curricular unit:***Simulation***9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:***M***9.4.1.3. Duração:***Semestre / Semester***9.4.1.4. Horas de trabalho:***168***9.4.1.5. Horas de contacto:***TP:56***9.4.1.6. ECTS:***6***9.4.1.7. Observações:***<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Nelson Fernando Chibeles Martins - TP:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes - TP:28***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta unidade curricular o estudante terá desenvolvido competências que lhe permitam: - Implementar modelos de Simulação, nomeadamente utilizando Excel e Visual Basic.**- Simular o funcionamento de sistemas de Filas de Espera.**- Reconhecer a vantagem da utilização de interfaces gráficos.***9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:***After this course a student should be able to:**- Develop simulation models, namely using Excel and Visual Basic. - Simulate queueing systems.**- Grasp the relevance of visual interface outputs.***9.4.5. Conteúdos programáticos:***1 – Introdução**2 - Métodos de Geração de NPA**Qualidades desejáveis nos NPA: Testes de aleatoriedade; avaliação da independência entre NPA consecutivos.**3 - Planeamento de experiências e análise estatística de resultados: Condições iniciais**Duração da simulação vs. precisão de resultados**4 - Simulação de Filas de Espera Hierarquização de eventos Rotinas**5 - Utilização do módulo de Visual Basic do Excel para simulação.**6 - Introdução à utilização de modelos de simulação com interface visual.***9.4.5. Syllabus:***1 - Introduction.**2 - Random Number Generation Techniques**3 - Experiment planning and statistical analysis of results.**4 - Queueing models simulation.**5 - Using the Excel's Visual Basic module in simulation.**6 - Introduction to simulation models with visual interface.*

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

Inicialmente são revistos alguns aspetos básicos de Simulação, nomeadamente as técnicas de geração de números pseudoaleatórios, utilizando-se o Excel.

Em seguida, aborda-se os aspetos ligados à influência de condições iniciais, duração da Simulação vs. precisão dos resultados.

Segue-se a introdução à utilização do módulo de Visual Basic do Excel para Simulação. A aplicação da Simulação as Filas de Espera é feita utilizando VB.

É feita uma introdução à utilização de modelos de simulação com interface visual.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Initially, Simulation basics are addressed using Excel.

Initial conditions influence, duration vs precision are then addressed. Then, Visual Basic Simulation using Excel is introduced.

Application of Simulation to Queuing problems is done using VB.

An introduction to simulation models with visual interface is carried out.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas práticas decorrem em laboratório computacional, permitindo a imediata implementação informática dos conceitos transmitidos, bem como o desenvolvimento de modelos de simulação.

A classificação final na unidade curricular é resultante de duas componentes (a avaliação escrita individual - dois testes durante o período letivo, ou o exame de recurso e a realização de trabalhos em aula).

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Laboratory sessions will take place in a computer room, allowing students to apply and develop the topics studied.

Final grade is related to two components (the individual written assessment - two tests during classes, or 1 exam afterwards and classroom projects).

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

As aulas decorrem em laboratório computacional o que é fundamental para assegurar um contexto de permanente aplicação.

Nas primeiras 2 semanas do semestre são revistos alguns aspetos básicos de Simulação, nomeadamente as técnicas de geração de números pseudoaleatórios, utilizando-se o Excel.

Aspetos ligados à influência de condições iniciais, duração da Simulação vs. precisão dos resultados e tratamento de resultados são abordados em 2 a 3 semanas.

A introdução à utilização do módulo de Visual Basic do Excel para Simulação é feito em 2 semanas.

No 1o Teste os estudantes devem ser capazes de abordar aspetos básicos da conceção de um modelo de Simulação, que poderá já envolver algum conhecimento de VB.

A aplicação da Simulação às Filas de Espera é feita em 2 semanas.

É feita uma introdução à utilização de modelos de simulação com interface visual numa semana.

No 2o Teste os estudantes já devem ser capazes de utilizar VB e de abordar a simulação de Filas de Espera.

Em algumas aulas os estudantes têm de desenvolver pequenos projetos de Simulação.

A utilização de aulas em laboratório computacional, a realização dos dois testes e dos projetos de Simulação garantem uma aprendizagem adequada.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Laboratory sessions take place in a computer room, which allows a "hands on" approach. Simulation basics are addressed using Excel in the first 2 weeks.

Initial conditions influence, duration vs precision are then addressed (2-3 weeks).

Then, Visual Basic Simulation using Excel is introduced (2 weeks).

Students should be able to address the basic aspects of a Simulation model in the 1st Test. VB may also be addressed in the 1st Test.

Application of Simulation to Queueing problems is done using VB (2 weeks).

An introduction to simulation models with visual interface is carried out in 1 week.

Students should be able to use VB and address Simulation to Queueing problems in the 2nd Test.

Students are required to submit a small Simulation projects.

Laboratory sessions in a computer room, taking dois tests and doing a small Projects, will ensure an adequate learning of Simulation.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Law, A. M. e Kelton, W. D., Simulation modeling and Analysis, McGraw-Hill International Editions, 2007.

Kelton, W.D., Sadowski, R.P. e Swets, N.B., Simulation with ARENA (5a ed.), McGraw-Hill International Editions, 2009.

Banks, J. et al., Handbook of Simulation, John Wiley & Sons, Atlanta, 1998.

Banks, J. et al., Discrete-Event System Simulation (3a ed.), Prentice-Hall, New Jersey, 2001.

Chung, C.A., Simulation Modeling Handbook. A Practical Approach, CRC Press, Boca Raton, 2004.

Pidd, M., Computer Simulation in Management Science, John Wiley & Sons, Singapore, 1994.

Tavares, L., Oliveira, R., Themido, I. e Correia, F., Investigação Operacional, McGraw-Hill Portugal, Alfragide, 1996.

Anexo II - Otimização Não Linear**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:***Otimização Não Linear***9.4.1.1. Title of curricular unit:***Non Linear Optimization***9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:***M***9.4.1.3. Duração:***Semestre / Semester***9.4.1.4. Horas de trabalho:***<sem resposta>***9.4.1.5. Horas de contacto:***TP:56***9.4.1.6. ECTS:***6***9.4.1.7. Observações:***<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Ana Luísa Baptista Custódio - TP:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Paula Alexandra da Costa Amaral - TP:14**Marcos Alejandro Raydan - TP:14***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***Os objetivos são:*

- *Ser capaz de distinguir os problemas difíceis.*
- *Conhecer as condições de optimalidade para ótimos locais e os métodos para sua identificação.*
- *Perceber a filosofia de abordagem cada método e ser capaz de os comparar relativamente ao seu mérito/fragilidades e taxas de convergência.*
- *Compreender a simplificação dos métodos quando aplicados a problemas particulares como o problema dos mínimos quadrados.*
- *Ter uma visão geral sobre os métodos de otimização global.*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:*The goals are:*

- *To distinguish the problems by degree of difficulty.*
- *To know optimality conditions and methods for local optima.*
- *To understand how the methods "work" for problems with and without constraints, and to be able to compare their merits and weaknesses and convergence rate.*
- *To understand the application of some methods for special problems like least squares.*
- 5- *To be have an overview of global optimization methods.*

9.4.5. Conteúdos programáticos:*1) Otimização Não Linear (ONL) sem restrições**a) Fundamentos de ONL sem restrições. Método de Newton.**b) Métodos de pesquisa em linha**c) Métodos de região de confiança**d) Métodos de quasi-Newton**2) Otimização Não Linear com restrições**a) Fundamentos de ONL com restrições**b) Programação quadrática**c) Métodos das penalidades, de barreira e do Lagrangeano aumentado*

3- Problemas de mínimos quadrados

4- Discussão de abordagens para problemas de optimização global

9.4.5. Syllabus:

1- Unconstrained Problems

1.1 Basics. Newton method for local optima.

1.2. Line search methods.

1.3. Trust region methods.

1.4. Quasi-Newton methods.

2- Constrained optimisation

2.1. Basics

2.2. Quadratic Programming.

2.3. Penalties, Barrier and augmented Lagrangian methods.

3- Least Squares Problems

4- Brief introduction to global optimization.

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

A introdução dos conhecimentos é construtiva, sendo os capítulos anteriores uma base para o capítulo seguinte. Nenhum item pode ser considerado supérfluo.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Every chapter is a base for the next chapter. The introduction of subjects is progressive and highly correlated to previous mater.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Este curso é lecionado em quatro horas semanais de aulas teórico-práticas podendo também funcionar em regime tutorial.

A avaliação é feita com base em dois trabalhos práticos, correspondentes a uma implementação computacional com relatório, discussão do relatório e um teste escrito.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

This is a 4-hour weekly course and it may also be lectured in tutorial mode.

The evaluation is done by two practical implementations of an algorithm with report and discussion and a written test.

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

Dada os objetivos do curso e do programa a metodologia é coerente uma vez que promove a compreensão dos saberes e sua aplicação.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The methodology is defined in accordance to the program and goals, promoting the understanding of methods and its application.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Bertsekas, Dimitri P. (1995) - "Nonlinear Programming", Athena Scientific;

Nash, Stephen G.; Sofer, Ariela, (1996) – "Linear and Nonlinear Programming", McGraw-Hill;

Nocedal, Jorge; Wright, Stephen J., (1999) – "Numerical Optimization", Springer-Verlag.

Anexo II - Modelos de Apoio à Decisão

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Modelos de Apoio à Decisão

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Decision Support Models

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:*TP:56***9.4.1.6. ECTS:**

6

9.4.1.7. Observações:*<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes - TP:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Nelson Fernando Chibeles Martins - TP:28***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:*

- *Conhecer e compreender os conceitos elementares de Teoria da Decisão*
- *Compreender as problemáticas associadas à subjetividade inerente à tomada de decisão e reconhecer como diferentes metodologias modelam essa subjetividade*
- *Identificar problemas de Programação Linear Multiobjectivo (PLMO)*
- *Ser capaz de aplicar diversos métodos para obter de soluções de compromisso em problemas de PLMO*
- *Ser capaz de modelar e resolver problemas que poderão encontrados em situações reais*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:*At the end of this course the student will have acquired knowledge, skills and competences that allow:*

- *to know and understand elementary concepts of Decision Theory*
- *to understand issues related with to subjectivity inherent to decision making and to recognize how different methodologies model this subjectivity*
- *to identify Multiobjective Linear Programming (PLMO) problems*
- *to be able to apply various methods to obtain compromise solutions of PLMO problems*
- *to be able to model and solve problems that may be encountered in real situations*

9.4.5. Conteúdos programáticos:

- 1 – *Decisão Uni-Critério: Decisão em Situação de Incerteza; Decisão em Situação de Risco; Decisões sequenciais e Árvores de Decisão; Teoria da Utilidade;*
- 2 – *Decisão Multicritério: Modelos Compensatórios – Técnica SMART e TOPSIS; Modelos Não-Compensatórios – Métodos ELECTRE; Modelos Hierárquicos – Filosofia AHP.*
- 3 – *Optimização Multiobjectivo: Soluções e Objetivos. Dominância e Eficiência; Modelos com somas agregadas; Modelos com vetores de pesos; Modelos com mudança de escala; Modelos de redução da região admissível; Programação por Metas; Modelos Interativos: STEM.*

9.4.5. Syllabus:

- 1 – *Single criterion decision: Decision and Uncertainty; Decision and Risk; Sequential Decisions and Decision Trees; Utility Theory;*
- 2 – *Multi Criteria Decision: Compensatory Models – SMART Technique Non-Compensatory Model – ELECTRE Methodology; Hierarchic Models – AHP.*
- 3 – *Multi Objective Optimization: Solutions and Objectives. Dominance and Efficiency; Aggregated Sums Models; Weight Vectors Models; Change of Scale; Reduction of Feasible Region; Goal Programming; Interactive Models: STEM.*

9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular*O capítulo 1, dedicado à tomada de decisão em contexto Uni-objetivo, cobre o primeiro objetivo de aprendizagem e, parcialmente, o segundo. O capítulo 2 desenvolve as metodologias Multicritério e, portanto, completa o segundo objetivo de aprendizagem. O último capítulo, Otimização Multiobjectivo, permite atingir o terceiro e quatro objetivos programáticos. Por fim, a resolução em aula de casos de estudo inspirados em casos reais permite ao aluno atingir o último objetivo apresentado.***9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.***Chapter 1, dedicated to Uni-objective decision making, covers the first learning objective and partly the second. Chapter 2 develops the Multicriteria methodologies and thus completes the second learning objective. The last*

chapter, Multi-Objective Optimization, covers the third and four learning objectives. Finally, the resolution of case studies inspired by real cases allows the student to achieve the last learning objective.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Cada aula de 4 horas será composta por duas partes: Uma expositiva, na qual a matéria será introduzida aos alunos; e uma exploratória, na qual os alunos desenvolverão a assunto estudado analisando, resolvendo e discutindo problemas inspirados em casos reais. As aulas decorrerão em laboratório computacional. A avaliação continua é composta por uma componente individual e/ou uma de grupo de acordo com o regulamento de avaliação da FCT NOVA. Os alunos que não obtiverem a aprovação na avaliação contínua poderão tentar aprovar em Exame.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Each 4-hour lesson will have two parts: during the expositive part, the studied subject will be presented to the students; during the exploratory part, students will analyses, solve and discus problems inspired in real cases. Lessons will be held on a computational lab. Mid-term evaluation consists of an individual component and / or a group component according to the FCT NOVA evaluation regulation. Students who do not succeed in the continuous assessment may try to pass a final Exam.

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

A estrutura das aulas proporciona a integração imediata dos conceitos teóricos com a vertente aplicada, através da resolução e discussão de problemas baseados em casos reais. Esta abordagem permite, também, responder ao último objetivo de aprendizagem. As aulas em laboratório computacional permitem que os alunos tenham contacto com algumas aplicações informáticas de distribuição comum utilizadas nesta área (Excel e Geogebra) e de software especializado (ex. GMAS/CPLEX). Permite ainda que sejam propostos aos alunos problemas complexos.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The structure of the classes provides the immediate integration of theoretical concepts with applied aspect, through the resolution and discussion of problems based on real cases. This approach also makes it possible to address to the last learning objective. Computer lab classes allow students to have contact with some common distribution computer applications used in this area (Excel and GeoGebra) and specialized software (e.g. GMAS / CPLEX). It also allows students to address complex problems.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

*Anderson et al – Quantitative Methods for Business (2001) – SW College Publishing
Antunes, C. H., Alves, M. J., & Clímaco, J. (2016). Multiobjective linear and integer programming. Cham: Springer.
Goodwin, P. e Wright, G. – Decision Analysis for Management Judgement (2014 - 5th ed.) – John Wiley & Sons
Hillier, Lieberman, Introduction to Operations Research, Mc Graw - Hill, 10th ed (2015) - or any other edition
Saaty, T. L.– The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation (1990) – RSW Publications
Steuer, R. E.– Multiple Criteria Optimizations: Theory, Computation, and Application (1986) – John Wiley & Sons*

Anexo II - Estágio com relatório em Ciências dos Dados e da Decisão

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Estágio com relatório em Ciências dos Dados e da Decisão

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Internship Report

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Anual / Annual

9.4.1.4. Horas de trabalho:

1680

9.4.1.5. Horas de contacto:

OT:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes - OT:56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Qualquer docente do Mestrado em Matemática e Aplicações - OT:56

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Preparação de um relatório sobre um tema de Ciências dos Dados e da Decisão desenvolvido durante o estágio realizado numa empresa. O tema não necessita consistir de um problema científico em aberto, contudo, o seu tratamento e/ou apresentação devem conter originalidade.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Preparation of a report under a subject related to Data and Decision Sciences developed during a company internship. The subject is not required to be an unsolved scientific problem, however, its approach and/or presentation must present novelty.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

O programa do relatório depende do assunto específico escolhido para o estágio.

9.4.5. Syllabus:

The report plan depends on the specific subject of the internship.

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

A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência do programa de trabalho acordado entre o orientador científico, o orientador da empresa e o estudante. O referido programa de trabalho deverá obedecer aos objetivos apresentados em "Objetivos de Aprendizagem".

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the scientific plan accorded among the scientific and company supervisors, and the student. Such plan must agree with the goals required in "Objetivos de Aprendizagem".

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Orientação, de acordo com o tema proposto pelos orientadores científico e da empresa e aceite pelo estudante. No final, o relatório é discutido/avaliado por um júri.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Supervision, according to the subject proposed by the scientific and company supervisors, and accepted by the student. At the end the report is discussed/evaluated by a jury.

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

A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência das metodologias de ensino.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the methods.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

*A bibliografia depende do assunto específico escolhido para o estágio.
The bibliography depends on the specific subject chosen for the internship.*

Anexo II - Dissertação em Ciências dos Dados e da Decisão**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:***Dissertação em Ciências dos Dados e da Decisão***9.4.1.1. Title of curricular unit:***Dissertation***9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:***M***9.4.1.3. Duração:***Anual / Annual***9.4.1.4. Horas de trabalho:***1680***9.4.1.5. Horas de contacto:***OT:56***9.4.1.6. ECTS:***60***9.4.1.7. Observações:***<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes - OT:56***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Qualquer docente do Mestrado em Matemática e Aplicações - OT:56***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***Preparação de uma dissertação sobre um tema no âmbito das Ciências dos Dados e da Decisão. O tema não necessita consistir de um problema científico em aberto, contudo, o seu tratamento e/ou apresentação devem conter originalidade.***9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:***Preparation of a monography under a subject related to Data and Decision Sciences. The subject is not required to be an unsolved scientific problem, however, its approach and/or presentation must present novelty.***9.4.5. Conteúdos programáticos:***O programa da dissertação depende do assunto específico escolhido para a Dissertação.***9.4.5. Syllabus:***The dissertation plan depends on the specific subject of the Dissertation.***9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular***A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência do programa de trabalho acordado entre o orientador e o estudante. O referido programa de trabalho deverá obedecer aos objetivos apresentados em "Objetivos de Aprendizagem".***9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.***The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the scientific plan accorded between the supervisor and the student. Such plan must agree with the goals required in "Objetivos de Aprendizagem".***9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):**

Orientação da dissertação, de acordo com o tema proposto pelo orientador e aceite pelo estudante. No final a dissertação é discutida/avaliada por um júri.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Supervision of the dissertation, according to the subject proposed by the supervisor and accepted by the student. At the end the dissertation is discussed/evaluated by a jury.

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

A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência das metodologias de ensino.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the methods.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

A bibliografia depende do assunto específico escolhido para a Dissertação.

The bibliography depends on the specific subject chosen for the dissertation.

Anexo II - Análise Numérica das Equações com Derivadas Parciais em Finanças

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Análise Numérica das Equações com Derivadas Parciais em Finanças

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Numerical Analysis of Partial Differential Equations in Finance

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Magda Stela de Jesus Rebelo - TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Nuno Filipe Marcelino Martins - TP:28

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências em Métodos Numéricos que permitem a análise numérica de Equações com Derivadas parciais, equações parabólicas, e aplicar estes métodos a modelos em Matemática Financeira (opções Europeias e Americanas)

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this course the student will have acquired knowledge and skills in numerical methods for numerical analysis of Partial Differential Equations, parabolic equations, and apply these methods to models in Financial

*Mathematics (European and American options).***9.4.5. Conteúdos programáticos:**

Equações com Derivadas Parciais (EDPs): Generalidades sobre EDPs. Séries de Fourier. Aplicações das séries de Fourier às EDP: método de separação de variáveis. Aplicações ao caso parabólico (equação do calor). Transformada de Fourier: Definição. Propriedades elementares da transformada de Fourier. Transformada de Fourier inversa. Aplicações à resolução da equação do calor. A equação de Black-Scholes e o problema de apreçamento de opções europeias.

Métodos numéricos para EDPs: Método das diferenças finitas para a equação do calor com condições de fronteira do tipo Dirichlet e para problemas de Cauchy. Métodos das diferenças progressivas, regressivas e de Crank-Nicolson. Esquemas theta. Convergência e estabilidade. Aplicações a modelos em Matemática Financeira: o caso das opções Europeias. Método das diferenças finitas para problemas de obstáculo em dimensão um. Métodos SOR com projecção. Aplicações a modelos em Matemática Financeira: o caso das opções Americanas.

9.4.5. Syllabus:

Partial differential equations: Introduction to partial differential equations. The heat equation; separation of variables. Fourier series. Application to the heat equation. Fourier transform. Application to the heat equation. The Black-Sholes equation and applications to pricing for European options.

Numerical methods for partial differential equations: Finite differences for the heat equation with Dirichlet boundary equations and for Cauchy problems. Progressive, regressive and Crank-Nicolson schemes. Theta schemes. Convergence and stability. Meshless methods. Fundamental solutions for the Cauchy problem. Applications to pricing for European options. Finite differences for one dimensional obstacle problems SOR methods with projection. Applications to pricing for American options.

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

Os conteúdos programáticos percorrem todos os itens referidos nos objetivos da UC e são, na nossa opinião, suficientes para um aluno médio ficar com os conhecimentos base.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

We are offering standard material to accomplish the objectives of the course. They are, in our view, sufficient for the average student to learn the basic material.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Aulas teórico-práticas, com exposição oral de matéria, resolução de problemas e implementação dos métodos estudados. Os alunos poderão obter aprovação à disciplina por avaliação contínua. Em alternativa, poderão submeter-se a um exame final que engloba todos os conteúdos da disciplina

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Theoretical-practical classes with problem solving and computer implementation of the studied methods. The students may obtain approval in this course during the semester. Also, they may present themselves to a final exam that will test all the learning goals of this course.

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

A apresentação de conceitos e metodologias, apoiados com exemplos ilustrativos, pretende motivar os estudantes para a relevância dos tópicos estudados, desenvolvendo a sua capacidade de implementar, aplicar o método adequado ao problema e analisar de forma crítica os resultados obtidos. Os alunos terão oportunidade de testar estas capacidades nas aulas, com o apoio de um professor, ou em estudo individual, comparecendo eventualmente a sessões de atendimento individual, em caso de dificuldades. A avaliação da unidade curricular incide sobre a aquisição das competências referidas.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

In classes, concepts and methodologies are presented and illustrated with examples, motivating students for the relevance of the corresponding study, and developing student's ability for implement, apply the appropriate method to the problem and analyze the numerical results. Additionally, classes will allow students to test these skills, under the supervision of a professor. Students can also test these skills by themselves, scheduling individual appointments with professors in case of difficulties. The evaluation of the curricular unit focuses in the acquisition of the mentioned capabilities.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

1. P.A. Raviart and J.M. Thomas, *Introduction a l'Analyse Numérique des Equations aux Derivées Partielles*, Masson, Paris, 1983.
2. J.M. Steele, *Stochastic Calculus and Financial Applications, Applications of Mathematics: Stochastic Modelling and Applied Probability*, 45, Springer, Berlin, 2004.
3. E. Zauderer, *Partial Equations of Applied Mathematics (second ed.)*, John Wiley and Sons, New York, 1989.
4. M. Braun, *Differential Equations and their applications (4th edition)*. Springer-Verlag, 1993.

