

# Fenómenos de Transferência Avançados

**Ocorrência:** 1.º Ano, 1.º Semestre

**Carga Horária:** TP: 30,0; TP: 30,0

**Área Científica:** Processos em Engenharia Química e Biológica

## **Objetivos de aprendizagem (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes):**

Nesta unidade curricular pretende-se fazer o aprofundamento e consolidação dos conhecimentos de transferência de massa, de calor e de momento adquiridos durante a licenciatura. Pretende-se que os estudantes compreendam as equações gerais da conservação, sabendo aplicar os diversos métodos para a simplificação dessas equações, adequando-as a diversos processos e condições existentes na indústria.

Os estudantes devem ainda saber resolver formas mais complexas dessas equações utilizando métodos numéricos de resolução. É ainda objetivo desta unidade curricular a introdução de conceitos de transferência simultânea de massa, momento e energia em particular em fenómenos de fluxos multifásicos, permitindo aos estudantes entender e resolver problemas complexos envolvendo fluxos de gás-líquido-sólido.

## **Conteúdos programáticos:**

1. Revisão de conceitos aplicados a fenómenos de transferência.
2. Aplicação aos fenómenos de transferência dos operadores rotacional, divergência, gradiente e laplaciano. Equações de conservação diferenciais. Equações de Navier-Stokes para o escoamento de fluidos. Aplicação das transformadas de Fourier e de Laplace às equações gerais de conservação. Métodos de resolução numérica das equações de conservação.
3. Escoamento multifásico: introdução e definições. Padrões de fluxo. Mapas de fluxo. Perda de carga em tubulações: modelos homogéneos e de fases separadas, modelos cinemáticos, correlações aplicadas a escoamento de óleo e gás. Transferência de calor e massa. Instrumentação e medidas. Formulação diferencial das equações locais instantâneas. Formulação diferencial das equações médias: modelo de duas fases, modelo de difusão/deslizamento e modelo homogéneo. Equações constitutivas. Distribuição de fases. Transientes. Modelação de padrões de escoamento e suas transições.

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

A unidade curricular inicia-se com uma breve revisão dos conceitos lecionados na licenciatura relativamente aos fenómenos de transferência. Seguidamente os conteúdos dividem-se em dois grandes grupos. No primeiro, capítulo 2, pretende-se lecionar os conceitos de fenómenos do transporte de massa, momento e energia partindo das equações diferenciais gerais da conservação (Navier-Stokes). Esta abordagem permite consciencializar os estudantes de que as distintas aplicações dos fenómenos de transporte resultam de um modelo abrangente concretizados para as condições específicas, deste modo os estudantes apreendem uma visão mais geral e abstrata deste tipo de matérias. Neste capítulo serão ainda lecionados métodos de resolução analíticos e numéricos das equações diferenciais de conservação com aplicabilidade concreta na indústria, permitindo apreender as equações aplicadas a processos concretos como resultantes de simplificações das equações gerais. No 3.º capítulo desta unidade curricular lecionam-se conteúdos de fenómenos de transferência avançados utilizados em processos industriais mais complexos como são os fluxos multifásicos. Neste capítulo serão abordados os princípios básicos da análise de fluxo gás-líquido-sólido.

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

Aulas teóricas intercalando períodos de exposição de conteúdos com exemplos de aplicação e proposta de pequenas tarefas para os estudantes executarem, para consolidação dos conhecimentos adquiridos.

Aulas práticas dedicadas à resolução de exercícios propostos previamente, individualmente ou em pequenos grupos.

A avaliação por exame é feita à base de um exame final escrito (100%). Em regime de avaliação contínua são realizados dois testes de igual ponderação, com peso de 60% da nota final, e um trabalho a efetuar pelos alunos em grupo, com entrega de um relatório e apresentação oral em inglês, sobre a aplicação dos conceitos lecionados a um processo industrial específico. Este trabalho terá um peso de 40% na nota final.

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

Esta unidade curricular tem por objetivo essencial permitir que os estudantes adquiram conhecimentos avançados de fenómenos de transferência, o que lhes permite ter uma visão mais abrangente dos diversos problemas industriais envolvendo estes conteúdos.

Os estudantes deverão ter formação básica ao nível dos fenómenos de transferência, normalmente adquiridos durante um curso de licenciatura, permitindo que estes conteúdos avançados possam ser apreendidos com rigor e de forma sólida e consistente. Consequentemente, é necessário que estes conteúdos sejam lecionados por exposição em aulas teóricas.

A consolidação dos conhecimentos tende a ser efetuada nas aulas práticas de resolução de exercícios, havendo lugar à resolução de inúmeros problemas pelo docente e individualmente pelos estudantes, sendo esta a razão para que um número significativo de aulas de natureza prática seja concretizado.

Considerando que uma parte significativa da bibliografia de referência se encontra publicada em inglês é essencial que durante a exposição da matéria os termos técnicos sejam lecionados também em inglês, sendo obrigatório que os estudantes realizem trabalhos apresentados de forma escrita e oral em inglês.

