

# **Mecânica Estrutural:**

**Ocorrência: 1ºAno-1ºSemestre**

**Carga Horária:** 15h00T +30h00 T/P++ 7h30 EL/OT

## **Objetivos de aprendizagem da unidade:**

A disciplina de Mecânica Estrutural é aqui apresentada através de uma abordagem moderna que, dando ao aluno uma visão global e integrada dos aspectos formais e práticos da discretização, tanto direta como indireta, torna-o apto a elaborar modelos discretos para os diversos sistemas físicos, de cuja solução requer a aplicação do método dos elementos finitos. Estes sistemas físicos incidirão fundamentalmente em problemas de elasticidade de comportamento elástico linear. Em termos do comportamento material a análise plástica limite de pórticos e lajes é um bom complemento da formação anterior. Finalmente abordam-se os problemas geometricamente não lineares de estruturas reticuladas. No decurso da formação o aluno irá também ter a capacidade de verificar a ocorrência de erros de modelação e outros tipos de erro comuns no uso de software.

## **Conteúdos programáticos:**

Elasticidade Plana: Introdução à Elasticidade. Estados Planos de Tensão e de Deformação;

Método dos Elementos Finitos: Introdução ao Método. Elementos de barra e bidimensionais. Formulação matricial. Funções de Aproximação. Elasticidade Plana. Apoios elásticos. Assentamentos e Reações de Apoio. Apoios Inclinados. Formulação de elementos de Laje;

Análise Plástica Limite: Conceitos básicos: Secções Críticas. Mecanismos. Condições de cedência, escoamento e paridade. Admissibilidade Estática e Cinemática. Teoremas da análise limite. Soluções estaticamente e cinematicamente admissíveis. Formulação matricial. Mecanismos múltiplos e parciais. Interação de esforços. Aplicação em pórticos planos e lajes;

Análise geometricamente não-linear e Instabilidade bifurcacional: Instabilidade por ponto limite. Análise geometricamente não-linear de estruturas reticuladas planas. Carga crítica. Trajetórias de equilíbrio. Método de Newton-Raphson e da Matriz Secante.

## **Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular:**

A aprendizagem pelo aluno dos conceitos genéricos da elasticidade tridimensional é fundamental para o uso do método dos elementos finitos, nomeadamente as interação entre as relações cinemáticas, relações de equilíbrio e relações constitutivas do material. Posteriormente é feita a introdução ao método dos elementos finitos de forma progressiva iniciando-se com elementos unidimensionais (barra de treliça, de viga, de barra de pórtico e de viga coluna), até aos elementos bidimensionais (estados planos de tensão e deformação, elementos de laje, e elementos de junta). Para cada um dos elementos adotam-se as funções de aproximação de deslocamentos adequadas, gradualmente mais complexas e com as suas particularidades, consideram-se as relações constitutivas consoante o problema físico em causa, e aplicando o Princípio dos Trabalhos Virtuais concretiza-se o equilíbrio nodal do sistema. Toda a abordagem será feita matricialmente por ser traduzir numa maior versatilidade entre os diversos tipos de elementos finitos aqui tratados. Naturalmente que serão discutidas as condições de fronteira, rígidas e elásticas, serão modelados os diversos tipos de ações (carga na fronteira e no domínio, assentamento de apoio, temperatura e tensões iniciais). Serão apresentados ao aluno os métodos de refinamentos  $h$ ,  $p$ ,  $r$  e autoadaptativos. O

aluno será alertado para os diversos tipos de erros de aproximação, modelação física, etc., e de utilização de software. Os elementos finitos usados têm comportamento elástico linear. Complementarmente é tratada a análise plástica de pórticos e lajes, os teoremas cinemático, estático e de unicidade, a identificação de secções críticas, carga de cedência e os diversos mecanismos de colapso (múltiplos ou parciais). A formulação matricial será também apresentada por constituir uma boa sistematização dos métodos. A análise geometricamente não-linear e Instabilidade bifurcacional serão apresentadas exclusivamente para aplicação em estruturas reticuladas, planas, com determinação de carga crítica e trajetórias de equilíbrio, utilizando o método iterativo de Newton-Raphson ou o método da Matriz Secante.

A estrutura da unidade curricular é coerente, dado que existe uma evolução nos tópicos apresentados, ao nível da complexidade de elementos, do comportamento material e comportamento geométrico. Com esta unidade curricular, o aluno ficará com as competências necessárias, para o emprego do método dos elementos finitos, e da análise plástica limite nas restantes unidades curriculares no âmbito da teoria de estruturas e dimensionamento estrutural.

### **Metodologias de ensino (avaliação incluída):**

Apresentação das aulas com recurso a slides PowerPoint, os quais são fornecidos no início da semana em ficheiro tipo pdf aos alunos. A apresentação teórica de cada tema é seguida da exemplificação com exercício já resolvido. Resolução autónoma de outros exercícios com recurso aos programas; Scilab, Q7Q8Q9-Estados planos de tensão e deformação (desenvolvido por um dos docentes) e SAP2000.

A avaliação será constituída por atividades desenvolvidas no Moodle e momentos de avaliação. As atividades do Moodle serão desenvolvidas com carácter regular, ao longo do semestre, incluindo resolução de exercícios ou questionários e com um peso de 15%.

A avaliação contínua será constituída por 2 testes individuais, com pesos de 40 e 45%.

A avaliação por exame tem um peso de 85%, podendo ser realizado em 1ª Época/Época normal ou 2ª Época/Época de recurso.

A nota final considerará a melhor das duas: (Média Testes/Exame)\*0.85+Moodle\*0.15 ou (Média Testes/Exame)

### **Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular:**

Após uma revisão prévia das matérias associadas à mecânica dos sólidos, será apresentada ao aluno uma introdução à elasticidade plana, designadamente no cálculo de campos de deslocamentos, deformações e tensões, para análise de estados planos de tensão e deformação. São estabelecidas as relações de equilíbrio, compatibilidade e constitutivas.

Posteriormente, será feita a introdução ao Método dos Elementos Finitos, ao nível dos tipos elementares, seguida da formulação propriamente dita, ao nível matricial. Será apresentada a utilização de funções de aproximação com recurso ao programa SciLab, permitindo ao aluno a visualização gráfica das mesmas. Serão utilizados refinamentos  $h$  e  $p$ . Para além da ação por carga e/ou deslocamento será lecionada ao aluno a análise dos efeitos da ação da temperatura e assentamentos de apoio. Após a aprendizagem pelo aluno, dos tipos de elementos lineares e bilineares, será apresentada a formulação de elementos de laje fina e espessa, através das formulações de Kirchoff e Reissner-Mindlin.

Serão apresentados ao aluno os conceitos básicos de análise plástica, com determinação da localização de secções críticas e possíveis mecanismos. Resolução de problemas de aplicação em pórticos planos recorrendo ao SciLab, ao programa Q7Q8Q9 no caso de paredes e ao programa SAP2000 no caso de lajes.

Paralelamente à lecionação, o aluno irá desenvolver um trabalho prático, com aplicação da matéria, com esclarecimento de dúvidas por e-learning e em tutoria. A parte final da matéria é composta por análise de não-linearidade geométrica, com instabilidade bifurcacional e instabilidade por ponto limite. Será lecionada a determinação de carga crítica e de trajetórias de equilíbrio, recorrendo aos métodos de Newton-Raphson e da Matriz Secante.