5. Y. Achdou, O. Pironneau, *Computational Methods for Option Pricing*, SIAM, *Frontiers in Applied Mathematics*, 2005.
 6. P. Wilmott, J. Dewynne, S. Howison, *Option Pricing – Mathematical models and computation*, Oxford Financial Press, 1995.

Anexo II - Modelação Computacional de Produtos Derivados

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Modelação Computacional de Produtos Derivados

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Computational Modeling of Derivatives

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro José dos Santos Palhinhas Mota - TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Nuno Filipe Marcelino Martins - TP:28

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:

- Aplicar técnicas de simulação, nomeadamente de Monte Carlo, necessárias à resolução numérica de integrais e de equações diferenciais estocásticas.*
- Conhecer as características do modelo de Black-Scholes e a respetiva fórmula de determinação de preços de opções Europeias.*
- Compreender a noção de mercado completo e ser capaz de nesse contexto determinar carteiras de cobertura de risco, e simultaneamente estudar as medidas de sensibilidade (delta, gama).*
- Generalizar as fórmulas e/ou metodologias de determinação de preços de produtos derivados a opções sobre contratos de futuros, a ativos com pagamento de dividendos, a taxas de câmbio, a opções Americanas, e a opções do tipo barreira.*
- Conhecer instrumentos de dívida, como as obrigações e aprender a analisar modelos de taxas de juro, obtendo fórmulas e formas de determinação de preços de produtos derivados sobre obrigações.*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this curricular unit the student will have acquired knowledge, skills and competences that allow him / her to:

- Apply simulation techniques, namely Monte Carlo, necessary for numerical resolution of integrals and stochastic differential equations.*
- Know the characteristics of the Black-Scholes model and its European pricing formula.*
- Understand the notion of complete market and to be able in this context to determine hedging portfolios, and at the same time to study the sensitivity measures (delta, gamma).*
- Generalize derivative pricing formulas and/or methodologies for options on futures contracts, options on dividend-paying assets, option on exchange rates, American options, and barrier options.*

-Know debt instruments such as bonds and learn how to model and analyze short rate models, obtaining pricing formulas for derivatives on bonds.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. *Simulação de Monte Carlo e Integração Numérica*
2. *Resolução Numérica de Equações Diferenciais Estocásticas.*
3. *Modelo de Black-Scholes e Opções Europeias*
4. *Mercados Completos e Cobertura de Risco*
5. *Dividendos, Câmbios e Opções Exóticas*
6. *Obrigações e Taxas de Juro*
7. *Modelos de Taxas de Juro*

9.4.5. Syllabus:

1. *Monte Carlo Simulation and Numerical Integration*
2. *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations*
3. *Black-Scholes Model and European Options*
4. *Complete Markets and Hedging*
5. *Dividends, Foreign Exchange Rates and Exotic Options*
6. *Bonds and Interest Rates*
7. *Short Rate Models*

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

Os dois primeiros capítulos pretendem dar aos alunos a formação necessária para usarem métodos numéricos e de simulação para a obtenção dos preços de alguns dos produtos derivados que são estudados nos capítulos posteriores. O modelo de Black-Scholes é muito importante na definição de muitos dos produtos derivados estudados nesta uc e será alvo de análise detalhada no capítulo 3. Também no contexto dos mercados financeiros e em particular no contexto do modelo de Black-Scholes, a noção de mercado completo é fundamental quer para determinar o preço das opções quer depois para a construção das carteiras de cobertura (cap. 4). No capítulo 5, os alunos terão contacto com uma maior variedade de opções e de formas de obtenção dos seus preços. Finalmente, nos capítulos 6 e 7 serão introduzidos e estudados os modelos de obrigações e de taxas de juro de modo a ser possível definir e determinar preços de derivados sobre obrigações e modelar o mercado na presença de taxas de juro estocásticas.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The first two chapters are intended to provide students with the necessary training to use numerical and simulation methods to obtain the prices of some of the derivative products that are studied in later chapters. The Black-Scholes model is very important in defining many of the derivative products studied in this curricular unit and will be discussed in detail in chapter 3. Also in the context of financial markets and in particular in the context of the Black-Scholes model, the notion of complete market market is fundamental both for determining the price of options and for the construction of hedging portfolios (chapter 4). In chapter 5, students will have contact with a wider range of options and ways to obtain their prices. Finally, in chapters 6 and 7, bond and interest rate models will be introduced and studied in order to be possible to define and determine bond derivative prices and to model the market in the presence of stochastic short rates.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A metodologia é a clássica em Matemática no ensino superior. Exposição, exercícios e problemas, trabalhos práticos para aplicação a dados reais. Os conteúdos são apresentados e discutidos, procurando-se dar relevo às ideias, e técnicas, mais relevantes. Há materiais de estudo: livro de texto, notas de aula com exercícios e lista de questões teóricas que indicam claramente o que o aluno deve ter como objetivos de aprendizagem. Será feito, com recurso a software adequado, a implementação de algoritmos e a programação de fórmulas que permitam obter os preços dos diferentes produtos derivados estudados. Há avaliação contínua. Esta compõe-se de 2 momentos de avaliação, testes e/ou trabalhos escritos. A classificação final corresponde à média aritmética destas avaliações. Para quem não obtenha a aprovação com a avaliação contínua há exame global.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The classical methodology used in Mathematics at the university level. The contents are presented and discussed trying to stress the most important ideas and practical procedures. There are study materials: text books, classroom notes with problems, and a list of questions indicating exactly what the student has to know. With the use of appropriate software, the implementation of algorithms and programming will be made to obtain the prices of the different derivatives products studied. There is a continuous assessment in the course. It is composed of 2 moments, either tests or written reports; the continuous assessment grade is the average of both results. For those who fail there is still the possibility of a global exam.

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

O regime de aulas teórico práticas permite a exposição simultânea dos conceitos teóricos e aplicações, sendo que os conteúdos têm apoio consistente com os textos de apoio e exercícios disponibilizados. Há um Horário de Atendimento semanal disponível para auxiliar o trabalho individual do aluno e a avaliação contínua

da aprendizagem é consequente com as metodologias de ensino numa população de reduzido número de alunos que é possível conhecer individualmente.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The theoretical-practical classes allow the simultaneous exposition of the theoretical concepts and applications, and the contents have consistent support with the available text books and exercises.

There is a weekly office hours schedule to support the individual work of the student and the continuous assessment of learning is consistent with the teaching methodologies in a population of small numbers that can be met individually.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- Bjork T. *Arbitrage, Theory in Continuous Time*. Oxford University Press, 2009.
- Brigo, D. and Mercurio, F., *Interest Rate Models – Theory and Practice*, 2nd ed. Springer, 2007.
- Elliott, R.J. and Kopp, P.E., *Mathematics of Financial Markets*, 2nd ed. Springer, 2005.
- Iacus, S.M., *Simulation and Inference for Stochastic Differential Equations (with R examples)*. Springer, 2008.
- Musiela, M. and Rutkowski, M., *Martingale Methods in Financial Modelling*, 2nd ed. Springer, 2005.
- Oksendal B. *Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications*, 6th ed. Springer (2003).
- Robert C.P. e Casella G. *Introducing Monte Carlo Methods with R*, Springer, 2010.
- Ross, S.M., *An Elementary Introduction to Mathematical Finance*, 3rd ed. Cambridge University Press, 2011.
- Wilmott, P. *Paul Wilmott Introduces Quantitative Finance*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2007.

Anexo II - Métodos Computacionais

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Métodos Computacionais

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Computational Methods

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

I

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:42; PL:26

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro Manuel Corrêa Calvente de Barahona - TP:42

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Joaquim Francisco Ferreira da Silva - PL:26

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Saber

As ferramentas de um ambiente de desenvolvimento de software.

As construções essenciais de uma linguagem de programação imperativa.

Introdução ao desenho e análise de algoritmos

Noções fundamentais de bases de dados relacionais.

Introdução à linguagem SQL

Saber Fazer

Decompor um problema em problemas mais simples.

Escrever um programa, numa linguagem de programação imperativa (Python).

Testar um programa num determinado ambiente de programação.

Desenhar e testar algoritmos numa linguagem imperativa (Python)

Desenhar uma base de dados relacional simples

Formular interrogações em SQL.

Soft-Skills

Capacidade de concretização de objetivos.

Capacidade de gestão do tempo e cumprimento dos prazos.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:**Knowledge:**

The tools of a software development environment.

The essential constructs of an imperative programming language.

Introduction to algorithm design and analysis.

Fundamental notions of relational databases.

Introduction to SQL Language

Application:

Break down a problem into simpler problems.

Write a program in an imperative programming language (Python).

Test a program in a particular programming environment.

Design and test algorithms in an imperative language (Python)

Design a simple relational database

Formulate SQL queries.

Soft-Skills:

Ability to achieve goals.

Time management ability and meeting deadlines.

9.4.5. Conteúdos programáticos:**1. Introdução à programação em Python****a. Tipos de dados**

- Estruturas de Dados (Listas, Vetores, Matrizes, Strings, Dicionários)

b. Programação Imperativa

- Execução Sequencial, Condicional e Repetida

- Funções (Imbricadas e Recursivas)

- Entrada-saída, Processamento e Ficheiros de Texto

2. Algoritmos**a. Pesquisa em Vetores****b. Algoritmos de ordenação**

- Correção e Complexidade

c. Simulação

- Variáveis e Processos Aleatórios

d. Grafos

- Algoritmos Polinomiais:

- Árvores de cobertura Mínima (Prim)

- Distâncias mais curtas (Floyd-Warshall)

- Algoritmos Não determinísticos

- Coloração de Grafos

- Circuitos Hamiltonianos

3. Introdução às Bases de Dados**a. Bases de dados relacionais****b. Modelação e Desenho**

- Entidades, Atributos e Chaves

- Modelo Entidade-Relação

- Álgebra Relacional (Breve Apresentação)

c. Normalização**d. Consulta de bases de dados relacionais**

- SQL - Linguagem de Consulta Estruturada (DDL e DML)

9.4.5. Syllabus:**1. Introduction to Programming in Python****a. Data Types**

- Data Structures (Lists, Vectors, Arrays, Strings, Dictionaries)

b. Imperative Programming

- Sequential, Conditional and Repeated Execution

- Functions (Nested and Recursive)

- Input-Output (Text Files and Text Processing)

2. Algorithms**a. Search in Arrays****b. Sorting algorithms**

- Correctness and Complexity

c. Simulation

- *Random Variables and Processes*

d. Graphs

- *Polynomial:*
- *Minimum Spanning Trees (Prim)*
- *Shortest Distances (Floyd-Warshall)*
- *Nondeterministic*
- *Graph Colouring*
- *Hamiltonian Circuit*
- *Correctness and Complexity*

3. Introduction to Databases

a. Relational Databases

b. Modelling and Design

- *Entities, Attributes and Keys*
- *Entity-Relational Model*
- *Relational Algebra (Brief Introduction)*

c. Normalisation

d. Querying Relational Databases

- *SQL - Structured Query Language (DDL and DML)*

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

Esta UC introduzir os conceitos básicos de programação, algoritmia e bases de dados. Aborda inicialmente os tipos de dados (simples e estruturados) e a instrução de atribuição bem como a sua generalização através de funções. Subsequentemente apresentam-se as componentes de controle de execução de linguagens imperativas e discutem-se as propriedades de algoritmos (correção e complexidade), com base em exemplos típicos (ordenação e grafos). A componente de bases de dados permite complementar a componente de programação com uma apresentação da modelação de bases de dados relacionais e sua manipulação através da linguagem SQL, fazendo a interface com a ligação com a linguagem Python, usada na parte inicial.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

This UC introduce the basics of programming, algorithm and databases. It initially addresses data types (simple and structured) and the assignment statement as well as its generalization through functions. Subsequently, the imperative language execution control components are presented and the properties of algorithms (correction and complexity) are discussed, based on typical examples (sorting and graphs). The database component allows to complement the programming component with a presentation of relational database modeling and its manipulation through the SQL language, interfacing with the Python link used in the initial part.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A matéria teórica é explicada na primeira parte das aulas, que é imediatamente seguida de exercícios de aplicação na segunda parte das aulas. Assim, os alunos podem imediatamente aperceber-se dos conceitos ensinados e verificar as dificuldades que possam sentir na sua exploração.

A avaliação contínua é feita através de 2 projetos e 1 teste. O teste e primeiro projeto abrangem os tópicos 1 e 2 do programa. O segundo projeto cobre o tópico 3.

Notas: a média ponderada das notas teóricas e práticas é a nota da avaliação contínua. A nota teórica é a nota do teste. A nota prática é a média aritmética dos projetos. Um aluno com uma nota de avaliação contínua $\geq 9,5$ obtém aprovação.

Um aluno obtém frequência se a nota prática for $\geq 7,5$ valores.

Os alunos reprovando na avaliação contínua, mas tendo obtido frequência, podem fazer um exame final. A nota teórica após o exame é o máximo da nota do teste e do exame. Após o exame, a nota final é a média ponderada das notas teóricas e práticas finais.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The theoretical concepts are explained in the first part of the classes, which is immediately followed by application exercises in the second part of the classes. In this way students can immediately grasp the concepts taught and check the difficulties they may experience.

Continuous assessment (CA) is done through 2 projects and 1 test. The test and first project cover topics 1 and 2 of the syllabus. The project 2 covers topic 3.

Grades

The weighted mean of the theory and practice grades is the CA grade. The theory grade is that of the test. The practice grade is the arithmetic mean of projects. A student is approved if the CA grade ≥ 9.5 .

Frequency

Students get frequency if their practice grade ≥ 7.5 .

Exam

Students failed in the continuous assessment, but having obtained frequency, can take a final exam. The theory grade, after exam, is the maximum of the test and exam grades. After the exam, the final grade is the weighted mean of the final theory and practice grades.

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

A integração das componentes teóricas e práticas nas aulas permite que o processo de ensino e de aprendizagem se faça numa forma contínua e gradual. Por outro lado, a avaliação contínua permite aos alunos focar o estudo na

resolução de projetos de dimensão média que ultrapassem a simples resolução de exercícios e lhes permita executar as metodologias de desenvolvimento estruturado de programas.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The integration of the theoretical and practical components of the syllabus in the classes allows the teaching and learning processes to be continuous and gradual. On the other hand, continuous assessment allows students to focus their study on solving medium-sized projects that go beyond simple exercise solving and allowing them to execute structured program development methodologies.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Introduction to Programming (in Python):

- Allen B. Downey. *Think Python: How to Think Like a Computer Scientist, version 2.0.17;*
<http://greenteapress.com/wp/think-python-2e/>
- John V. Guttag. *Introduction to Computation and Programming Using Python, MIT PRESS*
- Ernesto Costa. *Programação em Python - Fundamentos e Resolução de Problemas, FCA, 2015*

Algorithms (in Python):

- *Data Structures and Algorithms in Python, by Michael T. Goodrich, Roberto Tamassia, and Michael H. Goldwasser, Wiley, 2013.*

Databases (primers):

- <http://www.sqlitetutorial.net/sqlite-python/>
- <https://www.pythoncentral.io/introduction-to-sqlite-in-python/>

Anexo II - Economia Matemática

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Economia Matemática

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Mathematical Economics

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

84

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:28

9.4.1.6. ECTS:

3

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Marta Cristina Vieira Faias Mateus - TP:14

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Manuel Leote Tavares Inglês Esquível - TP:14

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Nesta unidade curricular introduz-se a teoria da escolha do consumidor em contexto de incerteza e introduz-se a teoria do equilíbrio geral com ativos financeiros. Pretende-se que o aluno conheça os fundamentos microeconómicos subjacentes aos principais modelos financeiros de escolha de carteira e de valorização dos instrumentos financeiros.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

In this course we study the consumer choice theory with uncertainty and the general equilibrium model with financial markets. Our goal is to introduce the microeconomic fundamentals underlying portfolio choice theory and asset pricing.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. Teoria do consumidor
2. Escolha em contexto de incerteza
3. Otimização
4. Equilíbrio geral
5. Mercados incompletos
6. Arbitragem e preços de estado
7. Teoria de jogos

9.4.5. Syllabus:

1. Consumer choice theory
2. Choice under uncertainty
3. Optimization
4. General Equilibrium
5. Incomplete markets
6. Arbitrage and state prices
7. Teoria de jogos

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

No cap 1 introduz-se o problema do consumidor: escolher cabazes de consumo que maximizam as funções de utilidade e satisfazem as restrições orçamentais. Primeiro aborda-se este problema em contexto determinístico e de seguida em contexto de incerteza - contexto natural dos mercados financeiros (MF). No cap 3 apresentam-se técnicas de optimização que se podem utilizar para resolver estes problemas. No cap 4 introduz-se o modelo de equilíbrio geral e no cap 5 adicionam-se os MF ao modelo. Em equilíbrio geral com MF, os agentes escolhem bens e carteiras de ativos e os preços de equilíbrio são os que fazem a procura, de bens e ativos, igual à oferta. No cap 6 apresenta-se o conceito de arbitragem e mostra-se que numa estrutura financeira sem arbitragem os preços dos ativos são iguais à média dos seus retornos ponderados pelos preços de estado. Por fim, introduz-se a teoria de jogos, recorrendo-se a esta ferramenta para provar o resultado de existência de equilíbrio numa economia com MF.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Chapter 1 introduces the consumer problem: consumers choose bundles that maximize preferences (represented by utility functions) and satisfy the budget constraints. First, we address the consumer problem in a deterministic context and then in a context of uncertainty - the natural framework of financial markets. Chapter 3 presents optimization techniques that can be used to solve the above mentioned problems. Chapter 4 introduces the general equilibrium model. Chapter 5 adds financial markets to the model. In general equilibrium with financial markets, agents choose goods and asset portfolios, and equilibrium prices are those that make demand for goods and assets equal to supply. In Chapter 6 we introduce the concept of arbitrage and show that in a non-arbitrage financial structure asset prices are equal to the average of their returns weighted by state prices. Finally, in chapter 7 we introduce game theory and use this tool to prove existence of equilibrium for an economy with financial markets.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Aulas teóricas-práticas que consistem na exposição da matéria teórica, que é de seguida aplicada na resolução de problemas propostos pelo professor. São feitas as demonstrações dos resultados teóricos que constituem os fundamentos microeconómicos da formação de preços e escolha de carteiras nos mercados financeiros. Os alunos poderão obter aprovação à disciplina por avaliação contínua. Em alternativa, poderão submeter-se a um exame final que engloba todos os conteúdos da disciplina.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Theoretical-practical classes consisting of the exposition of the theoretical subject, which is then applied to solve problems proposed by the teacher. The proofs of the theoretical results that constitute the microeconomics fundamentals of pricing and portfolio choice in the financial markets are made. Students will be able to pass the course by continuous assessment. Alternatively, they may take a final exam covering all course content.

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

O regime de aulas teórico práticas permite a exposição simultânea dos conceitos teóricos e aplicações, sendo que os conteúdos têm apoio consistente com os textos de apoio e exercícios disponibilizados. Há um Horário de Atendimento semanal disponível para auxiliar o trabalho individual do aluno e a avaliação contínua da aprendizagem é consequente com as metodologias de ensino numa população de reduzido número de alunos que é possível conhecer individualmente.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The theoretical-practical classes allow the simultaneous exposition of the theoretical concepts and applications, and the contents have consistent support with the available text books and exercises. There is a weekly office hours schedule to support the individual work of the student and the continuous assessment

of learning is consistent with the teaching methodologies in a population of small numbers that can be met individually.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- Fudenberg F. and Tirole, J., *Game Theory*, The MIT Press, 1995.
- Hens, T. and Pilgrim, B., *General Equilibrium Foundations of Finance*, Springer-Science-Business Media, BV, 2002
- LeRoy S.L. and Werner, J., *Principles of Financial Economics*, Cambridge University Press, 2001.
- Magill, M. and Quinzii, M., *Incomplete Markets: vol. I: finite horizon economies and vol. II: infinite horizon economies*, Cheltenham, Northampton: An Elgar Reference Collection, cop. 2008.
- Mas-Colell, A., Whinston, M.D. and Green, J.R., *Microeconomic Theory*, Oxford University Press, 1995.
- Varian, H., *Microeconomic Analysis*, Viva-Norton Student Edition, 2009.

Anexo II - Teoria da Probabilidade e Modelos Discretos em Finanças

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Teoria da Probabilidade e Modelos Discretos em Finanças

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Probability Theory and Discrete Models in Finance

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Manuel Leote Tavares Inglês Esquível - TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Marta Cristina Vieira Faias Mateus - TP:14

Maria Fernanda de Almeida Cipriano Salvador Marques - TP:14

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:

- *Compreender alguns dos conceitos mais relevantes subjacentes à moderna teoria das probabilidades de Kolmogorov. Compreender os fundamentos probabilísticos dos modelos de mercados financeiros a tempo discreto.*
- *Ser capaz de utilizar as técnicas fundamentais para construir modelos com boas propriedades - livres de arbitragem e completos - bem como a estimação e calibração dos mais importantes modelos de mercados financeiros a tempo discreto.*
- *Conhecer algumas das principais aplicações práticas dos conceitos fundamentais estudados.*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this course unit the student will have acquired knowledge, skills and competences that allow him / her to:

- *Understand some of the most relevant concepts underlying Kolmogorov's modern probability theory. Understand the probabilistic fundamentals of discrete time financial market models.*
- *Be able to use the fundamental techniques to build models with good properties - free from arbitrage and complete -*

as well as the estimation and calibration of parameters of the most important discrete-time financial market models.
 • Know some of the main practical applications of the fundamental concepts studied.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

Formalismo das Probabilidades

Introdução. O modelo das probabilidades segundo Kolmogorov, Leis dos grandes números. Um teorema limite central. Independência; A lei do 0-1 de Kolmogorov. Esperança Condicional; A informação disponível ou conhecida; O teorema de Radon-Nikodym; propriedades.

Martingalas e Martingalas locais em Tempo Discreto

Tempo de paragem e teorema opcional de Doob Teoremas de convergência de martingalas

O Modelo Binomial

Modelo a um período. Carteiras (Portfolios) e Arbitragem. Medidas de Martingala. Os teoremas fundamentais do apreçamento de activos. Produtos financeiros derivados no modelo binomial Apreçamento Neutro Face ao Risco. O modelo binomial multi-período. Estimação e Calibração. Opções americanas. Modelos para obrigações e taxas de juro.

Modelos Discretizados

Discretização de Euler de difusões. Modelos com coeficientes não aleatórios. Teorema de Girsanov caso discreto. Modelos com coeficientes aleatórios.

9.4.5. Syllabus:

Formalism of Probabilities

Introduction. The probability model according to Kolmogorov, Laws of large numbers. A limit theorem central. Independence; The law of 0-1 de Kolmogorov. Conditional hope; The available or known information; Radon-Nikodym theorem; properties.

Local Martingales and Martingales in Discrete Time

Stop time and optional Doob theorem Martingale convergence theorems

The Binomial Model

One period Models. Portfolios and Arbitrage. Martingale measures. The fundamental theorems of asset pricing. Financial products derived in the binomial model. Neutral Risk Pricing. The multi-period binomial model. Estimation and Calibration. American options. Models for bonds and interest rates.

Discrete Models

Euler's discretization of diffusions. Models with nonrandom coefficients. Girsanov theorem in the discrete case. Models with random coefficients.