**Bibliografia:**

1. "Transport Phenomena", Revised 2<sup>nd</sup> Edition, R. Byron Bird, Warren E. Stewart e Edwin N. Lightfoot, John Wiley & Sons, ISBN-10: 0470115394, 2006.
2. "Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer", 5<sup>th</sup> Edition, James Welty, Charles E. Wicks, Gregory L. Rorrer e Robert E. Wilson, John Wiley & Sons, ISBN-13: 978-0470128688, 2007.
3. "Fundamentals of Multiphase Flow", Christopher E. Brennen, Cambridge University Press, ISBN-13: 978-0521139984, 2009.
4. "Multiphase Flow Analysis Using Population Balance Modeling: Bubbles, Drops and Particles", GuanHeng Yeoh e Dr. Chi Pok Cheung e Jiyuan Tu, Butterworth-Heinemann, ISBN-13: 978-0080982298, 2013.
5. "The Flow of Complex Mixtures in Pipes", George Wheeler Govier, 2<sup>nd</sup> edition, Society of Petroleum, ISBN-13: 978-1555631390, 2008.

# Advanced Transport Phenomena

**Calendar:** 1<sup>st</sup> Year, 1<sup>st</sup> Semester

**Contact Hours:** TP: 30.0; TP: 30.0

**Scientific Area:** Processes in Chemical and Biological Engineering

## **Intended learning outcomes (knowledge, skills and competences to be developed by the students):**

This curricular unit aims to deepen and consolidate the knowledge about the mass, heat and momentum transfer acquired during the undergraduate studies. It is intended that students understand the general equations of conservation, knowing how to apply the various methods for the simplification of these equations, adapting them to different processes and conditions in the industry.

Students must also learn to solve more complex forms of these equations using numerical methods of resolution. It is still a goal of this curricular unit to introduce concepts about the simultaneous transfer of mass, momentum and energy, particularly for phenomena in multiphase flows, enabling students to understand and solve complex problems involving gas-liquid-solid flows.

## **Syllabus:**

1. Review of concepts applied to transfer phenomena.
2. Application to the transfer phenomena of the rotational, divergence, gradient and Laplacian operators. Mass, movement and energy conservation differential equations. Fluid motion Navier-Stokes equation. Applications of the Laplace and Fourier transforms to the general conservation equation. Numerical resolution of general conservation equations.
3. Multiphase flow: introduction and definitions. Flow patterns. Flow Maps. Head loss in pipes: homogeneous models and separate phases, kinematic models, correlations applied to flow of oil and gas. Heat and mass transfer. Instrumentation and measurements. Differential formulation of local instant equations. Differential formulation of mean equations: two-phase diffusion / slip model and homogeneous model. Constitutive equations. Phase distribution. Transients. Modeling flow patterns and their transitions.

**Evidence of the syllabus coherence with the curricular unit's intended learning outcomes:**

The curricular unit starts with a brief review of the concepts taught in undergraduate studies regarding transfer phenomena. The contents are then divided into two major groups. Chapter 2 will analyze the concepts of mass, moment and energy transport phenomena using the general differential equations of conservation (Navier-Stokes). This approach allows students to be aware that the different applications of transport phenomena result from a broadening and comprehensive model implemented for specific conditions. Therefore, students grasp a more general and abstract view of such contents. In this chapter some analytical and numerical resolution methods of the general differential equations of conservation with practical applicability in the industry are taught, allowing the students to understand that the equations applied to concrete cases results from simplifications of the general equations. In the 3<sup>rd</sup> chapter of this curricular unit, advanced transport phenomena contents are taught, namely the ones used in more complex industrial processes, i.e., multiphase flows. This chapter will address the basic principles of the analysis of gas-liquid-solid flows.

**Teaching methodologies (including evaluation):**

Theoretical classes with lecturing periods and application examples followed by small tasks to be performed by the students in order to consolidate the contents previously taught. Practical classes dedicated to problem solving, individually or in small groups.

Assessment will have a component based on a final written exam (100%). Assessment based on continuous evaluation is performed by two tests of equal value, which corresponds to 60% of the final grade. A written work with an oral presentation (English language) must be delivered by groups of students. The assignment must be about the application of the curricular unit content to a specific industrial process. This work corresponds to 40% of the final evaluation.

**Evidence of the teaching methodologies coherence with the curricular unit's intended learning outcomes:**

For this curricular unit it is essential to allow students to acquire advanced knowledge of transfer phenomena, which lets them have a more comprehensive view of the various industrial problems involving these contents.

Students should have previously learned in an undergraduate course, the basic knowledge of transfer phenomena. This will allow that these advanced contents are apprehended in a rigor, firm and consistent way; consequently, these contents must be taught by lecturing.

Consolidation of this knowledge must be done in practical classes by solving exercises by teachers and by students individually, this being the reason why a significant number of classes of a practical nature must be lectured.

A significant part of the bibliography is published in English, therefore it is essential that during the lecture the technical terms must also be taught in English and the students are required to perform work and presenting them in English (oral and written form).

**Bibliography:**

1. "Transport Phenomena", Revised 2<sup>nd</sup> Edition, R. Byron Bird, Warren E. Stewart and Edwin N. Lightfoot, John Wiley & Sons, ISBN-10: 0470115394, 2006.
2. "Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer", 5<sup>th</sup> Edition, James Welty, Charles E. Wicks, Gregory L. Rorrer and Robert E. Wilson, John Wiley & Sons, ISBN-13: 978-0470128688, 2007.
3. "Fundamentals of Multiphase Flow", Christopher E. Brennen, Cambridge University Press, ISBN-13: 978-0521139984, 2009.
4. "Multiphase Flow Analysis Using Population Balance Modeling: Bubbles, Drops and Particles", GuanHeng Yeoh e Dr. Chi Pok Cheung and Jiyuan Tu, Butterworth-Heinemann, ISBN-13: 978-0080982298, 2013.
5. "The Flow of Complex Mixtures in Pipes", George Wheeler Govier, 2<sup>nd</sup> edition, Society of Petroleum, ISBN-13: 978-1555631390, 2008.