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

Os conteúdos programáticos procuram cobrir parte importante de ciência bem estabelecida, apesar de recente, seguindo autores consagrados internacionalmente referidos na bibliografia.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The syllabus seeks to cover an important part of well-established science, although recent, following internationally renowned authors referred to in the bibliography.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Aulas teórico-práticas com:

- *exposição dos principais temas dos conteúdos com o objectivo de motivar e orientar o estudo individual e colectivo.*
- *resolução de exercícios para ilustrar e complementar os temas estudados;*
- *análise detalhada da metodologia de problemas síntese para incorporar as etapas de aplicação de um modelo a uma situação concreta.*

A avaliação faz-se com dois testes - com perguntas sobre os conceitos e resultados estudados e sobre os problemas analisados - e um trabalho prático de aplicação de um modelo de mercado a tempo discreto a dados reais.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Theoretical-practical classes with:

- *Exposition of the main themes of the syllabus with the objective of motivating and guiding the individual and collective study.*
- *Solving exercises to illustrate and complement the topics studied;*
- *Detailed analysis of the synthesis problem methodology to incorporate the steps of applying a model to a concrete situation.*

The assessment and grading is done with two small exams - with questions about the studied concepts and main results and exercises about the analyzed problems - and a practical computational homework to apply a discrete time market model to real data.

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

Seguem-se as melhores práticas nacionais e internacionais, já validadas no decurso de funcionamento do programa desde 2009.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The program and syllabus follows the best national and international practices, already validated during the program's operation since 2009.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- *An Introduction to Quantitative Finance 1st Edition, Stephen Blyth, Oxford University Press 2013.*
- *Financial Mathematics for Actuaries, Wai-Sum Chan, Yiu-Kuen Tse, World Scientific Publishing Company, 2017*
- *Introduction to Quantitative Finance: A Math Tool Kit, Robert R. Reitano, The MIT Press, 2010*
- *Discrete Models of Financial Markets, Marek Capiński, Ekkehard Kopp, Cambridge University Press, 2012*
- *Probability and Statistics for Finance, Svetlozar T. Rachev, Markus Hoechstetter, Frank J. Fabozzi, Sergio M. Focardi, 2010.*
- *Probability for Finance, Kopp E., Malczak J., Zastawniak T., Cambridge University Press, 2013*
- *Basic stochastic processes. A course through exercises. Zdzisław Brzeźniak and Tomasz Zastawniak. Berlin: Springer, 1999.*
- *A course in financial calculus. Alison Etheridge. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.*
- *Stochastic finance. An introduction in discrete time. 2nd revised and extended ed., Hans Föllmer and Alexander Schied. Berlin: de Gruyter, 2002.*

Anexo II - Modelação, Programação e Aprendizagem Automática para Análise Financeira

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Modelação, Programação e Aprendizagem Automática para Análise Financeira

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Modeling, Programming and Machine Learning for Financial Analysis

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:28, PL:28

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Rui Alberto Pimenta Rodrigues - TP:14; PL:14

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Nuno Cavalheiro Marques - TP:14; PL:14

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:

- *Conhecer os principais paradigmas dos sistemas de apoio à decisão e aprendizagem automática sobre dados e modelos financeiros.*
- *Conhecer os principais conceitos de programação e construção de sistemas computacionais aplicados à decisão*

com dados financeiros.

- Ser capaz de utilizar e desenvolver software para apoio à decisão e análise de dados financeiros.
- Compreender os tipos básicos de redes neuronais, funções de custo, o método de optimização dos parâmetros, o papel dos hiperparâmetros (número de camadas, número de unidades em cada camada e o coeficiente de aprendizagem) e os diversos tipos de regularização.
- Ser capaz de utilizar um software que implementa redes neuronais para resolver problemas.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The student will have acquired knowledge, skills and competences that will allow him / her to:

- Know the main paradigms for decision support systems and machine learning applied to financial data.
- Know the main concepts of programming and construction of decision support systems applied to financial data.
- Be able to use and develop software for decision support and financial data analysis.
- Understand the basic types of neural networks, cost functions, the parameter optimization method, the role of hyperparameters (number of layers, number of units in each layer and the learning coefficient) and the various types of regularization.
- Be able to use software that implements neural networks to solve problems.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

- 1) *Sistemas de Apoio à Decisão (DSS) em Finanças: gráficos, caracterização e modelos com Aprendizagem Automática (ML).*
- 2) *Computação com dados financeiros: fontes de dados. Estrutura de uma base de dados para indicadores e índices financeiros (EUROSTOXX e S&P500). Algoritmos: análise técnica e fundamental. Backtesting e medidas de performance (alfa, beta e sharpe ratio).*
- 3) *Redes neuronais:*
 - a. *Conceitos básicos: tipos de redes (feedforward, convolução e recorrentes), funções de ativação e funções de custo.*
 - b. *Otimização dos parâmetros de uma rede neuronal e métodos de regularização.*
 - c. *modelos não supervisionados: Mapas Auto-Organizados (SOM).*
- 4) *DSS sobre dados financeiros. Modelos de Bachelier e Monte Carlo. Auto-correlação. Simulação e decisão com modelos da aprendizagem automática.*
- 5) *Exemplos práticos com utilização e desenvolvimento de software.*

9.4.5. Syllabus:

- 1) *Decision Support Systems (DSS) in Finance: charts, characterization and models with Machine Learning (ML).*
- 2) *Computation with financial data: data sources. Structure of a database for financial indicators and indices (EUROSTOXX and S & P500). Algorithms: technical and fundamental analysis. Backtesting and performance measures (alpha, beta and sharpe ratio).*
- 3) *Neural Networks:*
 - a. *Basic concepts: network types (feedforward, convolution and recurrent), activation and cost functions.*
 - b. *Parameter optimization and regularization.*
 - c. *non supervised learning: self-organizing maps (SOM).*
- 4) *DSS on financial data. Bachelier and Monte Carlo models. Self-similarity. Simulation and decision with machine learning models.*
- 5) *Practical examples: developing and using relevant software.*

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

A apresentação dos conceitos básicos seguida de um conjunto de exemplos que incluem implementação computacional contribui para que os conceitos sejam compreendidos e os alunos sejam capazes de utilizar os mesmos na resolução de problemas de âmbito semelhante e complexidade análoga aos exemplos que foram vistos na aula.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Concepts presentation followed by practical examples helps students understanding the concepts and being able to apply them solving problems.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

*Exposição dos conceitos e métodos seguida de exemplos e exercícios incluindo implementação computacional e utilização de dados reais.
A avaliação consistirá em 2 trabalhos práticos que serão feitos nas aulas, seguindo-se de um projecto final.*

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Concepts presentation, followed by examples and exercises, including computational implementation. We will use real data.

Assessments consists of two practical works followed by a final project.

9.4.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.
A repetida sequência de breves apresentações de conceitos seguidas de exemplos trabalhados pelos alunos contribui para a apreensão dos conceitos e desenvolve a capacidade de os alunos utilizarem os conceitos e técnicas para resolver problemas.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.
*In the classes the presentation of concepts will be interspersed with examples worked out by the students. In many cases we will be using software in the examples.
 The assessment will include a theoretical component and a practical component where the students will use software to solve a problem.*

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- *Python for Finance: Financial modeling and quantitative analysis explained. Yuxing Yan. Packt Publishing. 2017. ISBN: 978-1783284375*
- *Tutorial: Sistemas de Apoio à Decisão sobre Indicadores Financeiros, Nuno Marques*
- *Deep Learning with Python, Francois Chollet, Manning Publications Co. Greenwich, CT, USA ©2017 ISBN:1617294438 9781617294433*

Anexo II - Risco de Mercado e Risco de Crédito

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:
Risco de Mercado e Risco de Crédito

9.4.1.1. Title of curricular unit:
Market Risk and Credit Risk

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:
E

9.4.1.3. Duração:
Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:
84

9.4.1.5. Horas de contacto:
TP:28

9.4.1.6. ECTS:
3

9.4.1.7. Observações:
<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:
<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):
Joaquim Amaro Graça Pires Faia e Pina Catalão Lopes – TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:
n.a.

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):
No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitem:
 - *Compreender o aspeto multidimensional do risco de crédito (em empresas e em países) e do risco de mercado (i.e., em ativos financeiros), assim como as principais metodologias para medição destes;*
 - *Ser capaz de, em autonomia, recolher a informação necessária e calcular o risco envolvido recorrendo a diferentes medidas/perspetivas;*

- Conhecer os conceitos, tipo de informação requerido e respetivas fontes, assim como as vantagens e desvantagens das diferentes abordagens para medição dos riscos.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this course the student will have acquired knowledge, skills and competencies that allow you to :

- *Understanding the multidimensional aspect of credit risk (in companies and in countries) and market risk (i.e., in financial assets), as well as main methodologies for measuring them;*
- *Being able to, in autonomy, collect the necessary information and calculate the risk involved using different measures / perspectives;*
- *Know the concepts, type of information required and their sources, as well as the advantages and disadvantages of the different approaches to risk measurement.*

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. *Medidas de risco*
2. *Risco de crédito: previsão de default; ratings/scoring;*
3. *Stress-testing e Backtesting; Anotações sobre Acordo de Basileia*
4. *Introdução ao risco de taxa de juro*
5. *VaR*
6. *Mercados financeiros: rendimento e risco*
7. *Volatilidade e Correlação*
8. *Tópicos adicionais, incluindo asserção breve a Valores extremos*

9.4.5. Syllabus:

1. *Risk measures*
2. *Credit risk: default, rating/scoring*
3. *Stress-testing and Backtesting; Notes on Basel agreement*
4. *Introduction to Interest rate risk*
5. *VaR*
6. *Financial markets: return and risk*
7. *Volatility and Correlation*
8. *Additional topics, including a brief on Extreme values*

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

Os tópicos abordados incluem os conceitos de risco, assim como medidas e métodos que permitem a quantificação e discussão de resultados.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Topics covered include concepts of risk, as well as measures and methods that allow quantification and discussion of results.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Aulas teórico-práticas.

A avaliação é, alternativamente:

- contínua, realização de um trabalho em grupo -40% na nota final-, com enfoque em risco de crédito ou/e em risco e retorno em mercados financeiros, e um teste individual -60% na nota final-, com componentes conceptuais e aplicadas, abrangendo toda a matéria. A aprovação requer nota final mínima de 9.5 valores (não há nota mínima nos elementos de avaliação).

- Exame final sem consulta sobre toda a matéria, cuja classificação pesa 100% da nota final; a nota mínima para aprovação é 9.5 valores.

Atenção: a Melhoria de nota consiste na realização do Exame de Melhoria, sobre toda a matéria, cuja nota contará 100%.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Theory-practice lectures.

Evaluation methods are, alternatively:

- Continuous, with a group homework -40% in final grade-, with emphasis on credit risk or/and risk and return in financial markets, and an individual written midterm -60% in final grade-, with both concepts and empirical/applied components, covering the whole material. Approval requires a final grade of 9.5 values (no minimum score on items).

- Final exam without consultation on the whole material, whose grade weighs 100% of final grade, with minimum passing grade of 9.5.

Attention: "Melhoria"/improving the final grade requires the own Exam, on the whole material, which score weights 100% of the grade.

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

A natureza teórico-prática das aulas permite: i) exposição de conceitos e medidas de risco; ii) exemplificação e medição com recurso a dados (reais) e software; iii) discussão dos aspectos mais pertinentes do ponto de vista teórico e resultados obtidos na literatura e exercícios realizados. Deste modo, as aulas contribuem para sedimentar a aprendizagem, estimulando a análise crítica da literatura e aplicações.

A avaliação, por combinar conceitos e aplicações, permite o aprofundamento das noções envolvidas, sua

medição/implementação e discussão de resultados empíricos.

*Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes:
(max 3000 caracteres com espaços incluídos)*

The theoretical and practical nature of the lectures allows: i) exposure of concepts and risk measures; ii) exemplification and measurement using data (real) and software; iii) discussion of the most relevant aspects from the theoretical point of view and results obtained in the literature and exercises performed. In this way, the classes contribute to sediment learning, stimulating the critical analysis of literature and applications. The evaluation, because it has both theory and applied content, allows the deepening of the notions involved, its measurement / implementation and discussion of empirical results.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The theoretical and practical nature of the lectures allows: i) exposure of concepts and risk measures; ii) exemplification and measurement using data (real) and software; iii) discussion of the most relevant aspects from the theoretical point of view and results obtained in the literature and exercises performed. In this way, the classes contribute to sediment learning, stimulating the critical analysis of literature and applications. The evaluation, because it has both theory and applied content, allows the deepening of the notions involved, its measurement / implementation and discussion of empirical results.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Gourieroux, C. and Jasiak, J., 2007, The Econometrics of Individual Risk: Credit, Insurance, and Marketing, Princeton University Press

Duffie, D. and Singleton, K., 2003, Credit Risk: Pricing, Measurement and Management, Princeton University Press

Christoffersen, P., 2011, Elements of Financial Risk Management, Academic Press.

Danielsson, J., 2011, Financial Risk Forecasting: The Theory and Practice of Forecasting Market Risk with Implementation in R and Matlab, Wiley.

Hull, J., 2012, Risk Management and Financial Institutions, Wiley.

Crouhy, M., Galai, D. and Mark, R., 2014, The Essentials of Risk Management, McGraw-Hill.

Jorion, P., 2007, Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk, McGraw-Hill.

Hull, J., 2015, Options, Futures, and Other Derivatives, Prentice Hall.

Bodie, Z., Kane, A. and Marcus, A., 2010, Investments and Portfolio Management, McGraw-Hill.

Durante o curso poderá ser disponibilizado material adicional/ During the course additional material may be included

Anexo II - Cálculo Estocástico e Aplicações às Finanças

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Cálculo Estocástico e Aplicações às Finanças

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Stochastic Calculus and Applications to Finance

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Maria Fernanda Almeida Cipriano Salvador Marques – TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Manuel Leote Tavares Inglês Esquível – TP:28

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências em técnicas de análise estocástica utilizadas no apereçamento de ativos e derivados, e no estudo da sensibilidade dos preços relativamente aos vários parâmetros.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this course the student will have acquired knowledge and skills on the techniques of stochastic analysis used in pricing assets and derivatives, and in studying price sensitivity with respect to the parameters.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

- 1- Integral estocástico
- 2- Fórmula de Itô
- 3- Equações diferenciais estocásticas (teorema de existência e unicidade)
- 4- Resolução de equações lineares.
- 5- Propriedade de Markov da solução de uma equação diferencial estocástica.
- 6- Equações de Kolmogorov forward e backward
- 7- Teorema de Girsanov
- 8- Teorema da representação de martingalas.
- 9- Modelo de Black-Sholes
- 9.1- Medida martingala
- 9.2- Carteira réplica
- 9.3- Preço de opções Europeias
- 9.4- Equação de Black-Scholes
- 9.5- Preço de opções de barreira
- 9.6 Preço de opções Americanas
- 9.7- Preço de uma opção America como solução de um problema de fronteira livre.
- 10- Introdução ao Cálculo de Malliavin
- 10.1- Estudo da sensibilidade dos preços usando o cálculo de Malliavin

9.4.5. Syllabus:

- 1- Stochastic Integral
- 2-Itô Formula
- 3 - Stochastic differential equations (existence and uniqueness theorem)
- 4- Solving linear equations.
- 5- Markov's property of the solution of a stochastic differential equation.
- 6- Forward and backward Kolmogorov's equations
- 7- Girsanov's Theorem
- 8- Martingale representation theorem.
- 9- Black-Sholes Model
- 9.1- martingale measure
- 9.2- Replication strategy.
- 9.3- Price of European options
- 9.4- Black-Scholes Equation
- 9.5- Price of barrier options
- 9.6 Price of American options
- 9.7- Price of an America option as a solution to a free boundary problem.
- 10- Introduction to Malliavin Calculus
- 10.1- Study of price sensitivity using Malliavin's calculation

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

O objetivo desta UC é apresentar técnicas de análise estocástica, nomeadamente cálculo de Itô, resolução de equações diferenciais estocásticas lineares e cálculo de Malliavin, de forma a determinar o preço de ativos e derivados e analisar a sensibilidade dos preços. Pretende-se ainda motivar os alunos para o estudo da análise estocástica e sua aplicação na matemática financeira.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The objective of this course is to present stochastic analysis techniques, namely Itô calculus, solving linear stochastic differential equations and Malliavin calculus, in order to determine the price of assets and derivatives and analyze price sensitivity. It is also intended to motivate students to study stochastic analysis and its application in financial mathematics.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são teóricas/práticas participadas, com exposição oral dos conceitos e metodologias devidamente complementada com exemplos e resoluções de problemas. Eventuais dúvidas poderão ser esclarecidas no decurso das aulas ou em sessões individuais marcadas com os professores.

A avaliação contínua é baseada num teste, resolução de exercícios em casa, e apresentação de um trabalho. Se um aluno não obtiver aprovação através de avaliação contínua poderá vir a obtê-la num exame de recurso.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes are theoretical/practical with oral presentation of concepts, methodologies, and examples, complemented with problem solving. Specific student difficulties will be addressed during classes or in individual sessions scheduled with the professor.

Continuous assessment is based on one test, the resolution of exercises at home, and presentation of a work. If a student does not obtain approval through continuous assessment he can try it in an additional assessment.

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

A apresentação de conceitos e metodologias, apoiados com exemplos ilustrativos, pretende motivar os estudantes para a relevância dos tópicos estudados, desenvolvendo a sua capacidade de pensar na resolução de problemas provenientes dos mercados financeiros. Os alunos terão oportunidade de testar estas capacidades nas aulas, com o apoio de um professor, ou em estudo individual, comparecendo eventualmente a sessões de atendimento individual, em caso de dificuldades.

A avaliação da unidade curricular incide sobre a aquisição das competências referidas.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The presentation of concepts and methodologies, supported by illustrative examples, aims to motivate students to the relevance of the topics studied, developing their ability to think about solving problems from the financial markets. Students will have the opportunity to test these skills in class, with the support of a teacher, or in individual study, eventually attending one-on-one sessions in case of difficulties.

The assessment of the course focuses on the acquisition of the referred skills.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

I. Karatzas and S. E. Shreve: Brownian Motion and Stochastic Calculus. Springer.

Hui-Hsiung Kuo: Introduction to Stochastic Integration. Springer. 2006

Bernt Oksendal: Stochastic Differential Equations. Springer. 1998

Anexo II - Estatística Econométrica e Financeira

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Estatística Econométrica e Financeira

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Econometric and Financial Statistics

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Pedro José dos Santos Palhinhas Mota - TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Joaquim Amaro Graça Pires Faia e Pina Catalão Lopes - TP:28

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Esta UC fornece as ferramentas de matemática e de estatística econométrica que permitem tratar modelos financeiros, considerando tempo contínuo e tempo discreto.

Pretende-se assim que o aluno seja capaz de dominar os conceitos estatístico-econométricos fundamentais das séries temporais, nomeadamente os de estacionaridade e cointegração relacionados com modelos univariados ou multivariados. O aluno deve ser capaz de obter resultados quanto à relação entre as variáveis rendimento e volatilidade, e quanto à causalidade e previsão. É ainda objectivo desta UC dar a conhecer aos alunos os modelos estocásticos em tempo contínuo, nomeadamente processos de Poisson, Cadeias de Markov e modelos do tipo de Difusão que serão uteis no contexto da modelação em Matemática financeira. No final os alunos serão capazes de dominar as técnicas de estimação dos parâmetros dos modelos estudados e capazes de, com recurso a software adequado, implementar essas técnicas e interpretar os resultados obtidos.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

This UC provides the mathematical and statistical-econometric tools that allow the student to treat financial models, considering continuous time or discrete time.

It is intended that the student be able to master the fundamental statistical-econometric concepts of the time series, namely those of stationarity and cointegration related to univariate or multivariate models. The student should be able to obtain results regarding the relationship between the variables yield and volatility, and regarding causality and prediction. It is the objective of this course to make students to know a set of stochastic models in continuous time, namely Poisson processes, Markov Chains and Diffusion type models, that will be useful in the context of modelling in financial mathematics. At the end students will be able to master the parameter estimation techniques of the models studied and be able, with the use of appropriate software, to implement these techniques and interpret the results obtained.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

- 1. Regressão Linear Múltipla*
- 2. Fundamentos estatístico-econométricos*
- 3. Modelos univariados e multivariados*
- 4. Não-estacionaridade e cointegração*
- 5. Rendimento, volatilidade, causalidade, previsão e propagação de choques*
- 6. Estatística de Processos de Poisson*
- 7. Estatística de Cadeias de Markov*
- 8. Estatística das Difusões*

9.4.5. Syllabus:

- 1. Multiple Linear Regression*
- 2. Statistical-Econometric fundamentals*
- 3. Univariate and multivariate models*
- 4. Non-stationarity and cointegration*
- 5. Income and volatility, causality, forecasting and shocks propagation*
- 6. Poisson Process Statistics*
- 7. Markov Chain Statistics*
- 8. Diffusion Models Statistics*

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

No cap 1 é estudado o modelo de regressão linear múltipla e no cap 2 é introduzido um conjunto de conceitos fundamentais para o estudo de modelos matemáticos em Finança e Economia. Nos cap 3, 4 e 5 estudam-se os principais modelos de séries temporais quer unidimensionais quer multidimensionais, detalhando-se os conceitos e propriedades relevantes para esses modelos o que permite fazer uma análise de resultados e das respostas de variáveis relevantes. Nos cap. 6, 7 e 8 estudam-se as técnicas de estimação mais usuais em alguns dos processos mais relevantes em matemática financeira em tempo contínuos: o processo de Poisson que é o standard em modelação com processos de contagem; os estimadores e as metodologias de estimação em cadeias de Markov; e, por fim, os estimadores dos parâmetros dos processos de tipo difusão, Browniano geométrico, Ornstein-Uhlenbeck ou Cox, Ingersoll & Ross serão estudados e o seu cálculo implementado.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

In chapter 1 the multiple linear regression model is studied and the chapter 2 introduces a set of fundamental concepts for the study of mathematical models in Finance and Economics. In the chapter 3, the unidimensional and multidimensional time series models are studied, and in chapters 4 and 5 the relevant concepts and properties for these models are detailed, allowing the analysis of results and of responses for relevant variables. Chapters 6, 7, and 8 introduce and study the most common estimation techniques in some of the most relevant processes in continuous time financial mathematics: Poisson processes that are the standard in counting process modelling; estimators and estimation methodologies in Markov chains; and, finally, the estimators for parameters of diffusion-type processes, namely geometric Brownian, Ornstein-Uhlenbeck or Cox, Ingersoll & Ross.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A metodologia é a clássica em Matemática no ensino superior. Exposição, exercícios e problemas, trabalhos práticos para aplicação a dados reais. Os conteúdos são apresentados e discutidos, procurando-se dar relevo às ideias, e técnicas, mais relevantes. Há materiais de estudo: livro de texto, notas de aula com exercícios alguns resolvidos e lista de questões teóricas que indicam claramente o que o aluno deve ter como objetivos de aprendizagem.

Será feito, com recurso a software adequado, a implementação de algoritmos e a programação de fórmulas que permitam calibrar os diferentes modelos estudados com dados reais.

Há avaliação contínua. Esta compõe-se de 2 momentos de avaliação, testes e/ou trabalhos escritos. A classificação final corresponde à média aritmética destas avaliações. Para quem não obtenha a aprovação com a avaliação contínua há exame global.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The classical methodology used in Mathematics at the university level. The contents are presented and discussed trying to stress the most important ideas and practical procedures. There are study materials: text-books, class notes with problems, some with solutions and a list of questions indicating exactly what the student has to know. With the use of appropriate software, the implementation of algorithms and programming will be made to calibrate the different models under study to real data.

There is a continuous assessment in the course. It is composed of 2 moments, either tests or written reports; the continuous assessment grade is the average of both results. For those who fail there is still the possibility of a global exam.

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

O regime de aulas teórico prático permite a exposição simultânea dos conceitos teóricos e aplicações, sendo que os conteúdos têm apoio consistente com os textos de apoio e exercícios disponibilizados.

Há um Horário de Atendimento semanal disponível para auxiliar o trabalho individual do aluno e a avaliação contínua da aprendizagem é consequente com as metodologias de ensino numa população de reduzido número de alunos que é possível conhecer individualmente.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The theoretical-practical classes allow the simultaneous exposition of the theoretical concepts and applications, and the contents have consistent support with the available text books and exercises.

There is a weekly office hours schedule to support the individual work of the student and the continuous assessment of learning is consistent with the teaching methodologies in a population of small numbers that can be met individually.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- Brockwell, P.J. and Davis, R.A., *Time Series: theory and methods*. Springer, 1991.
- Brooks, C., *Introductory Econometrics for Finance*, Cambridge University Press, 2008.
- Campbell, J., Lo, A. and MacKinlay, A., *The Econometrics of Financial Markets*, Princeton University, 1997.
- Carmona, R. *Statistical Analysis of Financial Data in R. Second Edition*. Springer, 2014.
- Durrett, R., *Essential of Stochastic Processes*. Springer, 2012.
- Prakasa Rao, B.L.S., *Statistical Inference for Diffusion Type Processes*. Arnold, London and Oxford University press, New York, 1999.

Anexo II - Seminário Em Matemática Financeira Computacional**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Seminário Em Matemática Financeira Computacional

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Computational Financial Mathematics Seminar

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

84

9.4.1.5. Horas de contacto:

S:28

9.4.1.6. ECTS:

3

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):*Marta Cristina Faias Mateus - TP:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***n.a.***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***Aquisição das competências relativas à comunicação de informação científica complexa destinada a audiências com variados níveis de preparação técnica. Contacto com possíveis supervisores para as dissertações em ambiente empresarial.***9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:***Acquisition of know how needed for the communication of scientific and technical information aiming at publics with different levels of preparedness. Contacts with possible supervisors for dissertations in the enterprise chosen for that purpose.***9.4.5. Conteúdos programáticos:***A ser definido pelos oradores sobre os temas dos cursos de mestrado.***9.4.5. Syllabus:***To be defined by the presenters within the topics of the courses of the master's degree.***9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular***Não aplicável***9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.***Not applicable***9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):***Apresentações por profissionais da Banca, Seguradoras, Corretoras, Consultoras, etc de temas e de possíveis problemas merecendo análise e eventual aprofundamento no contexto de dissertações de mestrado. Os alunos, eventualmente agrupados, elaborarão um pequeno relatório sobre o enquadramento do problema no âmbito dos estudos de mestrado já efetuados. O relatório conterá uma revisão bibliográfica inicial, a contextualização do problema no âmbito dos estudos efetuados e planos de trabalho devidamente justificados para eventuais dissertações sobre o tema. Os relatórios serão apresentados e discutidos.***9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):***Invited presentations will be arranged, by technical collaborators of banks, insurers, brokers consulting firms, etc on subjects relevant for the themes of possible master's degree dissertation. The students, possibly in groups will provide small reports on the contextualization in the subjects already studied. The report will contain some bibliographic references, the current status of the problem described in the context of the studies of the course and work plans, duly justified, for possible dissertations.***9.4.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.***À semelhança do que acontece noutras unidades curriculares do mesmo tipo, lecionadas no curso de mestrado e na licenciatura, as metodologias são coerentes dado que os alunos que participem integralmente nas atividades propostas obterão a aprovação podendo-se comprovar que adquiriram os conhecimentos e as competências previstas.***9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.***The methodologies are coherent as all the students that fully participate in the proposed activities get a pass mark. Moreover, the written exams clearly show that these students acquired the knowledge and know how they were*

supposed to.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

A bibliografia será indicada para convenientemente cobrir o assunto respeitante ao tópico selecionado por cada aluno para desenvolver na UC.

Anexo II - Estágio com relatório em Matemática e Aplicações - ramo Matemática Financeira Computacional

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Estágio com relatório em Matemática e Aplicações - ramo Matemática Financeira Computacional

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Internship Report

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Anual / Annual

9.4.1.4. Horas de trabalho:

1680

9.4.1.5. Horas de contacto:

OT:56

9.4.1.6. ECTS:

60

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes - OT:56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Qualquer docente do Mestrado em Matemática e Aplicações - OT:56

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Preparação de um relatório sobre um tema de Matemática Financeira Computacional desenvolvido durante o estágio realizado numa empresa. O tema não necessita consistir de um problema científico em aberto, contudo, o seu tratamento e/ou apresentação devem conter originalidade.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Preparation of a report under a subject related to Computational Finance Mathematics developed during a company internship. The subject is not required to be an unsolved scientific problem, however, its approach and/or presentation must present novelty.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

O programa do relatório depende do assunto específico escolhido para o estágio.

9.4.5. Syllabus:

The report plan depends on the specific subject of the internship.

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

A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência do programa de trabalho acordado entre o orientador científico, o orientador da empresa e o estudante. O referido programa de trabalho deverá obedecer aos objetivos apresentados em "Objetivos de Aprendizagem".

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the scientific plan accorded among the scientific and company supervisors, and the student. Such plan must agree with the goals required in "Objetivos de Aprendizagem".

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Orientação, de acordo com o tema proposto pelos orientadores científico e da empresa e aceite pelo estudante. No final, o relatório é discutido/avaliado por um júri.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Supervision, according to the subject proposed by the scientific and company supervisors, and accepted by the student. At the end the report is discussed/evaluated by a jury.

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

A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência das metodologias de ensino.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the methods.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

*A bibliografia depende do assunto específico escolhido para o estágio.
The bibliography depends on the specific subject chosen for the internship.*

Anexo II - Dissertação em Matemática Financeira Computacional - ramo Matemática Financeira Computacional**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Dissertação em Matemática Financeira Computacional - ramo Matemática Financeira Computacional

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Dissertation

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Anual / Annual

9.4.1.4. Horas de trabalho:

1680

9.4.1.5. Horas de contacto:

OT:56

9.4.1.6. ECTS:

60

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes - OT:56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Qualquer docente do Mestrado em Matemática e Aplicações - OT:56

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Preparação de uma dissertação sobre um tema de Matemática Financeira Computacional. O tema não necessita consistir de um problema científico em aberto, contudo, o seu tratamento e/ou apresentação devem conter originalidade.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Preparation of a monography under a subject related to Computational Finance Mathematics. The subject is not required to be an unsolved scientific problem, however, its approach and/or presentation must present novelty.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

O programa da dissertação depende do assunto específico escolhido para a Dissertação.

9.4.5. Syllabus:

The dissertation plan depends on the specific subject of the Dissertation.

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

A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência do programa de trabalho acordado entre o orientador e o estudante. O referido programa de trabalho deverá obedecer aos objetivos apresentados em "Objetivos de Aprendizagem".

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the scientific plan accorded between the supervisor and the student. Such plan must agree with the goals required in "Objetivos de Aprendizagem".

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Orientação da dissertação, de acordo com o tema proposto pelo orientador e aceite pelo estudante. No final a dissertação é discutida/avaliada por um júri.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Supervision of the dissertation, according to the subject proposed by the supervisor and accepted by the student. At the end the dissertation is discussed/evaluated by a jury.

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

A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência das metodologias de ensino.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the methods.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

A bibliografia depende do assunto específico escolhido para a Dissertação.

Anexo II - Álgebra Geral**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:***Álgebra Geral***9.4.1.1. Title of curricular unit:***General Algebra***9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:***M***9.4.1.3. Duração:***Semestre / Semester***9.4.1.4. Horas de trabalho:***252***9.4.1.5. Horas de contacto:***TP:56***9.4.1.6. ECTS:***9***9.4.1.7. Observações:***<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***João Jorge Ribeiro Soares Gonçalves de Araújo – TP:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Ana Cristina Malheiro Casimiro – TP:14**Gonçalo Jorge Trigo Neri Tabuada – TP:14***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:*

- Entender os aspectos fundamentais de ordens e reticulados;
- Entender os aspectos fundamentais da Álgebra Comutativa;
- Entender os aspectos fundamentais da Teoria das Categorias.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:*At the end of this course the student must have acquired knowledge, skills and powers to:*

- Understand the fundamentals of orders and lattices;
- Understand the fundamentals of Commutative Algebra;
- Understand the fundamentals of Category Theory.

9.4.5. Conteúdos programáticos:*I.Ordens, reticulados e estruturas Algébricas: conjuntos ordenados; reticulados e reticulados completos; reticulados modulares, distributivos e Booleanos.**II.Introdução à Álgebra Comutativa: Ideais primos e ideais maximais; Nilradical e radical de Jacobson; Operações com ideais; Anéis e módulos de fracções; Decomposição primária.**III.Elementos da Teoria das Categorias: Definições e exemplos de categorias; Functores e transformações naturais; Equivalência de categorias; Produtos e co-produtos; Os functores Hom; Functores representáveis.***9.4.5. Syllabus:***I. Order, lattices, ordered algebraic structures: ordered sets; lattices and complete lattices; modular, distributive and Boolean lattices.**II. Introduction to Commutative Algebra: Prime ideals and maximal ideals; Nilradical and Jacobson radical; Operations on ideals; Rings and modules of fractions; Primary decomposition.*

III. Elements of Category Theory: Definition and examples of categories; Functors and natural transformations; Equivalence of categories; Products and coproducts; The Hom functors; Representable functors.

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

O capítulo 1 é dedicado às noções de ordens e reticulados. Abrange o primeiro objectivo.

O capítulo 2 é dedicado a uma introdução à Álgebra Comutativa. Abrange o segundo objectivo.

O capítulo 3 é dedicado aos elementos da Teoria das Categorias. Abrange o terceiro objectivo.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Chapter 1 is devoted to the notions of orders and lattices. Covers the first objective.

Chapter 2 is devoted to an introduction to Commutative Algebra. Covers the second objective.

Chapter 3 is devoted to elements of Category Theory. Covers the third objective.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são teórico-práticas e consistem na exposição da teoria, que é ilustrada com exemplos de aplicação, e na resolução de exercícios.

Quaisquer dúvidas são esclarecidas no decorrer das aulas, nas sessões semanais destinadas ao atendimento dos estudantes ou ainda em sessões combinadas diretamente entre aluno e professor.

O estudante pode realizar a disciplina por avaliação contínua que consiste na realização de dois testes. Em caso de insucesso, o estudante pode ainda apresentar-se a exame.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes consist on an oral explanation of the theory which is illustrated by examples and the resolution of some exercises.

Students can ask questions during the classes, in weekly scheduled sessions or in special sessions accorded directly with the professor.

There are two mid-term tests that can substitute the final exam in case of approval. Otherwise the student must pass the final exam.

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

As aulas são teórico-práticas e consistem na exposição da teoria, que é ilustrada com exemplos de aplicação, e na resolução de exercícios.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Classes consist on an oral explanation of the theory which is illustrated by examples and the resolution of some exercises.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

1. B. A. Davey and H. A. Priestley, Introduction to Lattices and Order, 2nd Edition, Cambridge University Press, 2002.

2. Atiyah and MacDonald, Introduction to Commutative Algebra, Addison Wesley Publishing, 1994.

3. Hoffman, Jia and Wang, Commutative Algebra: An Introduction, Mercury Learning & Information, 2016.

4. S. Mac Lane, Categories for the Working Mathematician (Graduate Texts in Mathematics 5) (second ed.), Springer, Berlin (1998).

5. Tom Leinster, Basic Category Theory, Cambridge Studies in Advanced Mathematics, 2014.

Anexo II - Análise Funcional

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Análise Funcional

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Functional Analysis

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

252

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

9

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):*Oleksiy Karlovych - TP:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Cláudio António Rainha Aires Fernandes - TP:14**Elvira Júlia Conceição Matias Coimbra - TP:14***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta unidade curricular, o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:**-Conhecer e utilizar fluentemente as propriedades, resultados e procedimentos elementares da análise funcional linear em espaços de Banach;**-Saber aplicar os teoremas da aplicação aberta e do gráfico fechado, de Banach-Steinhaus e de Hahn-Banach.***9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:***By the end of this course, the student should have acquired knowledge, skills and competences in order to:**-Use fluently the elementary properties, results and procedures of functional analysis in Banach spaces;**-Apply the open mapping and the closed graph theorems, the Banach-Steinhaus and Hahn-Banach theorems.***9.4.5. Conteúdos programáticos:***1. Espaços normados: Exemplos de espaços normados. Espaços normados de dimensão finita. Espaços de Banach. Espaços separáveis. Separabilidade dos espaços $C[a,b]$ e de $L_p[a,b]$.**2. Espaços de Hilbert: Produtos internos. Desigualdade de Bessel e igualdade de Parseval. Ortogonalidade.**Complementos ortogonais. Bases ortonormais em dimensão infinita. Espaços de Hilbert separáveis. Séries de Fourier.**3. Operadores lineares: A norma de um operador linear limitado. O espaço dos operadores lineares limitados. Teorema de Baire. Teorema da aplicação aberta e do gráfico fechado. Inversos de operadores. Teorema do isomorfismo de Banach. Princípio da limitação uniforme. Teorema de Banach-Steinhaus.**4. Dualidade e o teorema de Hahn-Banach: O espaço dual. Funcionais sublineares e seminormas. Teorema de Hahn-Banach em espaços normados. Teorema de Hahn-Banach geral. O espaço bidual. Espaços reflexivos e operadores duais. Projeções e subespaços complementares. Convergência fraca e fraca*.***9.4.5. Syllabus:***1. Normed spaces: Examples of normed spaces. Finite dimensional normed spaces. Banach spaces. Separable spaces. Separability of spaces $C[a,b]$ and $L_p[a,b]$.**2. Hilbert spaces. Internal products. Bessel's inequality and Parseval's identity. Orthogonality. Orthogonal complements. Orthonormal bases in infinity dimensions. Separable Hilbert spaces. Fourier series.**3. Linear operators: Norm of a bounded linear operator. The space of bounded linear operators. Baire's theorem. The open mapping and closed graph theorems. Invertible operators. Banach's isomorphism theorem. The uniform boundedness principle. Banach-Steinhaus' theorem.**4. Duality and the Hahn-Banach theorem: The dual space. Sublinear functionals and seminorms. The Hahn-Banach theorem in normed spaces. The general Hahn-Banach theorem. The bidual space. Reflexive spaces and dual operators. Projections and complemented subspaces. Weak and weak-* convergence.***9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular***O Programa contempla todos os itens referidos nos objetivos de aprendizagem. Em particular, as fichas de exercícios, apontamentos teóricos e outro material fornecido aos alunos foram construídos por forma a que os alunos possam desenvolver de forma equilibrada todos os conhecimentos e capacidades necessárias ao bom cumprimento desses objetivos. A equipa docente seguirá de perto os progressos e dificuldades dos alunos.***9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.***The Program specifically addresses all the items mentioned in the "learning goals" section. In particular, all the exercise sheets, theoretical notes and other documents given to the students have been constructed in order to allow them to attain, in a precise way, those goals. The professors of this course will monitor the progress and difficulties of the students.*

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas teórico-práticas consistem na exposição dos conteúdos da disciplina, ilustrada com exemplos de aplicação. Durante estas aulas, os alunos serão chamados a resolver exercícios e a elaborar demonstrações de alguns dos resultados apresentados. Quaisquer dúvidas são esclarecidas no decorrer das aulas ou nas sessões destinadas a atendimento de alunos ou ainda em sessões combinadas diretamente entre aluno e professor. Os alunos poderão obter aprovação à disciplina por avaliação contínua. Em alternativa, poderão submeter-se a um exame final que engloba todos os conteúdos da disciplina.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

During the Theoretical-Practical classes, the different contents of this course will be exposed. Students will be asked to solve exercises and elaborate proofs of some of the different results presented. Any questions or doubts will be addressed during the classes, during the weekly sessions specially programmed to this effect or even at special sessions previously arranged between professors and students. The students may obtain approval in this course during continuous evaluation. Also, they may present themselves to a final exam that will test all the learning goals of this course.

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

As componentes necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são ministradas em sessões teórico-práticas, com o apoio adicional do docente em horários de atendimento, caso seja necessário. A aquisição destes conhecimentos é avaliada por análise de tarefas que os alunos devem elaborar e em eventuais provas escritas (testes/exames). As componentes práticas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são desenvolvidas em todas as formas de horas de contacto: através da exposição e discussão dos conceitos fundamentais da disciplina e através da resolução de problemas com apoio do docente.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The components needed to attain the learning goals are given in theoretical and practical sessions, with the additional help of the teacher in practical sessions, if needed. The acquisition of facts and skills is assessed in the form of duties that the students must perform and eventually on written exams. The practical components needed to achieve the learning goals are given through the exposition and discussion of the key concepts of this course and, in the practical sessions, through problem solving with the help of the professor.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

*B. Rynne, M. Youngson, Análise Funcional Linear, IST Press, 2011.
B. Rynne, M. Youngson, Linear Functional Analysis, 2nd ed., Springer, 2007.
H. Brezis, Functional Analysis, Sobolev Spaces, and Partial Differential Equations. Springer, 2010.
W. Rudin, Functional Analysis. MacGraw-Hill, 2nd edition, 1991.
G.F. Simmons, Introduction to Topology and Modern Analysis, McGraw-Hill, 1963.*

Anexo II - Computabilidade e Complexidade**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Computabilidade e Complexidade

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Computability and Complexity

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:*<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Isabel Oitavem – TP:56***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***n.a.***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***Pretende-se que os alunos se familiarizem com modelos de computação e com classes de complexidade computacional como P, NP, Pspace,... Neste âmbito pretende-se que os alunos desenvolvam competências que lhes permitam compreender não só os principais resultados envolvendo estas classes de complexidade, mas também vários problemas em aberto nesta área.***9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:***At the end of this course the students are expected to be familiar with models of computation and with complexity classes like P, NP, Pspace,... The students should develop skills that enable them to understand not only the main results, but also the most important open problems in the area.***9.4.5. Conteúdos programáticos:**

- 1- Introdução à teoria da computação;
- 2- Indecidibilidade;
- 3- Introdução à complexidade;
- 4- Resultados elementares de teoria da complexidade;
- 5- Não determinismo e NP-completude;
- 6- Complexidade relativa;
- 7- Classes de complexidade probabilísticas.

9.4.5. Syllabus:

- 1- Introduction to computability;
- 2- Undecidability;
- 3- Introduction to complexity theory;
- 4- Basic results of complexity theory;
- 5- Nondeterminism and NP-completeness;
- 6- Relative complexity;
- 7- Probabilistic classes of complexity.

9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular*O programa introduz, um por um, os conceitos que compõem os objetivos desta unidade curricular.***9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.***The programme of this lecture introduces, one after the other, the concepts which build the objectives of the course.***9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):***Métodos habituais de ensino universitário em Matemática com uma forte componente de participação ativa do aluno (seminário).
Avaliação baseada nos seminários, respetivo relatório e prova oral (opcional).***9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):***Usual university-style Math teaching with an active participation of the student (seminar).
Evaluation based on the seminar, report, and oral examination (optional).***9.4.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.***As componentes teóricas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são ministrados nas aulas e o aluno mostra a sua independência na aprendizagem num seminário com a elaboração de um relatório final. Provas orais servem para a defesa de nota sempre que tal se considere necessário.***9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.***The necessary theoretical components to reach the objectives of the learning are given in the classes and the student shows the independence of learning in a seminar together with the elaboration of a final report. Oral exams serve to defend a grade in appropriated cases.***9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:**

Steven Homer and Alan Selman, *Computability and Complexity Theory*, Springer, 2011.

Anexo II - Equações com Derivadas Parciais

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Equações com Derivadas Parciais

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Partial Differential Equations

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Luís Manuel Trabucho de Campos - TP: 56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

n.a.

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam conhecer as principais técnicas de resolução de equações com derivadas parciais e compreender a análise matemática subjacente.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this curricular unit the student will have acquired knowledge and skills that will enable him to know the main techniques in partial differential equations and to understand the underlying mathematical analysis.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

- 1. Introdução à teoria das distribuições. Distribuições regulares e singulares. Derivada distribucional.*
- 2. Espaços L^p . Espaços de Hilbert H^m e H^m_0 .*
- 3. Teorema de Hahn-Banach. Desigualdade de Poincaré.*
- 4. Formulação variacional de um problema elíptico.*
- 5. Teorema de Lax-Milgram. Teorema de Riesz.*
- 6. Espaços de expoente fraccionário e de expoente negativo.*
- 7. Fórmulas de Green. Teoremas do traço.*
- 8. Aplicações.*

9.4.5. Syllabus:

- 1. Introduction to Distribution Theory. Regular and Singular Distributions. Distributional Derivative.*
- 2. Spaces L^p . Hilbert spaces H^m and H^m_0 .*
- 3. Hahn-Banach Theorem. Poincaré inequality.*
- 4. Variational Formulation of an elliptic problem.*
- 5. Lax-Milgram theorem. Riesz theorem.*
- 6. Fractional and negative exponent spaces.*

7. Green formulas. Trace theorems.

8. Applications.

9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular
O alinhamento estabelecido nos conteúdos programáticos contribuem coerentemente para atingir os objetivos estabelecidos.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The topics listed in the syllabus coherently provide to achieve the established learning objectives.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são teóricas/práticas com exposição oral dos conceitos e resultados que são acompanhados das respetivas demonstrações. É sugerida uma lista de exercícios para serem trabalhados autonomamente. Eventuais dúvidas poderão ser esclarecidas no decurso das aulas ou em sessões individuais marcadas com os professores. Os alunos necessitam de assistir a um mínimo de 2/3 das aulas teóricas/práticas lecionadas para se submeterem a avaliação. A avaliação contínua é baseada em dois testes e em trabalhos para casa. Se um aluno não obtiver aprovação através de avaliação contínua poderá vir a obtê-la num exame de recurso.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes are theoretical/practical with oral presentation of concepts and results together with their proofs and complemented with examples and applications. A list of exercises is provided to the students to be solved independently. Specific student difficulties will be addressed during classes or in individual sessions scheduled with the professor.

Students need to attend a minimum of two thirds of the classes in order to be evaluated. Continuous evaluation is based on two tests and homework. If a student does not obtain approval through continuous evaluation, he can try it in an additional assessment.

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

A exposição oral suportada por exemplos e a discussão dos conteúdos programáticos permitem ao estudante conhecer e compreender os métodos fundamentais em equações com derivadas parciais. Os problemas propostos são uma forma de testar e consolidar os conhecimentos adquiridos.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The oral presentation supported by examples as well as the discussions on the syllabus enables the student to know and understand the fundamental methods in partial differential equations. The suggested problems allows to test and consolidate the acquired knowledges.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

A. Adams, Sobolev Spaces, Academic Press, New York, 1975.

R. ADAMS and J.J.F. Fournier. Sobolev Spaces. Elsevier, Oxford, second edition, 2003.

H. BREZIS, Analyse fonctionnelle : theorie et applications (Masson, Paris), 1983.

G. Friedlander and M. Joshi. Introduction to the theory of distributions. Cambridge University Press, New York, second edition, 1998.

G. Hormann. Analysis (Lecture notes, University of Vienna). available electronically at <http://www.mat.univie.ac.at/gue/material.html>, 2008-09.

A. Kufner, O. John, and S. Fucik, Function Spaces, Noordhoff Int. Publishing, Prague, 1977.

K. Yosida, Functional Analysis, Springer-Verlag, Berlin, 1980.

Anexo II - Lógica

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Lógica

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Logic

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:*TP:56***9.4.1.6. ECTS:**

6

9.4.1.7. Observações:*<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Reinhard Kahle – TP: 56***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***n.a.***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta UC os alunos deverão compreender a dualidade sintaxe/semântica, assim como o teorema da completude para a lógica de primeira ordem e uma compreensão básica dos teoremas de Gödel.***9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:***At the end of this course it is expected that the students understand the duality syntax/semantics, the completeness theorem for first order logic, and to understand at a basic level Gödel's theorems.***9.4.5. Conteúdos programáticos:**

1. *Cálculo proposicional e de predicados*
2. *Teoremas de compacidade e completude*
3. *Aritmética de Peano*
4. *Teoremas de Gödel*

9.4.5. Syllabus:

1. *Propositional and Predicate Calculus*
2. *Compactness and Completeness theorems*
3. *Peano Arithmetic*
4. *Gödel's theorems*

9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular*O programa da UC fornece os fundamentos técnicos para atingir os objetivos.***9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.***The programme of the course comprises the technical foundations to reach the objectives.***9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):**

Métodos habituais de ensino universitário da Matemática com uma forte componente de participação ativa do aluno (seminário).
Seminário + Relatório + Prova oral (opcional): 100%

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Usual university-style Math teaching with an active participation of the student (seminar).
Seminar + Report + Oral examination (optional): 100%

9.4.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.*As componentes teóricas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são ministrados nas aulas e o aluno mostra a sua independência na aprendizagem num seminário com elaboração de um relatório final. Provas orais servem para a defesa de nota nos casos em que faça sentido.***9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.***The necessary theoretical components to reach the objectives of the learning are given in the classes and the student shows the independence of learning in a seminar together with the elaboration of a final report. Oral exams serve to defend a grade in appropriated cases.*

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

R. Cori and D. Lascar, Mathematical Logic, Part I and Part II, Oxford University Press, 2000.

J. Barwise. An introduction to first-order logic. In J. Barwise, editor, Handbook of Mathematical Logic, pp. 5-46. North-Holland, 1977.

Anexo II - Cálculo das Variações**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Cálculo das Variações

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Calculus of Variations

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

José Maria Nunes de Almeida Gonçalves Gomes – TP: 28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Ana Margarida Fernandes Ribeiro – TP: 28

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Pretende-se que o aluno adquira o conhecimento do conteúdo programático da disciplina. Espera-se, em particular que o aluno consiga:

- 1) Deduzir a equação (ou sistema de equações) de Euler-Lagrange associado a um integral variacional regular.*
- 2) Garantir a existência e unicidade de solução para um problema variacional através da resolução explícita da equação de Euler-Lagrange e do estudo da convexidade do integral variacional.*
- 3) Deduzir a equação de Euler-Lagrange associada a um problema de extremos condicionados e exibir soluções explícitas.*
- 4) Conhecer as propriedades fundamentais da topologia fraca e a sua relevância no contexto do Cálculo das Variações.*
- 5) Garantir a existência de solução para problemas variacionais envolvendo integrais variacionais semi-contínuos inferiormente em $H^1(I)$ e coercivos.*
- 6) Estudar a existência de soluções para problemas de extremos condicionados em $H^1(I)$.*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

The student is expected to have a clear understanding of the theoretical contents of the curricular unit. In particular, at the end of the semester, the student should be able to:

- 1) Deduce the Euler-Lagrange Equation (or system of equations) for a regular variational integral.*
- 2) To insure existence and uniqueness of extremals for a variational integral by explicitly solving the Euler-Lagrange and using convexity arguments.*

- 3) To deduce the Euler-Lagrangian equation of a constrained minimization problem and find some of its extremals.
- 4) To know basic properties of the weak topology as well as its relevance in the context of variational methods.
- 5) To insure the existence of solutions for variational problems involving lower semi-continuous, coercive, variational integrals in $H^1(I)$.
- 6) To study the existence of solutions to constrained variational problems in $H^1(I)$.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1) Métodos Clássicos:

Noções fundamentais em métodos clássicos do Cálculo das Variações: Extremal fraco de um integral variacional, equação de Euler-Lagrange, propriedades dos integrais variacionais convexos, geodésicas e extremais condicionados, Transformada de Legendre e Problema de Hamilton Jacobi. Exemplos históricos.

2) Métodos Directos

Tópicos de Análise Funcional: Teorema de Hahn-Banach (versão analítica e geométrica), Teorema de Banach-Steinhaus, topologia fraca de um espaço de Banach, Teorema de Ascoli, teoria básica de espaços de Hilbert, derivada fraca, o espaço de Sobolev $H^1([a,b])$.

Aplicações: existência de mínimo para integrais variacionais coercivos e semi-contínuos inferiormente em $H^1([a,b])$. Desenvolvimento em Série de Fourier de uma função em $L^2([a,b])$.

9.4.5. Syllabus:

1) Classical methods:

Fundamental notions: weak extremal of a variational integral, Euler-Lagrange equation, convex variational integrals, geodesics and constrained minima, Legendre transform and Hamilton-Jacobi problem. Historical examples.

2) Direct methods

Topics in Functional Analysis: Hahn-Banach Theorem (analytic and geometrical version), Banach-Steinhaus Theorem, weak topology in Banach spaces, Ascoli theorem, basic Hilbert space theory, weak derivative, the Sobolev space $H^1([a,b])$.

Applied results: existence of minima for coercive, lower semi-continuous variational integrals on $H^1([a,b])$. Fourier series of an $L^2([a,b])$ function.

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

A coerência do conteúdo programático com os objetivos da unidade curricular é estabelecida:

- 1) através de aplicações dos conhecimentos adquiridos a exemplos físicos;
- 2) pelo tratamento, a título de exercício, de questões teóricas que, posteriormente, serão integradas no corpo da teoria leccionada.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The consistency of the content of this curricular unit is established:

- 1) by its applications to physical examples;
- 2) By the treatment, as exercises, of theoretical issues that, at a further level, are integrated as part of the theoretical corpus of knowledge.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

O método de ensino consiste na exposição da matéria pelo docente, com esclarecimento de dúvidas ou questões levantadas pelos alunos, e pela resolução de problemas pelos alunos, sob a orientação do docente. A avaliação é ponderada com base nos exercícios e apresentações de resultados realizados pelos alunos e com base no resultado obtido em exame final de duas horas.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The teaching method consists in lectures complemented by solving problems sessions. The evaluation is based upon on the regular work provided by the student (including exercises and brief expositions) and by the grad of a two hours final exam.

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

A metodologia de ensino pode considerar-se como intermédia entre as metodologias clássicas de ensino em licenciatura e o método de ensino em pós-graduação, numa clara aposta e valorização da autonomia do aluno.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching method is intermediate between classical undergraduate teaching methods and the more autonomous postgraduate teaching methods. Student's autonomy is strongly encouraged and valued.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:*Textos de referência principais:**Analyse Fonctionelle, Brézis H.**One-dimensional Variational Problems (An introduction). Butazzo G., Giaquinta M. and Hildebrandt S.**Methods of Mathematical Physics, Courant R. and Hilbert D. (Vol. 1)**Introduction to the Calculus of Variations, Dacorogna B.**Elliptic Partial Equations of Second Order, Gilbarg D. and Trudinger N.**Texto de apoio disponibilizado aos alunos:**Uma Introdução ao Cálculo das Variações e à Análise Funcional, Gomes J.M.**Para aspectos particulares de Teoria da Medida:**Measure Theory and Fine properties of functions, Evans L. and Gariepy R..**Outros textos:**C. Fox — An Introduction to the Calculus of Variations, Dover, 1987**Gelfand, Fomin — Calculus of Variations, Dover, 2000**Sagan — Introduction to the Calculus of variations, McGraw-Hill, 1969***Anexo II - Semigrupos, Autómatos e Linguagens****9.4.1.1. Designação da unidade curricular:***Semigrupos, Autómatos e Linguagens***9.4.1.1. Title of curricular unit:***Semigroups, Automata and Languages***9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:***M***9.4.1.3. Duração:***Semestre / Semester***9.4.1.4. Horas de trabalho:***168***9.4.1.5. Horas de contacto:***TP:56***9.4.1.6. ECTS:***6***9.4.1.7. Observações:***<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Vítor Hugo Fernandes – TP: 56***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***n.a.***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):**

Fornecer uma introdução básica à Teoria dos Semigrupos, efetuar um estudo elementar, matematicamente rigoroso, de alguns tópicos da Teoria da Computação, nomeadamente dos Autómatos Finitos e das Linguagens Regulares, e ainda estabelecer as pontes que interligam estas duas áreas do conhecimento.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Provide a basic introduction to the Theory of Semigroups, make an elementary study, mathematically rigorous, of some topics of the Theory of Computation, in particular of Finite Automata and Regular Languages, and also providing the bridges that connect these two areas of knowledge.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. *Generalidades*
2. *Relações de Green*
3. *Semigrupos regulares, incluindo semigrupos 0-simples e a teorema de Rees-Suschkewitsch*
4. *Semigrupos inversos: uma breve introdução*
5. *Linguagens. Linguagens Racionais e Autómatos Finitos*
6. *Gramáticas: uma breve introdução. Gramáticas Regulares*
7. *Monóide de Transições e Monóide Sintático*
8. *Pseudovariiedades de semigrupos e de variedades de linguagens racionais: uma breve introdução*

9.4.5. Syllabus:

1. *Basics*
2. *Green's Relations*
3. *Regular semigroups, including 0-simple semigroups and the Rees-Suschkewitsch Theorem*
4. *Inverse Semigroups: an introduction*
5. *Languages. Rational languages and finite automata*
6. *Grammars: a brief introduction. Regular grammars*
7. *Transition monoid and syntactic monoid*
8. *Pseudovarieties of semigroups and varieties of rational languages: a brief introduction*

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

O programa contempla todos os aspetos referidos nos objetivos de aprendizagem: o primeiro (relativo à Teoria de Semigrupos) nos capítulos 1-4, o segundo (relativo à Teoria da Computação) nos capítulos 5 e 6 e, por fim, o terceiro (relativo à interligação) nos capítulos 7 e 8. A bibliografia recomendada abrange todos os itens do programa, permitindo que os alunos possam, com o apoio do professor, desenvolver de forma equilibrada todos os conhecimentos e capacidades necessárias ao bom cumprimento dos objetivos.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The program covers all the aspects mentioned in the learning objectives: the first (on the Theory of Semigroups) in chapters 1-4, the second (on the Theory of Computation) in chapters 5 and 6, and finally, the third (on the interconnection) in chapters 7 and 8. The recommended bibliography covers all items of the program, allowing students, with teacher support, to develop in a balanced way all the knowledge and skills necessary for the proper fulfillment of the objectives.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Aulas teórico-práticas participadas, com exposição oral de matéria e resolução de problemas. No caso de o número de alunos ser inferior a 5, as aulas serão em regime tutorial. O aluno prepara o conteúdo de cada capítulo seguindo a bibliografia específica indicada para tal e resolve exercícios. Nas sessões de contacto serão discutidas questões sobre a matéria estudada, esclarecidas dúvidas e corrigidos os exercícios. Avaliação contínua: 3 grupos de problemas para resolver (cada grupo é 1/3 da nota final).

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes consist of oral explanation of the theory and of solving problems. If the number of students is less than 5, classes will be tutorial. The student prepares the contents of each chapter using the specific bibliography indicated and solves related problems. Continuous evaluation: 3 sets of problems to answer (each 1/3 of the final grade).

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

As componentes teóricas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são ministradas em sessões teóricas, com o apoio adicional dos horários de atendimento. A aquisição destes conhecimentos é avaliada nas provas escritas (testes/exames) ou orais (exames/exposições). As componentes práticas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são desenvolvidas em todas as formas de horas de contacto: nas sessões teóricas através da exposição e de discussão dos conceitos fundamentais da disciplina e nas sessões práticas, com o apoio adicional dos horários de atendimento, através da resolução de problemas com apoio do docente.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The theoretical components necessary to achieve the learning objectives are taught in lecture sessions, with additional support of tutorial sessions. The acquisition of knowledge is assessed with written (tests/exams) or oral (examinations/seminars) evaluations. The practical components necessary to achieve the learning objectives are

developed in all forms of contact hours: the theoretical sessions through exposure and and discussion of the fundamental concepts of the discipline and the practical sessions, with additional support of tutorial sessions, through problem solving with the help of the teacher.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

1. J.M. Howie, *Automata and Languages*, Oxford Univ. Press, 1991.
2. J.M. Howie, *Fundamentals of semigroup theory*, Oxford Univ. Press, 1995.
3. J.E. Pin, *Varieties of formal languages*, Plenum, 1986.
4. M.V. Lawson, *Finite Automata*, Chapman & Hall/CRC, 2003.
5. The GAP Group, *GAP - Groups, Algorithms, and Programming*, 2008, <http://www.gap-system.org>.

Anexo II - Topologia e Elementos de Variedades

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Topologia e Elementos de Variedades

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Topology and Manifolds

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

João Pedro Bizarro Cabral - TP: 56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

n.a.

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Competências mínimas:

- a) *Entender e saber demonstrar os resultados fundamentais sobre espaços topológicos, funções contínuas, compacidade, conexidade, axiomas de separação/numerabilidade e topologia quociente. O lema de Urysohn e o Teorema da Extensão de Tietze serão abordados.*
- b) *Perceber a noção de variedade sem bordo. Saber orientar variedades, calcular espaços tangentes a variedades. Entender a noção de campo vetorial, forma diferencial e produto tensorial.*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Minimal objectives.

- a) *Understand and know how to prove the fundamental results about topological spaces, continuous functions, compactness, connectedness, separation/countability axioms, quotient topology. Uryshon Metrization and Tietze Extension theorem will be addressed.*
- b) *Understand the notion of manifold without boundary. Know how to orient manifolds, compute tangent spaces to manifolds. Understand the notion of vector field, differential form and tensor product in manifolds.*

9.4.5. Conteúdos programáticos:

Os tópicos a abordar dependerão do background dos alunos. Devem ser tidos em conta os objectivos mínimos.

- 1) *Espaços topológicos. Base e sub-base. Produtos de espaços topológicos. Topologia subespaço. Conjuntos fechados e pontos de acumulação. Funções contínuas. Homeomorfismos.*
- 2) *Conexidade. Conexidade por arcos. Componentes.*
- 3) *Compacidade. Números de Lebesgue. Compacidade em espaços métricos. Compacidade local. Compactificação por um ponto.*
- 4) *Axiomas de numerabilidade. Axiomas de separação. Lema de Urysohn. Teorema da extensão de Tietze.*
- 5) *Variedades sem bordo. Funções entre variedades. Orientação de variedades. Partições da unidade. Imersão de variedades compactas em R^n .*
- 6) *Espaço tangente a uma variedade, noção geométrica e noção analítica. Diferencial. Campos vetoriais. Curvas integrais. Fluxos de campos vetoriais.*
- 7) *Formas diferenciais. Produto exterior. Lema de Poincaré. Produto tensorial*

9.4.5. Syllabus:

The topics to address will depend on the background of the students. The minimal objectives must be taken into account.

- 1) *Topological spaces. Basis and sub-basis. Products of topological spaces. Subspace topology. Closed sets and limit points. Continuous functions. Homeomorphisms.*
- 2) *Connectedness. Arc connectedness. Components.*
- 3) *Compactness. Lebesgue numbers. Compactness in metric spaces. Local compactness. Compactification by a point.*
- 4) *Axioms of countability. Separation axioms. Urysohn's Lemma. Tietze extension theorem.*
- 5) *Manifolds without boundary. Maps between manifolds. Orientation of Manifolds. Partitions of the unity. Immersions of compact manifolds in R^n .*
- 6) *Tangent space of a manifold, geometric and analytic notion. Differential. Vector fields. Integral curves. Flow of a vector field.*
- 7) *Differential forms. Exterior product. Poincaré lemma. Tensor product.*

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

Nos primeiros 4 pontos do programa, far-se-á uma aprendizagem aprofundada de conceitos fundamentais de topologia geral, tendo em conta que os alunos já virão familiarizados com a noção de espaço métrico.

Os restantes pontos do programa são dedicados a uma introdução à topologia e geometria de variedades sem bordo. Nestes pontos, são lecionadas várias noções fundamentais como espaço tangente, campos vetoriais, formas diferenciais e produto tensorial.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The first 4 points of the program, will be aimed at learning the fundamental concepts of general topology, taking into account that students will already be familiar with the notion of metric space. One of the objectives is to teach the most important points for the study of algebraic topology: the concept of topological property, arc connectedness, (arc) connected-components, Lebesgue numbers, and the Tietze Extension Theorem.

The remaining subjects of the program are dedicated to an introduction to the topology and geometry of manifolds without boundary. Students will learn fundamental concepts like tangent space, vector fields, differential forms and tensor product.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A unidade curricular funcionará com 4 horas semanais de aulas teórico-práticas. Haverá esclarecimento de dúvidas em sala de aula. A aprendizagem autónoma dos alunos centrar-se-á na resolução de séries avançadas de exercícios, alguns contendo provas de resultados fundamentais.

Os alunos deverão entregar semanalmente séries de exercícios, propostas pelo docente. Cada aluno fará pelo menos uma apresentação oral de cerca de 1 hora (por exemplo com uma demonstração completa de um teorema, explicação de uma secção de um livro ou artigo). No final do semestre far-se-á a média aritmética simples das notas das séries de exercícios e das apresentações.

Um aluno obtém frequência se tiver entregue todas as séries de exercícios propostas, exceto possivelmente uma.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The course will have 4 hours of theoretical-practical classes per week. There will be specific time in classes for students to pose questions or doubts about exercises. The autonomous learning by the students will be centered around solving advanced exercise sheets, some of which containing proofs of fundamental theorems. The students must submit weekly series of exercises. Each student will make at least an oral presentation of 1 hour (with a complete proof of a theorem, explanation of section of a book or paper). The final grade will be the simple average of all grades of exercises and presentations.

A student will obtain frequency if it submits all series of exercises, with the possible exception of one.

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

Havendo 4 h de aulas teórico-práticas por semana, que inclui esclarecimento de dúvidas, haverá certamente horas de contacto suficientes para um aluno conseguir acompanhar a matéria da unidade curricular.

As séries de exercícios serão o mais completas possíveis, sendo a resolução destas a melhor maneira de os alunos progredirem na aprendizagem da unidade curricular. Dessa forma a avaliação será quase exclusivamente baseada na correção das séries de exercícios, embora pesada com a discussão destas nas aulas práticas.

Os alunos terão ainda oportunidade de demonstrarem e expandirem os seus conhecimentos por via de uma apresentação oral de uma hora.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Since there are 4 hours of theoretical-practical classes per week, which including question the students might have about exercises, there will certainly be enough contact hours for a student to keep up to the matter of the course.

The series of proposed exercises will be as complete as possible. Solving a great number of these is surely the best way for the students to progress in the learning of the course. Therefore the evaluation of students will be almost entirely based on the mark of these problem sets, although weighted by their discussion in the problem classes.

Students will also have the opportunity to demonstrate and expand their knowledge in the subject through an oral presentation of about one hour.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

James R. Munkres: Topology. Prentice Hall (2000)

Armstrong, Mark Anthony: Basic topology. Corrected reprint of the 1979 original. Undergraduate Texts in Mathematics. Springer-Verlag, New York-Berlin, 1983.

Andrew McInerney: Firsts steps in Differential Geometry. Springer, 2013.

Vladimir A. Zorich: Mathematical Analysis II – second edition. Springer, 2016

Anexo II - Tópicos de Matrizes

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Tópicos de Matrizes

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Topics on Matrices

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Carlos Manuel Saiago – TP: 28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Isabel Maria da Silva Cabral – TP: 28

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitem, em particular, (i) entender como o padrão de uma matriz cujo grafo é uma árvore pode condicionar as multiplicidades geométricas dos seus valores próprios; (ii) caracterizar as multiplicidades possíveis dos valores próprios de matrizes hermiticas cujo grafo é uma determinada árvore; e (iii) prosseguir o estudo análogo para matrizes combinatoriamente simétricas.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this course the student will have acquired knowledge and skills that will enable him, in particular, (i) to understand how the pattern of a matrix whose graph is a tree can constrain the geometric multiplicities of the eigenvalues; (ii) to characterize the possible multiplicities of the eigenvalues of Hermitian matrices whose graph is a given tree; and (iii) to continue the analogous study for combinatorially symmetric matrices.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

- Matrizes particionadas em blocos
- * Característica
- * Determinantes
- Matrizes, grafos e determinantes
- * Alguns desenvolvimentos do determinante
- Matrizes hermiticas e matrizes simétricas reais
- * Teorema espectral
- * Matrizes definidas positivas e matrizes definidas não negativas
- * Desigualdades de entrelaçamento dos valores próprios de matrizes hermiticas (reais simétricas)
- Normas de matrizes
- Localização de valores próprios, discos de Gersgorin
- Teorema de Perron–Frobenius para matrizes irredutíveis
- Valores próprios de matrizes hermiticas Hermitian (real symmetric) cujo grafo é uma árvore
- * Problema das multiplicidades ordenadas versus Problema inverso dos valores próprios
- * "Path cover number" de uma árvore e a máxima multiplicidade (geométrica)
- * A teoria de Parter-Wiener
- * Uma lista de problemas

9.4.5. Syllabus:

- Block matrices
- * Rank
- * Determinants
- Matrices, graphs and determinants
- * Some useful determinantal expansions
- Hermitian matrices and real symmetric matrices
- * Spectral theorem
- * Positive definite matrices and positive semidefinite matrices
- * Interlacing inequalities for the eigenvalues of Hermitian (real symmetric) matrices
- Matrix norms
- Location of eigenvalues, Gersgorin discs
- Perron–Frobenius theorem for irreducible matrices
- Eigenvalues of Hermitian (real symmetric) matrices whose graph is a tree
- * Ordered Multiplicities problem versus Inverse Eigenvalue Problem
- * Path cover number of a tree and maximum (geometric) multiplicity
- * Parter-Wiener theory
- * A list of problems

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

Em cada um dos tópicos dos conteúdos programáticos explora-se o fundamental sobre os valores próprios, a estimação de valores próprios e como o padrão da matriz condiciona as multiplicidades geométricas dos seus valores próprios. Com a teoria de Parter-Wiener para matrizes hermiticas/simétricas reais cujo grafo é uma árvore os objetivos (i) e (ii) são cumpridos. Com a apresentação da generalização de alguns resultados desta teoria para matrizes combinatorialmente simétricas cujo grafo é uma árvore, considera-se que o aluno poderá prosseguir o estudo para estas matrizes, o que cumpre o objetivo (iii).

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

In each of the topics of the syllabus is explored the fundamental about eigenvalues, the estimation of eigenvalues and how the matrix pattern constrain the geometric multiplicities of its eigenvalues. With the Parter-Wiener theory for Hermitian/real symmetric matrices whose graph is a tree the objectives (i) and (ii) are fulfilled. With the generalization of some results of this theory to combinatorially symmetric matrices whose graph is a tree, the student can continue the study of analogous problems for these matrices, which fulfills the objective (iii).

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são teóricas/práticas participadas, com exposição oral dos conceitos e resultados devidamente acompanhados por exemplos ilustrativos e por exercícios propostos (para resolução em aula ou durante o período de trabalho autónomo do aluno). Relativamente a alguns dos resultados enunciados em aula, a respetiva demonstração ficará ao cuidado do aluno trabalhando nela durante o período de estudo autónomo. Eventuais dúvidas poderão ser esclarecidas no decurso das aulas ou em sessões individuais marcadas com os professores. A avaliação contínua é baseada em dois testes. Se um aluno não obtiver aprovação através de avaliação contínua poderá vir a obtê-la num exame de recurso.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes are theoretical/practical with oral presentation of concepts and results, complemented with examples and proposed exercises (for resolution in class or during the student's autonomous work period). For some of the results stated in class, the student should try to find a proof while working during the period of autonomous study. Specific student difficulties will be addressed during classes or in individual sessions scheduled with the professor. Continuous evaluation is based on two tests. If a student does not obtain approval through continuous evaluation he can try it in an additional assessment.

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

A apresentação de conceitos e resultados, acompanhados por aplicações e exemplos ilustrativos, pretende motivar os estudantes para a relevância dos tópicos estudados, desenvolvendo a sua capacidade de dedução, de aplicação a novas situações e de resolução de novos problemas.

Os alunos terão oportunidade de testar estas capacidades nas aulas, com o apoio de um professor, ou em estudo individual, comparecendo eventualmente a sessões de atendimento individual, em caso de dificuldades.

A avaliação da unidade curricular incide sobre a aquisição das competências referidas.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

In classes, the presentation of concepts and results, accompanied by illustrative applications and examples, aims to motivate students for the relevance of the topics studied, and developing student's ability to deduce, to apply to new situations and to solve new problems.

Additionally, classes will allow students to test these skills, under the supervision of a professor. Students can also test these skills by themselves, scheduling individual appointments with professors in case of difficulties.

The evaluation of the curricular unit focuses in the acquisition of the mentioned capabilities.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

[1] R.A. Horn and C.R. Johnson. Matrix Analysis. Cambridge University Press, New York, 2nd edition, 2013.

[2] D.C. Lay, S.R. Lay, J.J. McDonald. Linear Algebra and Its Applications. Pearson Education, 5th edition, 2016.

[3] R. Bhatia. Positive Definite Matrices. Princeton University Press, 2007.

Anexo II - Combinatória e Teoria de Ramsey

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Combinatória e Teoria de Ramsey

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Combinatorics and Ramsey Theory

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Manuel Silva – TP:56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

n.a.

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

A Combinatória é uma área que ocupa um lugar cada vez mais central no desenvolvimento da Matemática. Em primeiro lugar, pelas suas relações com diversas áreas: álgebra, geometria, probabilidades e topologia. Além disso, a proximidade com Teoria da Computação faz da Combinatória uma das áreas da Matemática com maiores perspectivas de crescimento.

Pretende-se que os alunos conheçam e sejam capazes de aplicar técnicas clássicas: princípio de inclusão-exclusão, lema dos pombos, contagem dupla, indução, etc. Mas também ferramentas recentes, como o método probabilístico ou o método de álgebra linear, os quais se têm mostrado ferramentas poderosas para resolver problemas combinatórios.

Iremos apresentar alguns resultados de Teoria Ramsey. O paradigma central da Teoria Ramsey diz-nos que toda a estrutura discreta suficiente grande, contém necessariamente subestruturas regulares. Ilustraremos este princípio com resultados de teoria de grafos, teoria de números e geometria combinatória.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Combinatorics plays a special role in modern mathematics. In part, because it has connections with several areas: algebra, geometry, probability theory and topology. And also, for its importance in computer science.

The student is supposed to learn the basic methods in Combinatorics.

Ramsey theory will be the focus of this course, which will permit the student to understand how different mathematical methods can work together.

9.4.5. Conteúdos programáticos:**1) Introdução**

O princípio de inclusão-exclusão. Lema dos pombos. Contagem dupla. Decomposição cíclica de permutações. Conceitos fundamentais de grafos.

2) Teoria Ramsey

Teorema de Ramsey para grafos e para conjuntos. Aplicações do Teorema de Ramsey. Números de Ramsey. Teorema de Van der Waerden e de Hales-Jewett. Teoria de Ramsey euclidiana.

3) Combinatória extremal

Teorema de Mantel-Turán para grafos.

Teorema de Sperner para famílias de conjuntos finitos.

Densidade máxima de grafos que evitam subgrafos bipartidos de ordem fixa.

4) Métodos externos

O método probabilístico em combinatória.

O método de álgebra linear em combinatória.

9.4.5. Syllabus:**1) Introduction**

Principle of inclusion-exclusion. Pigeonhole principle. Double counting. Cyclic decomposition of permutations. Basic graphs notions.

2) Ramsey Theory

Ramsey's theorem for graphs and for sets. Applications of Ramsey's theorem. Ramsey's numbers. Van der Waerden's theorem and Hales-Jewett's theorem. Euclidean Ramsey's theory.

3) Extremal combinatorics

Mantel-Turán's theorem for graphs.

Sperner's theorem for families finite sets.

Maximal density for graphs avoiding bipartite graphs with fixed order.

4) Other methods

The probabilistic method in combinatorics.

The method of linear algebra in combinatorics.

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

A complexidade dos conceitos discutidos aumenta gradualmente ao longo dos itens discutidos no programa.

A teoria de Ramsey servirá de fio condutor a toda a discussão, permitindo ilustrar métodos diversos de um modo natural. Diversos resultados apresentados serão recentes, evidenciando a importância dos temas discutidos.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

We start from basic notion and progress to more elaborated concepts.

Ramsey theory and problems will guide the discussion, which will permit to introduce distinct methods in a natural way. Many results in the course will be recent, showing the importance of the subject in modern mathematics.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são teórico-práticas. Além da exposição da matéria, que é ilustrada com exemplos de aplicação, são propostos, para resolução pelos alunos, exercícios de aplicação dos métodos e resultados apresentados.

Quaisquer dúvidas são esclarecidas no decorrer das aulas ou nas sessões destinadas a atendimento de alunos.

Avaliação:

Avaliação Contínua: frequência de aulas, 2 testes

Exame final

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes consist on two different aspects: an oral explanation which is illustrated by examples and the resolution, by the students, of proposed exercises.

Students can ask for any questions either in class or during office hours.

Evaluation:

2 Tests during the semester

or

Final Exam

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

Nas aulas procede-se à exposição da matéria, ilustrada com exemplos e contra exemplos. Depois de explicados e exemplificados, os resultados são demonstrados. São resolvidos exercícios a título de exemplo.

Os alunos resolvem problemas de uma lista de problemas fornecida, devendo entregar resoluções por escrito e discutir as resoluções apresentadas com o docente.

Quaisquer dúvidas são esclarecidas no decorrer das aulas ou nas sessões destinadas a atendimento de alunos.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

In class, the subjects are explained and illustrated by examples and counter examples. The proofs are rigorously presented. Some important problems are solved.

Students solve problems from a given list, some of them should be discussed with the professor in class.

Students are invited to ask questions during the classes or in weekly scheduled sessions.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- "A Course in Combinatorics", J.H. van Lint e R. Wilson
- "Extremal Combinatorics", S. Jukna
- "Modern Graph Theory", B. Bollobás
- "Proofs from THE BOOK", M. Aigner e G. Ziegler
- "Linear Algebra method in Combinatorics", L. Babai e P. Frankl
- "The Probabilistic method", N. Alon and J. Spencer.

Anexo II - Criptografia**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Criptografia

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Cryptography

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:*<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Isabel Oitavem – TP: 56***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***n.a.***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***Introdução à Criptografia.***9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:***Introduction to Cryptography.***9.4.5. Conteúdos programáticos:***Introdução**Cifras simétricas**O aparecimento das cifras assimétricas**Diffie-Hellman partilha de chaves**Factorização e RSA**Criptografia e curvas elípticas**A evolução da criptografia de chave pública***9.4.5. Syllabus:***Introduction**Symmetric ciphers**Asymmetric ciphers make a first appearance**Diffie-Hellman key exchange**Integer factorization and RSA**Elliptic curve cryptography**The evolution of public key cryptography***9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular***O conteúdo programático da cadeira está concebido de forma a que, por um lado, os tópicos apresentados seguem a sua sucessão sistemática e, por outro lado, que resultam numa forma natural nos objetivos da unidade curricular.***9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.***The syllabus is conceived in a way that, on the one hand, the items of the given programme are in their systematic order, and on the other hand, that they lead in a natural way to the objectives of the lecture course.***9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):***A metodologia de ensino, incluindo aulas teórico-práticas participadas e trabalho do aluno, segue a tradição bem sucedida em Matemática no espírito de Felix Klein.**A avaliação é efectuada com base em um seminário por aluno (apresentação, discussão e relatório) e um teste. O seminário vale 80% da classificação final e o teste vale 20%.**Os alunos que obtiverem uma classificação final superior ou igual a 10 valores obtêm aprovação na UC com a correspondente classificação.**Os alunos que obtiverem uma classificação final superior a 17 valores podem ser chamados a prestar uma prova suplementar. Caso não o façam obtêm aprovação na UC com a classificação de 17 valores.***9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):***The teaching methodology, comprising class-room presentations and work of the student, follows the successful tradition of mathematic teaching in the spirit of Felix Klein.**Evaluation is based on one seminar per student (presentation, discussion and report) and one test. The seminar contributes with 80% to the final grade, and the test contributes with 20%.**Grades greater or equal than 10 points lead to approval.**Whenever the grade is more or equal than 18 points, an extra examination might be required. If the student declines it, the final grade of 17 points will be given.*

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

A combinação de apresentações do professor com trabalho desenvolvido pelo aluno são a principal garantia para o sucesso do ensino em matemático.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The combination of presentations of the professor with own work by the student is the principal guarantee for the success of mathematical teaching.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

An introduction to Mathematical Cryptography, de Hoffstein, Pipher and Silverman, Springer, 2008.

Anexo II - Análise Numérica de Equações com Derivadas Parciais**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Análise Numérica de Equações com Derivadas Parciais

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Numerical Analysis of Partial Differential Equations

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Luís Manuel Trabucho de Campos - TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Magda Stela de Jesus Rebelo - TP:28

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Permitir ao aluno ficar com conhecimentos dos Métodos das Diferenças Finitas e dos Elementos Finitos para a Análise Numérica de Equações elípticas.

É dada especial relevância à formulação variacional e aos espaços adequados à análise destes problemas.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To provide the student with some knowledge of the Finite Difference and Finite Elements Methods for the Numerical Analysis of partial differential equations of the elliptic type. It is intended that students get to know the essential concepts of functional analysis associated with the Finite Difference and Finite Element Methods

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. *Método das Diferenças Finitas para problemas elípticos unidimensionais e bidimensionais. Existência e unicidade de solução do problema discretizado. Convergência.*
2. *Método dos Elementos Finitos para problemas unidimensionais. Bases, matriz e vetores globais. Cálculo da solução e da derivada. Ordem de convergência da derivada em diferentes pontos de cada intervalo da partição. Elemento finito. Bases locais. Matrizes e vetores do elemento. Matrizes e vetores globais. Condições de fronteira de Dirichlet, Neumann e mistas. Elementos quadráticos e cúbicos.*
3. *Método dos Elementos Finitos para problemas bidimensionais. Elementos finitos triangulares e retangulares. Matrizes e vetores do elemento. Matrizes e vetores globais. Elemento finito de referência.*
4. *Estimativas do erro clássicas.*

9.4.5. Syllabus:

1. *Finite Difference Method for one and two-dimensional elliptic problems. Existence and uniqueness of the solution of the discretized problem. Convergence analysis.*
2. *Finite Element Method for one dimensional elliptic problems. Global bases, matrices and vectors. Calculation of the solution and derivative. Convergence order of the derivative at several points of the partition. Finite Element. Local bases. Element matrices and vectors. Global matrices and vectors. Boundary conditions of Dirichlet, Neumann and mixed types. Quadratic and cubic elements.*
3. *Finite Element Method for two dimensional elliptic problems. Triangular and rectangular finite elements. Element matrices and vectors. Global matrices and vectors.*
4. *Error estimates.*

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

Os conteúdos programáticos percorrem todos os itens referidos nos objetivos da UC e são, na nossa opinião, suficientes para um aluno médio ficar com os conhecimentos base.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

We are offering standard material to accomplish the objectives of the course. They are, in our view, sufficient for the average student to learn the basic material.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Aulas teórico-práticas, com exposição oral de matéria, resolução de problemas e implementação em computador dos métodos estudados.

Os alunos poderão obter aprovação à disciplina por avaliação contínua.

Em alternativa, poderão submeter-se a um exame final que engloba todos os conteúdos da disciplina

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Theoretical-practical classes with problem solving and computer implementation of the methods studied.

The students may obtain approval in this course during the semester. Also, they may present themselves to a final exam that will test all the learning goals of this course.

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

Trata-se da metodologia usualmente usada para este tipo de disciplina nas mais variadas universidades.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

This is the methodology commonly used for this type of discipline in most universities.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

1. *Ciarlet, P.G. (1978), The Finite Element Method for Elliptic Problems (North-Holland, Amsterdam)*
2. *Euvrard, D. (1990), Résolution Numérique des Équations aux Dérivées Partielles (2e edition), (Masson, Paris).*
3. *Hughes, T.J.R.(1987), The Finite Element Method: Linear, Static and Dynamic Finite Element Analysis (Prentice - Hall, Englewood Cliffs).*
4. *Johnson, C. (1992), Numerical Solution of Partial Differential Equations by the Finite Element Method (Cambridge University Press, Cambridge).*
5. *Oden, J.T., and G.F. Carey (1981 - 1984), Finite Elements I: An Introduction (with E.B. Becker); II: A Second Course; III: Computational Aspects; IV: Mathematical Aspects; V: Special Problems in Solid Mechanics; VI: Special Problems in Fluid Mechanics (Prentice Hall, Englewood Cliffs).*

Anexo II - Grupos e Representações**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:***Grupos e Representações***9.4.1.1. Title of curricular unit:***Groups and Representations***9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:***M***9.4.1.3. Duração:***Semestre / Semester***9.4.1.4. Horas de trabalho:***168***9.4.1.5. Horas de contacto:***TP:56***9.4.1.6. ECTS:***6***9.4.1.7. Observações:***<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***António José Mesquita da Cunha Machado Malheiro – TP: 56***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***n.a.***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta UC, o aluno deve:**-conhecer a Teoria das Representações (TR) de Grupos finitos sobre o corpo C , especialmente as representações do grupo simétrico**-dominar técnicas que serão usadas nas provas dos principais resultados da TR**-conhecer as relações de ortogonalidade de caracteres, saber como obter os caracteres a partir de construções de grupos para deduzir novos caracteres**-ser capaz de utilizar os resultados sobre Teoria de Caracteres (TC) para construir tabelas de caracteres;de reconhecer a importância Teorema $p^a q^b$ de Burnside na obtenção de resultados intrínsecos à Teoria de Grupos a partir da TC**-conhecer as representações irredutíveis do grupo simétrico, nomeadamente a construção das representações para os seus caracteres**-conhecer a Combinatória Algébrica resultante do estudo dos objetos combinatórios no contexto da TR de grupos simétricos**-ter capacidades de compreensão, análise crítica e síntese de conhecimentos teóricos; e ainda de pesquisa e comunicação escrita***9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:***At the end of the course, the student must**-know the theory of finite group representations (TR) on the field C with emphasis on the representations of symmetric groups**-master techniques that will be used in the tests of the main results of TR**-know the orthogonality relations of characters, know how to obtain characters from group constructions to deduce new characters**-should be able to use the results taught on Character Theory to construct the character tables of some groups; should be able to recognize the importance of Burnside's Theorem $p^a q^b$ in obtaining intrinsic results from Group Theory based on Character Theory**-know the irreducible representations of the symmetric group, namely the construction of representations for their characters**-know Algebraic Combinatorics derived from the study of combinatorial objects arising in the context of TR of symmetric groups**-have skills in critical analysis, synthesis and organization of theoretical knowledge; written communication skills*

9.4.5. Conteúdos programáticos:*I Representações de grupos finitos*

- a) Álgebras, módulos, representações de grupos e homomorfismos de representações;
- b) Redutibilidade e o Teorema de Maschke;
- c) Lema de Schur e algumas das suas aplicações: representação de grupos finitos abelianos; diagonalização;
- d) O espaço dos homomorfismos-G.

II Teoria de caracteres

- a) Caracteres, funções classe e exemplos;
- b) Produto interno, relações de ortogonalidade e decomposição de módulos-G;
- c) Caracteres e construções de grupos: subgrupos normais; produto tensorial;
- d) Caracteres restritos, caracteres induzidos e o Teorema da reciprocidade de Frobenius.

III O Teorema $p^a q^b$ de Burnside

- a) Números e inteiros algébricos;
- b) O Teorema $p^a q^b$ de Burnside.

IV Representações de grupos simétricos

- a) Partições e quadros de Young;
- b) Polinómios e funções simétricas;
- c) A ação do grupo simétrico em quadros de Young;
- d) Módulos Specht e simetrizadores de Young;
- e) O anel das representações e as funções simétricas.

9.4.5. Syllabus:*I Finite group representations*

- (a) algebras, modules, group representations and homomorphisms of representations;
- b) Reducibility and Maschke's Theorem;
- c) Schur's lemma and some of its applications: representation of abelian finite groups; diagonalization;
- d) The space of G-homomorphisms.

II Character Theory

- a) Characters, class functions and examples;
- b) Inner product, orthogonal relations and decomposition of G-modules;
- c) Character and group constructions: normal subgroups; tensor product;
- d) Restricted characters, induced characters and Frobenius's reciprocity theorem.

III The Burnside Theorem $p^a q^b$

- (a) algebraic numbers and integers;
- b) Burnside's Theorem $p^a q^b$.

IV Representations of symmetric groups

- a) Young tableaux and partitions;
- b) Symmetric polynomials and symmetric functions;
- c) The action of the symmetric group in Young tableaux;
- d) Specht modules and the Young symmetrizer;
- e) The ring of representations and symmetric functions.

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

Os tópicos apresentados no programa seguem de perto os objetivos estabelecidos no concerne aos temas e aos resultados a desenvolver. Em qualquer um dos tópicos do conteúdo programático serão apresentados vários exemplos ilustrativos, de forma a permitir que o aluno desenvolva a capacidade de compreender os diferentes conceitos. As sessões de exercícios permitirão que o aluno desenvolva a análise crítica de problemas e as suas capacidades de comunicação matemática.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The topics presented in the program closely follow the objectives set regarding the themes and results to be developed. In any of the topics of the syllabus several illustrative examples will be presented to enable the student to develop the ability to understand the different concepts. Exercise sessions will enable the student to develop critical problem analysis and his mathematical communication skills.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Nas aulas teórico-práticas é lecionada a matéria definida no programa, que é ilustrada com exemplos. São disponibilizadas, atempadamente, folhas de exercícios. Estes destinam-se a serem resolvidos pelos alunos quer nas aulas quer como trabalho fora de aula. Quaisquer dúvidas são esclarecidas no decorrer das aulas, nas sessões semanais destinadas ao atendimento dos estudantes ou ainda em sessões combinadas diretamente entre aluno e professor.

A avaliação desta UC terá dois parâmetros:

- 1. Avaliação da resolução dos exercícios propostos periodicamente pelo docente. O professor, aquando da correção dos exercícios, efetuará comentários que permitirão que o aluno aperfeiçoe a sua resolução. Este parâmetro corresponderá a 50% da avaliação final;*
- 2. Realização de um exame escrito que corresponderá a 50% da avaliação final.*

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

There are classes in which theory is lectured and illustrated by examples. There are also problem-solving sessions. Some exercises are left to the students to be solved on their own as part of their learning process. Students can ask questions during the classes, in weekly scheduled sessions or in special sessions accorded directly with the professor.

The evaluation of this course will have two parameters:

- 1. Evaluation of the solutions of the exercises proposed periodically by the teacher. The teacher, when correcting the exercises, will make comments that will allow the student to improve their resolution. This parameter will correspond to 50% of the final evaluation;*
- 2. A written exam that will correspond to 50% of the final evaluation.*

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

A diversidade de metodologias propostas tem por objetivo a aquisição pelos estudantes de diferentes competências. As aulas teórico-práticas, com a explanação dos conteúdos, acompanhados por vários exemplos, permitem uma melhor e mais rápida apreensão dos conceitos teóricos. A discussão dos exercícios propostos, em grupo ou com o auxílio do docente, é uma prática pedagógica que tem por objetivo estimular a capacidade crítica dos alunos e incentivar os estudantes para o estudo sistemático dos conteúdos ao longo do semestre. Neste sentido, propomos um elevado número de horas em trabalho individual de modo a permitir o tempo necessário de reflexão e consequente desenvolvimento da autonomia do aluno.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The diversity of methodologies proposed aims at the acquisition by students of different skills. The practical classes, with the explanation of the contents, accompanied by several examples, allow a better and faster understanding of the theoretical concepts. The discussion of the proposed exercises, in group or with the help of the teacher, is a pedagogical practice that aims to stimulate the students' critical capacity and encourage students to systematically study the contents throughout the semester. In this sense, we propose a large number of hours in individual work in order to allow the necessary time for reflection and consequent development of student autonomy.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

W. Fulton. Young Tableaux: With Applications to Representation Theory and Geometry (London Mathematical Society Student Texts). Cambridge: Cambridge University Press, 1996, pp. x+260. ISBN: 978-0-511-62624-1 DOI: 10.1017/CBO9780511626241.

G. James e M. Liebeck. Representations and Characters of Groups. Cambridge University Press, 2001, pp. xviii+321 pp. ISBN: 978-0-521-00392-6. DOI: 10.1017/CBO9780511814532.

Outras referências:

W. Fulton e J. Harris. Representation Theory: A First Course. Graduate texts in mathematics. Vol. 129. New York, NY: Springer, 1991. ISBN : 9780387974958.

B. Sagan. The Symmetric Group: Representations, Combinatorial Algorithms, and Symmetric Functions. Springer-Verlag New York, 2001, pp. xvi+240 pp. ISBN: 978-1-4419-2869-6.

J. P. Serre. Linear Representations of Finite Groups. Graduate texts in mathematics. Vol. 42. New York, NY: Springer-Verlag, 1977. ISBN: 978-0-387-90190-9.

Anexo II - Equações Diferenciais Estocásticas

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Equações Diferenciais Estocásticas

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Stochastic Differential Equations

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:*TP:56***9.4.1.6. ECTS:**

6

9.4.1.7. Observações:*<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Maria Fernanda de Almeida Cipriano Salvador Marques – TP:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Manuel Leote Tavares Inglês Esquível – TP:14**Pedro José dos Santos Palhinhas Mota – TP:14***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta unidade curricular é esperado que os estudantes*

- conheçam as propriedades e uma construção do Movimento Browniano,
- conheçam as propriedades das martingalas,
- conheçam a definição de integral estocástico e suas propriedades,
- saibam aplicar a Fórmula de Itô,
- saibam resolver equações diferenciais estocásticas lineares,
- saibam utilizar a propriedade de Markov da solução de uma equação diferencial estocástica,
- conheçam os semigrupos definidos pela solução de uma equação diferencial estocástica,
- conhecem as equações de Kolmogorov,
- conheçam o Teorema de Girsanov e algumas aplicações práticas.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:*At the end of this course it is expected that students*

- know the properties and the Kolmogorov construction of the Brownian Motion,
- know the martingale properties,
- know the definition of stochastic integral and its properties,
- know how to apply the Itô formula,
- know how to solve linear stochastic differential equations,
- know how to use the Markov property of the solution of a differential equation stochastic,
- know the semigroups defined by the solution of a stochastic differential equation,
- Know the Kolmogorov equations,
- Know the Girsanov theorem and some basic applications,

9.4.5. Conteúdos programáticos:*1-Movimento Browniano- Integral de Wiener- Esperança condicionada- Martingalas**2-Integral Estocástico**3-Formula de Itô**4- Aplicações da fórmula de Itô- Transformação de medidas de probabilidade-Teorema de Girsanov**5- Equações diferenciais estocásticas- Teoremas de existência e unicidade- Propriedade de Markov -Processos de difusão- Semigrupos e equações de Kolmogorov**6-Equações diferenciais estocásticas lineares- Aplicações às Finanças- Fórmula de Feynman-Kac***9.4.5. Syllabus:***1-Brownian Motion- Wiener integral- Conditional expectation- Martingales**2-Stochastic integrals**3-Itô formula**4- Applications of the Itô Formula- Exponential process- Transformation of probability measures-Girsanov theorem**5- Stochastic Differential equations-Existence and uniqueness-Markov property-Diffusion processes- Semigroups and Kolmogorov equations**6-Linear stochastic differential equations- Applications to Finance- Feynman-Kac Formula***9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular***Para que todos os objetivos referidos sejam alcançados é necessário o conteúdo programático referido.**Por outro lado, as matérias contidas no conteúdo programático são suficientes para que o aluno cumpra todos os objetivos.*

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

For all these purpose to be achieved it is necessary the program content.

On the other hand, the materials contained in the syllabus are sufficient so that the student meets all objectives.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

O ensino consiste na lecionação de aulas teórico-práticas, onde é apresentada e explicada toda a matéria referida nos conteúdos programáticos.

A avaliação continua é composta por uma componente individual e/ou uma de grupo de acordo com o regulamento de avaliação da FCT NOVA. Os alunos que não obtiverem a aprovação na avaliação continua poderão tentar aprovar em Exame.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The professor gives the course by lectures, where he explains all topics referred to in the syllabus.

Mid-term evaluation consists of an individual component and / or a group component according to the FCT NOVA evaluation regulation.

Students who do not succeed in the continuous assessment may try to pass a final Exam.

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

Os métodos de ensino apresentados permitem aos alunos apreender todos os conteúdos programáticos. Visam uma profunda compreensão das noções teóricas e suas aplicações nomeadamente através da resolução de problemas.

Assim, os estudantes ficam aptos para atingir todos os objetivos.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The teaching methods presented allow students to understand all the contents. The aim of these methods is to provide a deep understanding of theoretical concepts and their applications namely through clear expositions of the theoretical concepts and their application solving problem. Thus, the students are able to achieve all objectives.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

1 -- Hui.Hsiung Kuo: Introduction to Stochastic Integration. Springer. 2006

2 -- Bernt Oksendal: Stochastic Differential Equations. Sringer. 1998

3 -- Paul Malliavin: Integration and Probability. Springer-Verlag. 1995

Anexo II - Lógica Avançada**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Lógica Avançada

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Advanced Logic

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

9.4.1.7. Observações:*<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Reinhard Kahle – TP: 56***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***n.a.***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta UC é esperado que os alunos percebam o resultado da indecidibilidade da Lógica de primeira ordem e que compreendam o sentido e a forma da demonstração dos teoremas de incompletude de Gödel.***9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:***At the end of this course it is expected that the students understand the indecidability of first order logic, and the meaning and the proofs of Gödel's incompleteness theorems.***9.4.5. Conteúdos programáticos:**

- 1. Teoria da Recursão*
- 2. Problema da Paragem*
- 3. Indecidibilidade da Lógica de primeira ordem*
- 4. Aprofundamento dos teoremas da incompletude de Gödel*

9.4.5. Syllabus:

- 1. Recursion Theory*
- 2. The Halting Problem*
- 3. Indecidability of first order Logic*
- 4. Consolidation of Gödel's Incompleteness Theorems*

9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular*O programa da UC fornece os fundamentos técnicos para atingir os objetivos.***9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.***The programme of the course comprises the technical foundations to reach the objectives.***9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):***Métodos habituais de ensino universitário da Matemática com uma forte componente de participação activa do aluno (seminário).**Seminário + Relatório + Prova oral (opcional): 100%***9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):***Usual university-style Math teaching with an active participation of the student (seminar).**Seminar + Report + Oral examination (optional): 100%***9.4.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.***As componentes teóricas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são ministrados nas aulas e o aluno mostra a sua independência na aprendizagem num seminário com elaboração de um relatório final. Provas orais servem para a defesa de nota nos casos em que faça sentido.***9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.***The necessary theoretical components to reach the objectives of the learning are given in the classes and the student shows the independence of learning in a seminar together with the elaboration of a final report. Oral exams serve to*

defend a grade in appropriated cases.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

R. Cori and D. Lascar. Mathematical Logic, Part II, Oxford University Press, 2000.

G. Boolos, J. Burgess and R. Jeffrey. Computability and Logic, Cambridge University Press, 2002.

C. Smorynski. The incompleteness theorems. In J. Barwise, editor, Handbook of Mathematical Logic, pp. 821-865. North-Holland, 1977.

Anexo II - Topologia Algébrica

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Topologia Algébrica

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Algebraic Topology

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Gonçalo Jorge Trigo Nery Tabuada – TP: 56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

n.a.

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitem (i) compreender os diferentes conceitos em topologia algébrica; e (ii) resolver diferentes problemas em topologia algébrica.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

At the end of this course the student will have acquired knowledge and skills that will enable him (i) to understand the different concepts in algebraic topology; and (ii) to solve different problems in algebraic topology.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. Grupo fundamental: definições, teorema de Van Kampen, recobrimentos.

2. Homologia: definições, teorema de excisão, ponto de vista formal.

3. Co-homologia: definições, teorema de Kunneth, dualidade de Poincaré.

9.4.5. Syllabus:

1. Fundamental group: definitions, Van Kampen theorem, coverings.

2. Homology: definitions, excision theorem, formal viewpoint.

3. Cohomology: definitions, Kunneth theorem, Poincaré duality.

9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular
Em qualquer um dos tópicos do conteúdo programático serão apresentados vários exemplos ilustrativos, de forma a desenvolver a capacidade do aluno em compreender os diferentes conceitos em topologia algébrica (Objetivo (i)). Nas aulas práticas serão apresentados vários exercícios pertinentes, de forma a desenvolver a capacidade do aluno em resolver diferentes problemas em topologia algébrica (Objetivo (ii)).

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

In each one of the topics of the syllabus, there will be provided several examples in order to help the students to understand the different concepts in algebraic topology (Objective (i)). In the practical classes, there will be provided several exercises in order to help the students to solve different problems in algebraic topology (Objective (ii)).

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas são teóricas/práticas participadas, com exposição oral dos conceitos e metodologias devidamente complementada com exemplos e resoluções de problemas. Eventuais dúvidas poderão ser esclarecidas no decurso das aulas ou em sessões individuais marcadas com os professores.

Os alunos necessitam de assistir a um mínimo de 2/3 das aulas teóricas/práticas lecionadas para se submeterem a avaliação. A avaliação contínua é baseada em dois testes. Se um aluno não obtiver aprovação através de avaliação contínua poderá vir a obtê-la num exame de recurso.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Classes are theoretical/practical with oral presentation of concepts, methodologies, and examples, complemented with problem solving. Specific student difficulties will be addressed during classes or in individual sessions scheduled with the professor.

Students need to attend a minimum of two thirds of the classes in order to be evaluated. Continuous evaluation is based on two tests. If a student does not obtain approval through continuous evaluation he can try it in an additional assessment.

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

A apresentação de conceitos e metodologias, apoiados com exemplos ilustrativos, pretende motivar os estudantes para a relevância dos tópicos estudados, desenvolvendo a sua capacidade em compreender e resolver diferentes problemas em topologia algébrica. Os alunos terão oportunidade de testar estas capacidades nas aulas, com o apoio de um professor, ou em estudo individual, comparecendo eventualmente a sessões de atendimento individual, em caso de dificuldades.

A avaliação da unidade curricular incide sobre a aquisição das competências referidas.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

In classes, concepts and methodologies are presented and illustrated with examples, motivating students for the relevance of the corresponding study, and developing student's ability to understand and solve different problems in algebraic topology. Additionally, classes will allow students to test these skills, under the supervision of a professor. Students can also test these skills by themselves, scheduling individual appointments with professors in case of difficulties. The evaluation of the curricular unit focuses in the acquisition of the mentioned capabilities.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

James Davis and Paul Kirk, Lecture Notes in Algebraic Topology. AMS Graduate Studies in Math. 35, 2001.

Allen Hatcher, Algebraic Topology. Cambridge University Press, 2001 (main reference).

Peter May, A Concise Course in Algebraic Topology. Chicago Lectures in Mathematics, 1999.

Anexo II - Seminário em Matemática Pura

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Seminário em Matemática Pura

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Pure Mathematics Seminar

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

80

9.4.1.5. Horas de contacto:*S:28***9.4.1.6. ECTS:***3***9.4.1.7. Observações:***<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***Vítor Hugo Bento Dias Fernandes - S:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***n.a.***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta unidade curricular o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:*

- *acompanhar um seminário científico avançado em matemática*
- *preparar um tema para apresentação oral*
- *apresentar um tema científico a um auditório de especialistas*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:*At the end of this course students should have acquired knowledge and skills to:*

- *follow a scientific seminar on advanced topics on mathematics*
- *prepare a topic for oral presentation*
- *present a scientific topic to an audience of experts*

9.4.5. Conteúdos programáticos:*Nesta disciplina, os estudantes vão trabalhar em temas combinados, com o regente da disciplina, para preparação de um ou mais seminários.***9.4.5. Syllabus:***In this course, students will work on some topics chosen together with the supervisor in order to prepare one or more seminars.***9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular***Os conteúdos desenvolvidos são escolhidos dentro dos conteúdos programáticos das unidades curriculares do programa.***9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.***The developed contents are chosen within the topics of the plan of the program.***9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):***O estudante será acompanhado pelo professor por meio de orientação tutorial.**É obrigatória a assistência aos seminários do grupo de Álgebra e Lógica ou de Análise do Centro de Matemática e Aplicações (CMA). Os seminários proferidos pelo aluno serão alvo de avaliação***9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):***The student will be followed by the teacher through tutorials.**It is mandatory to attend the seminars of the Algebra and Logic or Analysis group of the Centro de Matemática e Aplicações (CMA). The seminars given by the student will be subject to evaluation.***9.4.8. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular.***As metodologias de ensino são focadas nos objetivos de aprendizagem em três aspetos:**1. Trabalho em autonomia: os alunos devem aprofundar os temas escolhidos para os seminários procurando bibliografia adequada; devem selecionar os conteúdos a apresentar e a forma dessa apresentação (demonstração, explicação intuitiva, introdução de nomenclatura específica, introdução de conceitos base, etc) e elaborar material de*

apoio (apontamentos, slides, etc).

2. *Tutorial: as dificuldades e dúvidas com todo o processo de aprendizagem são acompanhadas em regime de tutorial.*
3. *Seminários: a assistência aos seminários do grupo de Álgebra e Lógica ou de Análise do CMA permite o contacto com novos assuntos e conceitos, obriga ao domínio da linguagem técnica e permite ainda ver em prática algumas das formas de apresentação oral de temas científicos.*

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Teaching methodologies are focused on the learning objectives in three ways:

1. *Work autonomy: students should study the themes chosen for seminars seeking adequate bibliography; students should choose the content and form for presentation (demonstration, intuitive explanation, introduction of specific nomenclature, introduction of basic concepts, etc.) and prepare support material (notes, slides, etc).*
2. *Tutorial: the difficulties and doubts about the whole process of learning are monitored under the tutorials.*
3. *Seminars: following seminars of the Algebra and Logic or Analysis group of CMA allows contact with new subjects and concepts, requires the mastery of technical language and also allows to see in practice some styles of oral presentation of scientific topics*

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

A bibliografia será a adequada aos temas fixados para cada seminário.

Anexo II - Dissertação em Matemática Pura

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Dissertação em Matemática Pura

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Dissertation

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Anual / Annual

9.4.1.4. Horas de trabalho:

1680

9.4.1.5. Horas de contacto:

OT:56

9.4.1.6. ECTS:

60

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes - OT:56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Qualquer docente do Mestrado em Matemática e Aplicações - OT:56

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Preparação de uma dissertação sobre um tema de Matemática Pura. O tema não necessita consistir de um problema científico em aberto, contudo, o seu tratamento e/ou apresentação devem conter originalidade.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Preparation of a monography under a subject related to Pure Mathematics. The subject is not required to be an unsolved scientific problem, however, its approach and/or presentation must present novelty.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

O programa da dissertação depende do assunto específico escolhido para a Dissertação.

9.4.5. Syllabus:

The dissertation plan depends on the specific subject of the Dissertation.

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

A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência do programa de trabalho acordado entre o orientador e o estudante. O referido programa de trabalho deverá obedecer aos objetivos apresentados em "Objetivos de Aprendizagem".

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the scientific plan accorded between the supervisor and the student. Such plan must agree with the goals required in "Objetivos de Aprendizagem".

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

Orientação da dissertação, de acordo com o tema proposto pelo orientador e aceite pelo estudante. No final a dissertação é discutida/avaliada por um júri.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

Supervision of the dissertation, according to the subject proposed by the supervisor and accepted by the student. At the end the dissertation is discussed/evaluated by a jury.

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

A Comissão Científica do Mestrado zelará pela coerência das metodologias de ensino.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The Scientific Committee of the Master will assess the coherence of the methods.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

A bibliografia depende do assunto específico escolhido para a Dissertação.

Anexo II - Estatística não Paramétrica**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Estatística não Paramétrica

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Nonparametrics Statistics

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Regina Bispo - TP:28

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Frederico Caeiro - TP:28

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Este curso apresentará aos alunos procedimentos estatísticos não paramétricos, incluindo estimativa de funções, regressão não paramétrica e modelos aditivos. Os alunos terão acesso ao software R com vista à execução de computação não paramétrica. No final deste curso, o aluno terá adquirido conhecimentos e competências que lhe permitirá:

- *Formular, testar e interpretar vários testes de hipótese para localização e escala e independência.*
- *Produzir e interpretar estatísticas e gráficos, usando técnicas de estimação não paramétrica de densidade e de funções*
- *Modelar variáveis resposta usando regressão não paramétrica e modelos aditivos generalizados*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

This course will introduce students to the basics of nonparametric statistical procedures, including function estimation, nonparametric regression and additive models. Students will be given access to R software for nonparametric computing. At the end of this course the student will have acquired knowledge and skills that will enable him to:

- *Formulate, test and interpret various hypothesis tests for location, scale, and independence problems.*
- *Produce and interpret statistics and graphs, using nonparametric density estimation and nonparametric function estimation techniques.*
- *Model response variables using nonparametric regression and generalized additive models*

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. Introdução à Estatística não paramétrica

1.1 Variáveis aleatórias e distribuições de probabilidade;

1.2 Combinação linear de variáveis aleatórias;

1.3 Estatísticas ordinais e sua distribuição;

1.4 Propriedades estatísticas: viés, variância, erro quadrático médio e eficiência;

1.5 Intervalos de confiança e testes de hipóteses.

2. Testes de hipóteses não paramétricos

2.1 Testes de aleatoriedade;

2.2 Testes de ajustamento;

2.3 Testes para uma amostra ou duas amostras emparelhadas;

2.4 Testes para duas ou mais amostras independentes.

3. Estimação não paramétrica

3.1 Intervalos de confiança para quantis;

3.2 Estimação da função de distribuição;

3.3 Histograma e estimador do núcleo da função densidade Seleção de parâmetros;

3.4 Intervalos de confiança e envelopes de confiança.

4. Regressão não-paramétrica

4.1 Kernel;

4.2 Polinómios locais;

4.3 Splines.

5. Modelos aditivos. Modelos aditivos generalizados.

9.4.5. Syllabus:

1. Introduction to nonparametric statistics

1.1 Random variables and its probability distribution;

1.2 Linear combination of random variables;

1.3 Ordinal statistics and their distribution;

1.4 Statistical properties: bias, variation and mean square error;

1.5 Confidence Intervals and Hypothesis Tests.

2. Nonparametric Hypothesis Tests

2.1 Tests of randomness;

2.2 Adjustment tests;

2.3 Tests for one or two paired samples;

2.4 Tests for two or more independent samples.

3. Nonparametric Estimation

- 3.1 Confidence Intervals for Quantiles;
- 3.2 Estimation of the distribution function;
- 3.3 Histogram and kernel estimators;
- 3.4 Confidence Intervals and Confidence Envelopes.

4. Nonparametric Regression

- 4.1 Kernel;
- 4.2 Local polynomials;
- 4.3 Splines.

5. Additive models. Generalized additive models.

9.4.6. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular
Os conteúdos programáticos incluem alguns dos principais métodos estatísticos não paramétricos. Este curso fornecerá a teoria essencial e as ferramentas práticas, incluindo de computação, necessárias para atingir os objetivos da unidade curricular.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.
The syllabus includes some of the main nonparametric statistical methods. This course provides main theory concepts and practical tools, including computational skills to achieve the course objectives.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas serão teórico-práticas (com recurso a laboratórios de informática e software de análise estatística). Nos materiais de apoio às aulas incluem-se os slides relativos a cada capítulo, exercícios com e sem resolução e ficheiros com dados que servem de base para a resolução dos mais diversos problemas. A bibliografia fornecida aos alunos serve de complemento aos materiais de apoio disponibilizados. Durante as aulas serão dadas todas as indicações necessárias para a utilização correta do software R, utilizado na resolução dos problemas propostos. A avaliação será feita através de um trabalho, individual, de análise de dados (50%) e de um teste (50%)

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

*Classes will be theoretical and practical (using computer labs and statistical analysis software). Class support materials include slides for each chapter, exercises with and without resolution, and data files that serve as the basis for solving various problems. The bibliography provided to the students complements the available support materials. During the classes will be given all the necessary indications for the correct use of the software R, used in solving the proposed problems.
The evaluation will be done through an individual work (50%) and a test (50%).*

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

As metodologias de ensino incluirão as componentes teórica e prática. A componente teórica será aprofundada através da exposição oral dos conceitos apoiada em slides devidamente elaborados para o efeito e através da análise e discussão de diferentes exemplos. A vertente prática será desenvolvida através da resolução de problemas e da discussão dos mesmos. Estas duas componentes permitirão atingir os objetivos de aprendizagem definidos.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Teaching methodologies include theoretical and practical components. The theoretical component will be presented through the oral exposition of the concepts supported by slides and the analysis and discussion of different examples. The practical component will be developed through problem solving and discussion. These two components will allow to achieve the defined learning objectives.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- J.D. Gibbons and S. Chakraborti, Nonparametric statistical inference. Chapman and Hall/CRC Press, 2011.*
- Z. Govindarajulu, Nonparametric Inference, World Scientific, 2007.*
- W. Hardle et all, Nonparametric and Semiparametric Models, Springer, 2004.*
- L. Wasserman, All of Nonparametric Statistics, Springer, 2006.*

Anexo II - Teoria das Distribuições

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Teoria das Distribuições

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Theory of Distributions

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:*Semestre / Semester***9.4.1.4. Horas de trabalho:***168***9.4.1.5. Horas de contacto:***TP:56***9.4.1.6. ECTS:***6***9.4.1.7. Observações:***<sem resposta>***9.4.1.7. Observations:***<no answer>***9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):***José Maria Gomes - TP:28***9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:***Ana Margarida Ribeiro - TP:28***9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):***No final desta unidade curricular, o estudante terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:*

- Conhecer as bases de Teoria da Medida que motivam a noção de Distribuição enquanto extensão de uma medida de Radon.*
- Conhecer e utilizar fluentemente as propriedades, resultados e procedimentos elementares da teoria das distribuições; com vista à sua aplicação a equações diferenciais.*
- Compreender a topologia dos espaços de distribuições e aplicá-la aos diferentes conceitos de convergência de uma sucessão de funções.*
- Diferenciar distribuições e estabelecer a relação entre este tipo de diferenciação e a diferenciação no sentido clássico.*
- Conhecer a noção de operador diferencial e de solução fundamental.*
- Aplicar a transformada de Fourier a distribuições temperadas e conhecer as suas principais propriedades;*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:*By the end of this course, the student should have acquired knowledge, skills and competences in order to:*

- To know the basic notions on Geometric Measure Theory, that allow the understanding of a distribution as an extension of a Radon measure.*
- Use fluently the elementary properties, results and procedures concerning distributions, in view of applications to differential equations;*
- Understand the topology of the distribution's space and apply it to the different notions of convergence of a sequence of functions.*
- Differentiate distributions and establish the relationship between this type of differentiation and differentiation in the classical sense.*
- To be familiar with the notion of differential operator and fundamental solution.*
- Apply the Fourier Transform to tempered distributions and to know its main properties.*

9.4.5. Conteúdos programáticos:*Teoria Geométrica da Medida**1.Noção de medida de Radon.**2.Teoremas de Vitali e Besicovitch.**3.Derivação de medidas de Radon e Teorema da derivação de Lebesgue-Besicovitch.**4.Teorema da Representação de Riesz para funcionais lineares contínuos em $C_c(\mathbb{R}^n)$.**Teoria das Distribuições**1.Diferenciação de funções não regulares.**2.Espaços de Fréchet; Espaços C^k e C^∞ ; Limites indutivos topológicos e o espaço das funções teste.**3.Espaço das distribuições. Formas lineares contínuas; Funções localmente integráveis.**4.Convergência de sucessões de distribuições; Topologia fraca e fraca*; Convergência de distribuições e propriedades fundamentais.**5.Diferenciação no espaço das distribuições. Operadores diferenciais: solução fundamental; convolução; Produto de convolução e propriedades gerais.**6.Distribuições temperadas. Funções regulares de decrescência rápida e passagem ao dual; espaços L_p enquanto*

*distribuições temperadas; Transformada de Fourier e propriedades.
7. Aplicação: Espaços de Sobolev.*

9.4.5. Syllabus:

Geometric Measure Theory

- 1 Radon measures
- 2 Covering theorems of Vitali and Besicovitch
- 3 Differentiation of Radon measures
- 4 Riesz Representation Theorem for continuous linear functionals in $C_c(\mathbb{R}^n)$.

Theory of Distributions

1. Historical Context.
Differentiation of nonregular functions.
2. Preliminaries.
Frechet's Spaces; Spaces C^k and C^∞ , Inductive topological limits and test functions.
3. Space of Distributions.
Linear Continuous forms; Locally Integrable Functions.
4. Convergence of sequences of distributions; Weak and Weak * topology; Characterisation of the Convergence of Distributions and fundamental properties.
5. Differentiation of distributions.
Differential operators; Fundamental Solutions; Convolution of distributions; General properties of convolution;
6. Tempered Distributions.
Smooth rapid decreasing functions; L^p spaces as tempered distributions; Properties of the Fourier Transform.
7. Application: Sobolev Spaces.

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

O Programa contempla todos os itens referidos nos objetivos de aprendizagem. Em particular, as fichas de exercícios, apontamentos teóricos e outro material fornecido aos alunos foram construídos por forma a que os alunos possam desenvolver de forma equilibrada todos os conhecimentos e capacidades necessárias ao bom cumprimento desses objetivos.

A equipa docente seguirá de perto, quer nas aulas teóricas quer nas aulas práticas, os progressos e dificuldades dos alunos.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The Program specifically addresses all the items mentioned in the "learning goals" section. In particular, all the exercise sheets, theoretical notes and other documents given to the students have been constructed in order to allow them to attain, in a precise way, those goals.

The professors of this course will monitor, in the practical and theoretical classes, the progresses and difficulties of the students.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

As aulas teórico-práticas consistem na exposição dos conteúdos da disciplina, ilustrada com exemplos de aplicação. Durante estas aulas, os alunos serão chamados a resolver exercícios e a elaborar demonstrações de alguns dos resultados apresentados.

Quaisquer dúvidas são esclarecidas no decorrer das aulas ou nas sessões destinadas a atendimento de alunos ou ainda em sessões combinadas directamente entre aluno e professor.

Os alunos poderão obter aprovação à disciplina por avaliação contínua, que conta com três momentos avaliativos. Em alternativa, poderão submeter-se a um exame final que engloba todos os conteúdos da disciplina

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

During the Theoretical-Practical classes, the different contents of this course will be exposed. Students will be asked to solve exercises and elaborate proofs of some of the different results presented.

Any questions or doubts will be addressed during the classes, during the weekly sessions specially programmed to it or even at special sessions previously arranged between professors and students.

The students may obtain approval in this course by performing three tests during the semester. Also, they may present themselves to a final exam that will test all the learning goals of this course.

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

As componentes teóricas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são ministradas em sessões teóricas, com o apoio adicional dos docentes nas aulas práticas e horários de atendimento, caso seja necessário. A aquisição destes conhecimentos é avaliada nas provas escritas (testes/exames). As componentes práticas necessárias para atingir os objetivos de aprendizagem são desenvolvidas em todas as formas de horas de contacto: nas sessões teóricas através da exposição e discussão dos conceitos fundamentais da disciplina e nas sessões práticas através da resolução de problemas com apoio do docente.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

The theoretical components needed to attain the learning goals are given in theoretical sessions, with the additional help of teachers in practical sessions and in tutorial sessions, if needed. The acquisition of facts and skills is assessed in the form of written exams.

The practical components needed to achieve the learning goals are given, in the theoretical sessions, through the exposition and discussion of the key concepts of this course and, in the practical sessions, through problem solving with the help of the teacher.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

- 1.F. Friedlander and M. Joshi, *Introduction to the Theory of distributions*;
- 2.A. Kolmogorov and V. Fomin, *Introductory real analysis*;
- 3.W. Rudin, *Functional Analysis*;
4. L. Schwartz, *Théorie des Distribution*;
- 5.L. Schwartz, *Méthodes mathématiques pour les Sciences Physiques* ;
- 6.R. Strichartz, *A Guide to Distribution Theory and Fourier Transforms*.

Teoria Geométrica da Medida (Geometrical Measure Theory)

1. L. Evans R Gariepy, *Geometrical Measure Theory and Fine Properties of Functions*;
2. Federer H., *Geometrical Measure Theory*.

Análise Funcional (Functional Analysis): Functional Analysis, Yosida.

Anexo II - Geometria Algébrica

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Geometria Algébrica

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Algebraic Geometry

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Ana Cristina Casimiro – TP: 56

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

n.a.

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Introduzir os alunos nos métodos da Geometria Algébrica, nomeadamente dar-lhes a conhecer as ferramentas básicas para que possam trabalhar com os conceitos da teoria das variedades algébricas afins e projetivas e dos seus morfismos, e como ponto de partida para possível investigação nesta área.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

To introduce students in the methods of Algebraic Geometry, namely, to give them to know the basic tools needed to work with the notions of affine and projective algebraic varieties and its morphisms, and as a starting point to possible future research on this area.

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. *Varietades Algébricas: topologia de Zariski, fechados de Zariski e ideais: Nullstellensatz, variedades afins, variedades projetivas, dimensão e morfismos finitos, lema de normalização de Noether, teorema do ideal principal, produtos de variedades algébricas, mergulho de Segre, variedades separadas e variedades completas.*
2. *Teoria de feixes: definição de feixe, exemplos de feixes, cohomologia.*
3. *Divisores: definição, grau, equivalência linear, Teorema de Riemann-Roch. (opcional)*
4. *Fibrados vectoriais sobre curvas algébricas. (opcional)*

9.4.5. Syllabus:

1. *Algebraic varieties: Zariski topology, Zariski closed sets and ideals: Nullstellensatz, affine varieties, projective varieties, dimension and finite morphisms, Noether's normalization Lemma, Principal Ideal Theorem, products of algebraic varieties, Segre's embedding, separable varieties and complete varieties.*
2. *Sheaves theory: definition of sheaves, examples of sheaves, sheaf cohomology.*
3. *Divisors: definition, degree, linear equivalence, Riemann-Roch theorem. (optional)*
4. *Vector bundles on algebraic curves. (optional)*

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

O tema 1. pretende introduzir a topologia de Zariski e a noção de variedade algébrica, objecto central na geometria algébrica, os morfismos entre variedades e proceder para o estudo de algumas noções geométricas: dimensão, espaço tangente, pontos suaves e singulares. O tema 2. pretende introduzir a noção de feixe em geometria algébrica e dar as suas propriedades fundamentais, focar-se em diversos exemplos e introduzir a cohomologia de feixes. Se o tempo permitir, podem ser tratados os temas 3. ou 4., que respectivamente, pretendem introduzir a noção de divisores de uma variedade algébrica ou a de fibrado vectorial sobre uma curva algébrica.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

Topic 1. aims to introduce Zariski topology and the notion of algebraic variety, central object in algebraic geometry, the morphisms between varieties and proceed to the study of some geometric notions: dimension, tangent space, regular and singular points. Topic 2. aims to introduce the concept of sheaf in algebraic geometry and its fundamental properties, to focus in several examples and to introduce sheaf cohomology. If time allows, it can be treated topics. 3. and 4., which respectively, pretend to introduce the notion of divisors of an algebraic variety or of a vector bundle on algebraic curves.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A unidade curricular funcionará com 3 horas semanais de aulas teórico-práticas e 1 hora de apoio/dúvidas em sala de aula. A aprendizagem autónoma dos alunos centrar-se-á na resolução de séries avançadas de exercícios, alguns contendo provas de resultados fundamentais.

Regularmente será designado uma lista de exercícios aos alunos, cuja resolução deve entregar na sessão seguinte e possivelmente efectuar uma exposição oral desta. A nota final será a média aritmética das notas obtidas nas listas de exercícios e nas exposições orais.

Se aluno tiver reprovado tem ainda a oportunidade de realizar um exame final de 3h.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The course will have 3 hours classes dedicated to theory and exercises and 1 hour of student support in class. Students must, by themselves, solve advance exercises, some of them being the proof of some essential results. Students must solve a designated list of exercises regularly and possibly, give lectures. The final grade will be the arithmetic average of the grades obtained in the lists of exercises and lectures. If the student does not approve he has also the opportunity to realize a 3h final exam.

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

Havendo 3 h de aulas teórico-práticas por semana, bem como 1 hora de apoio/dúvidas em sala de aula, haverá certamente horas de contacto suficientes para um aluno conseguir acompanhar a matéria da unidade curricular. As séries de exercícios serão o mais completas possíveis, sendo a resolução destas a melhor maneira de os alunos progredirem na aprendizagem da unidade curricular. Dessa forma a avaliação será quase exclusivamente baseada na correção das séries de exercícios, embora pesada com a discussão destas nas aulas práticas.

Os alunos terão ainda oportunidade de demonstrarem e expandirem os seus conhecimentos por via de uma apresentação oral de uma hora.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Since the course has 3 hours classes dedicated to theory and practice and 1 hour of student support in class, students will be able to assimilate the fundamentals of the course.

The list of exercises is designed to be as complete as possible, and students are encouraged to solve all exercises as the best way to assimilate the concepts. In this way the evaluation will be exclusively based on the correction of the exercises lists, although weighted with a discussion of the lists in the exercise classes.

To students are given the opportunity to show and expand their knowledge by giving lectures themselves.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

1. "Algebraic Geometry", Robin Hartshorne, Springer-Verlag, Graduate Texts in Mathematics, 52, 1977.
2. "Introduction to Commutative Algebra", M.F. Atiyah, I.G. Macdonald, Westview Press (Perseus Books Group), 1969.
3. M. Reid, Undergraduate Algebraic Geometry, LMS Student Texts, Cambridge University Press, 1989.
4. I. Shafarevich, Basic Algebraic Geometry 1, Springer-Verlag, 1994.
5. J. Harris, Algebraic Geometry. A First Course, Graduate Texts in Mathematics, 133, Springer-Verlag, 1985.
6. K Hulek, Elementary Algebraic Geometry, Student Mathematical Library 20. (American Mathematical Society, 2003).

Anexo II - Seminário em Ciências dos Dados e da Decisão**9.4.1.1. Designação da unidade curricular:**

Seminário em Ciências dos Dados e da Decisão

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Data and Decision Sciences Seminar

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

M

9.4.1.3. Duração:

Semestre / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

84

9.4.1.5. Horas de contacto:

S:28

9.4.1.6. ECTS:

3

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Regina Maria Baltazar Bispo - S:14

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes - S:7

Jorge Orestes Lasbarrères Cerdeira - S:7

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

Esta UC tem como objetivo central o desenvolvimento de competências de investigação e de realização de trabalho em contextos reais, no âmbito das áreas de especialização. Um dos objetivos específicos desta unidade curricular passa por possibilitar aos alunos um contacto com questões analíticas reais, apresentados por Empresas parceiras do MMA, cuja abordagem implique a utilização da Matemática, culminando na apresentação e discussão de um relatório.

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

Students are expected to develop research skills and realize work in real contexts, within the areas of specialization. One of the specific objectives of this course is to enable students to contact with real analytical questions, presented by MMA partner companies, whose approach involves the use of mathematics, culminating in the presentation and discussion of a report

9.4.5. Conteúdos programáticos:

1. Recursos e fontes de informação:

1.1 Pesquisa: estratégias e técnicas

1.2 Plágio e ética da Informação/Mendeley

2. *Apresentação de seminários temáticos (apresentação de desafios matemáticos por empresas convidadas)*
3. *Desenvolvimento de estudos individuais no âmbito dos seminários temáticos apresentados por empresas.*

9.4.5. Syllabus:

1. Resources and sources of information:

- 1.1 *Research: Strategies and Techniques*
- 1.2 *Plagiarism and Information Ethics / Mendeley*
2. *Presentation of thematic seminars (presentation of mathematical challenges by invited companies)*
3. *Development of individual studies within the thematic seminars presented by the companies.*

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

O programa do Seminário em Ciências da Decisão e dos Dados visa o desenvolvimento de competências de investigação e de realização de trabalho em contextos reais, no âmbito das áreas de especialização, colocando os alunos em contacto com questões analíticas apresentadas por empresas. Os temas apresentados servem de motivação para o desenvolvimento de competências científicas na área escolhida, indo assim ao encontro dos objetivos da UC.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The Seminar on Data and Decision Sciences syllabus aims to develop research skills and realization work in real contexts, within the areas of specialization, putting students in contact with analytical questions presented by companies. motivation for the development of scientific competences in the chosen area, thus meeting the objectives of the UC.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

O 1º tópico do programa assenta numa exposição teórico-prática. No 2º tópico do programa são apresentados seminários de 20 minutos, seguidos de debate em contexto de sala de aula. A discussão e acompanhamento dos temas e do estudo em desenvolvimento realiza-se em regime tutorial. A elaboração do relatório vai aferir a capacidade de aplicar os conhecimentos ao problema concreto em estudo.

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The first topic of the program is based on a theoretical and practical exposition. The second topic of the program presents 20-minute seminars, followed by discussion in the classroom context. The discussion and follow-up of the themes and the study under development is carried out under tutorial support. The preparation of the report will assess the ability to apply knowledge to the specific problem under study.

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

Uma vez que se pretende o desenvolvimento de competências de investigação individuais, nos tópicos escolhidos pelos alunos, a metodologia de ensino escolhida foi a de apoio tutorial coerente com os objetivos apresentados.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Since it is intended to develop individual research skills in the topics chosen by the students, the teaching methodology chosen was that of tutorial support consistent with the objectives presented.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

A bibliografia será indicada para convenientemente cobrir o assunto respeitante ao tópico selecionado por cada aluno. The bibliography will be suitable to conveniently cover the topic regarding the topic selected by each student.

Anexo II - Programação Avançada para Ciência e Engenharia de Dados

9.4.1.1. Designação da unidade curricular:

Programação Avançada para Ciência e Engenharia de Dados

9.4.1.1. Title of curricular unit:

Advanced Programming for Data Science and Engineering

9.4.1.2. Sigla da área científica em que se insere:

I

9.4.1.3. Duração:

Semestral / Semester

9.4.1.4. Horas de trabalho:

168

9.4.1.5. Horas de contacto:

TP:56

9.4.1.6. ECTS:

6

9.4.1.7. Observações:

<sem resposta>

9.4.1.7. Observations:

<no answer>

9.4.2. Docente responsável e respetiva carga lectiva na unidade curricular (preencher o nome completo):

Nuno Preguiça - TP:14

9.4.3. Outros docentes e respetivas cargas lectivas na unidade curricular:

Carlos Damásio - TP:14

João Moura Pires - TP:14

João Costa Seco - TP:14

9.4.4. Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):

No final desta UC o estudante de ciências e engenharia a nível de segundo ciclo terá adquirido conhecimentos, aptidões e competências que lhe permitam:

- *Compreender e ser capaz de desenvolver as atividades de tratamento e transformação dos dados experimentais ou de sensores para posterior análise exploratória de dados.*
- *Compreender o modelo relacional e ser capaz de exprimir interrogações usando os operadores relacionais para obter dados de uma base de dados relacional.*
- *Compreender os desafios associados ao processamento de grandes quantidades de dados.*
- *Perceber o papel da interação e conhecer as principais técnicas de interação.*
- *Ser capaz de estruturar um programa não trivial em funções, classes e módulos.*
- *Ser capaz de exprimir computações usando um modelo imperativo ou operadores funcionais.*
- *Conhecer e ser capaz de exprimir computações sobre dados complexos e espaço-temporais.*
- *Conhecer e saber escolher as visualizações de dados mais adequadas aos dados e às análises pretendidas.*

9.4.4. Learning outcomes of the curricular unit:

In the end of this course, the student will have obtained knowledge, skills and competences to:

- *Understand and be able to develop data treatment and transformation activities for experimental and sensor data, as a preparation step for data analysis.*
- *Understand the relational model and be able to express queries using relational operators to extract data from a relational data base.*
- *Understand the challenges associated to the processing of large amount of data.*
- *Understand the role of interaction and know the key interaction techniques.*
- *Be able to structure a non-trivial program in functions, classes and modules.*
- *Be able to express computation adopting an imperative model or functional operators.*
- *Know how to express computation over complex and spatial temporal data.*
- *Know and be able to select the most adequate visualization for a given data and analysis.*

9.4.5. Conteúdos programáticos:**1. Introdução à Programação para Análise de Dados**a. *Ciência de Dados*b. *Metodologia CRISP***2. Estruturação e organização de Software**a. *Módulos, Classes e utilização de APIs*b. *Modelo de processamento funcional de dados (operadores map, flatmap, reduce, etc.)*c. *Modelos de deployment de programas (e.g. bibliotecas, programas independentes, Jupyter Notebooks)***3. Acesso, consulta e tratamento de dados**a. *Dados espaço-temporais e complexos. Formas de acesso a conjuntos de dados*b. *Linguagem de interrogação de dados relacionais: SQL. Projecções, seleções, junções e agregações.*c. *Tratamento e transformação de séries e dados tabulares.***4. Visualização**a. *Fundamentos da visualização interativa de dados*b. *Principais instrumentos de visualização de dados para análise exploratória de dados*c. *Uso de bibliotecas Python para visualização de dados e desenho de pequenos painéis interativos*

5. Escalabilidade e serviços na Cloud

a.Desafios e aproximações

b.Framework de computação paralela (e.g. Spark)

9.4.5. Syllabus:

1. Introduction to Programming for Data Analysis

a.Data Science

b.CRISP methodology

2. Software structuring and organization

a.Modules, Classes and use of APIs

b.Functional model for data processing (operators map, flatmap, reduce, etc.)

c.Models for application deployment (e.g. libraries, standalone applications, Jupyter Notebooks)

3. Data access, querying and treatment

a.Complex and Spatial-temporal data. Mechanisms for accessing data sets.

b.Language for querying of relational data: SQL. Projection, selection, join and aggregation.

Anexo A – Ficha da unidade curricular – 2019

Pág.4 - 5

c.Treatment and transformation of data series and tabular data.

4. Visualization

a.Fundamental of interactive data visualization.

b.Main techniques of data visualization for exploratory data analysis.

c.Use of Python libraries for data visualization and design of small dashboards.

5. Scalability and Cloud services

a.Challenges and approaches.

b.Framework for parallel processing (e.g. Spark)

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

O principal objetivo da UC é fornecer ao estudante os conhecimentos e competências necessárias para desenvolver programas que lhe permitam efetuar processamento de dados, como requerido pelas ciências e engenharias.

Após a introdução, os conteúdos programáticos focam-se em quatro temas complementares.

O primeiro, aborda tópicos de estruturação e organização de software, os quais são fundamentais para ser capaz de desenvolver programas não triviais.

O segundo, aborda a problemática do acesso, consulta e tratamento de dados. Estes tópicos fornecem os conhecimentos e competências para aceder a dados, tratá-los e exprimir computações sobre os dados.

O terceiro tema aborda a problemática da visualização, fornecendo os conhecimentos necessários para selecionar a visualização apropriada aos diferentes problemas.

O último tema aborda a problemática do processamento de grandes quantidades de dados, fornecendo os conhecimentos base para lidar com o problema.

9.4.6. Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's learning objectives.

The main objective of the course is to provide the student with the knowledge and skills necessary to develop programs that enable him / her to perform data processing as required by science and engineering.

After the introduction, the syllabus focuses on four complementary themes. The first deals with software structuring and organization topics, which are fundamental to be able to develop nontrivial programs. The second addresses the problem of access, querying and data processing.

These topics provide the knowledge and skills to access data, process it, and express computations about the data.

The third theme addresses the visualization problem, providing the knowledge necessary to select the visualization appropriate to the different problems.

The last theme addresses the problem of processing large amounts of data, providing the basic knowledge to deal with the problem.

9.4.7. Metodologias de ensino (avaliação incluída):

A unidade curricular será suportada em aulas teóricas onde serão enquadrados os tópicos principais a serem abordados. O ensino teórico recorrerá a muitos exemplos de datasets existentes para ilustrar problemas típicos encontrados quando se tem que lidar com dados reais. Serão fornecidas as boas práticas, soluções e metodologias informáticas para atacar estes problemas. As aulas práticas serão fundamentalmente baseadas na linguagem e ecossistema Python para a análise e visualização de dados, uma das soluções mais utilizadas pela academia e indústria. O ambiente Python será integrado com um conjunto de ferramentas e serviços externos, ilustrando um ambiente real de processamento e tratamento de dados.

Avaliação baseada em trabalho prático (50%) e em 2 testes (cada 25%).

9.4.7. Teaching methodologies (including evaluation):

The course will be supported in lectures where the main topics to be addressed will be framed. Theoretical teaching will draw on many examples of existing datasets to illustrate typical problems encountered when dealing with actual data. Best practices, solutions and computer methodologies to address these problems will be provided. The hands-on classes will be fundamentally based on the Python language and ecosystem for data analysis and visualization, one of the most widely used solutions by academia and industry. The Python environment will be integrated with a set of external tools and services, illustrating a real data processing and processing environment.

Assessment based on practical work (50%) and 2 tests (each 25%).

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

As aulas teóricas introduzem os problemas, conceitos e técnicas abordados na UC. As aulas práticas e os trabalhos são usados para colocar em prática estes conhecimentos na resolução de problemas, utilizando linguagens e ferramentas atuais.

A combinação das aulas teóricas com as aulas práticas é fundamental para a consolidação dos conhecimentos e aptidões através da prática, com a utilização de exemplos com dados reais variados.

9.4.8. Demonstration of the coherence between the teaching methodologies and the learning outcomes.

Lectures introduce the problems, concepts and techniques covered in the course. The lab sessions and assignments are used to put this problem-solving knowledge into practice using current languages and tools.

The combination of lectures and labs is fundamental for the consolidation of knowledge and skills through practice, using examples with varied real data.

9.4.9. Bibliografia de consulta/existência obrigatória:

Database System Concepts, 7th Edition (essencialmente capítulos 2,3 e 4) Abraham Silberschatz, Henry F. Korth and S. Sudarshan McGraw Hill, 2019

Anand Balachandran Pillai, Software Architecture with Python, Packt Publishing, 2017.

Tamara Munzner. Visualization Analysis and Design. A K Peters Visualization Series, CRC Press, 2014. ISBN 9781466508910

Moreira, João, Andre Carvalho, and Tomás Horvath. A General Introduction to Data Analytics. John Wiley & Sons, 2018.

9.5. Fichas curriculares de docente

Anexo III**9.5.1. Nome do docente (preencher o nome completo):**

<sem resposta>

9.5.2. Ficha curricular de docente:

<sem resposta>