

Ficha de Unidade Curricular LEQB

Unidade Curricular

Português

Fenómenos de Transferência 2

Inglês

Transport Phenomena 2

Total de horas

Teóricas

33

Teórico-práticas

18

Práticas Laboratoriais

9

Docente Responsável

Nome completo

Teodoro José Pereira Trindade

Outros Docentes

Nome completo 1

João Silva

Nome completo 2

José Palmeira

Nome completo 3

Nome completo 4

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

Learning outcomes of the curricular unit

Os alunos devem:

- identificar e descrever matematicamente os mecanismos de transferência de massa;
- quantificar a resistência total no transporte de um componente entre fases fluidas;
- estabelecer balanços mássicos em regime estacionário para diversas geometrias;
- conhecer a metodologia de cálculo dos coeficientes de transferência de massa;
- identificar situações de transferência simultânea de calor e massa estabelecendo os respectivos balanços mássicos e energéticos;
- dimensionar torres de arrefecimento, evaporadores e colunas de absorção/desabsorção gasosa.

Neste contexto, o aluno deverá desenvolver capacidade de análise dos conteúdos lecionados e relacionar esses conhecimentos para formular e resolver problemas de engenharia. Deverá igualmente evidenciar a capacidade de raciocínio estruturado e integrado aplicando os seus conhecimentos de forma rigorosa que indique uma abordagem profissional ao seu trabalho.

Students should:

- identify and describe mathematically the mass transfer mechanisms;
- quantify the total resistance in the transport of a component between fluid phases;
- establish steady-state mass balances for various geometries;
- understand the calculation methodology of mass transfer coefficients;
- identify situations of simultaneous of heat and mass transfer, establishing their respective material and energy balances;
- dimensioning water cooling towers, evaporators and gas absorption / desorption columns.

In this context, the student should develop the ability to analyze the content taught and relate this knowledge to formulate and solve problems. It should also demonstrate structured and integrated reasoning skills by applying their knowledge in a rigorous way that indicates a professional approach to their work.

Conteúdos programáticos

Syllabus

1) Transferência de massa: Teoria da difusão (lei de Fick, analogias com transferência de momento e calor), velocidade de difusão, difusividades, misturas multicomponente, métodos de estimativa; Teoria da transferência de massa (filme, camada limite, interface, penetração); Coeficientes de transferência de massa (determinação experimental e correlações empíricas); Análise dimensional e analogias.

2) Humidificação: Definições; Cartas psicrométricas; Torres de humidificação; Balanços mássicos e entálpicos a sistemas psicrométricos. Torres de arrefecimento (princípio de funcionamento, dimensionamento).

3) Evaporação: Tipos de evaporadores (simples e multi-efeito); Ebulioscopia; Linhas de Dühring; Entalpia versus concentração; Capacidade; Economia; Dimensionamento.

4) Absorção gasosa: Resistências em série (dois filmes); Coeficientes globais; Dimensionamento de colunas com enchimento (métodos baseados na velocidade de transferência de massa; eficiência, capacidade e perda de carga).

1) Mass transfer: Diffusion theory (Fick's law, momentum and heat transfer analogies), diffusion velocity, molecular diffusivity, multicomponent mixtures, estimation methods; Mass transfer theory (film, boundary layer, interface, penetration); Mass transfer coefficients (experimental determination and empirical correlations); Dimensional analysis and analogies.

2) Humidification: Definitions; Psychrometric charts; Air humidification towers; Mass and enthalpy balances in psychrometric systems. Water cooling towers (operation principles, dimensioning).

3) Evaporation: Types of industrial evaporators (single and multi-effect); Ebullioscopy; Dühring diagrams; Enthalpy versus concentration; Evaporator capacity; System economy; Units sizing.

4) Gas absorption: Resistances in series to mass transport (two films); Global transfer coefficients; Dimensioning of packed columns (packed selection, efficiency, capacity and pressure drop).

Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular *Demonstration of the syllabus coherence with the curricular unit's objectives*

Os conceitos de transferência de massa são ilustrados com recurso a situações do dia-a-dia de forma a entender mais facilmente os distintos mecanismos moleculares e os princípios físicos que os governam. Estes fundamentos transporte de massa contribuem para um aumento da capacidade dos estudantes usarem a abordagem matemática no desenvolvimento de modelos descritivos de sistemas reais. A generalidade das situações exploradas na unidade curricular são unidimensionais, no entanto é apresentada a título demonstrativo a situação completa de transferência de massa tridimensional. Usando balanços macroscópicos é também estudada a variação espacial e temporal da concentração de uma espécie química, com e sem reacção química. O efeito das condições fronteira na solução analítica das equações às derivadas parciais é igualmente sublinhada. A analogia entre a transferência de quantidade de movimento, transferência de calor e transferência de massa, permite integrar conceitos essenciais para o dimensionamento de unidades processuais como colunas de absorção/desabsorção gasosa, ou mesmo evaporadores, assim como outras unidades onde ocorre transferência simultânea de calor e massa (torres de humidificação e de arrefecimento de água). Adicionalmente, é explorada na disciplina uma abordagem alternativa que consiste em averiguar a adequação de unidades industriais já existentes a novas situações de operação tais como caudais de fluidos ou tipos de enchimento da coluna.

The concepts associated to mass transfer phenomena are illustrated using everyday situations in order to easily understand the different molecular mechanisms and the physical principles that govern them. These mass transport fundamentals contribute to an increase in students' ability to use the mathematical approach in the development of descriptive models of practical systems. In general, the situations explored in the course are unidimensional, however, it is presented as a demonstrative example the complete formulation of a three-dimensional mass transfer situation. Using macroscopic balances is also studied the space and time variation for the concentration of a chemical specie, with and without chemical reaction. The effect of boundary conditions on the analytical solution of equations to partial derivatives is also underlined. The analogy between momentum transport, heat transport and mass transport allows us to integrate essential concepts in the design of relevant unit process: such as gas absorption (scrubbers) or stripping columns, or even evaporators and other equipment where exists simultaneous heat and mass transfer (humidification and water cooling towers). Additionally, an

alternative approach is also developed in the course which is the verification of the suitability of existing units to different operating conditions such as fluid flow rates or packing materials.

Metodologias de ensino (avaliação incluída)

Teaching methodologies (including evaluation)

Existem sessões teóricas (T), teórico-práticas (TP) e práticas (P).

Nas sessões T são essencialmente introduzidos os conceitos, nas aulas TP é explorada a sua aplicação e discussão, e nas aulas P é realizada a experimentação laboratorial.

A avaliação na UC desenvolvida durante o período lectivo envolve a realização de dois testes parciais (A1 e A2) com duração até 2h, e um trabalho laboratorial (A3). A classificação final (NF) obtida é calculada por: $NF = 0.35 (A1 + A2) + 0.30 A3$.

A avaliação por exame envolve a realização de uma prova escrita de exame final (A4) com duração de 3h. A classificação final obtida na UC é calculada por: $NF = 0.70 A4 + 0.30 A3$.

Para aprovação a NF mínima deverá ser 10 valores, existindo nota mínima de 8 valores nas componentes A1 e A2, e de 9.5 valores nas componentes A3 e A4. O arredondamento às unidades será efectuado somente em NF. Por defeito antes das cinco décimas e por excesso a partir das cinco décimas.

There are theoretical (T), theoretical-practical (TP) and practical (P) sessions.

In T sessions the concepts are introduced, in the TP classes is exploited its application and discussion, and in the P classes are carried out laboratory experimentation activities.

The UC evaluation occurring during the academic period involves the accomplishment of two written tests (A1 and A2) lasting until 2h, and a laboratorial activity (A3). The final classification (NF) obtained is calculated by: $NF = 0.35 (A1 + A2) + 0.30 A3$.

The UC evaluation by exam involves the accomplishment of a written final exam (A4) with duration of 3h. The final classification obtained in the UC is calculated by: $NF = 0.70 A4 + 0.30 A3$.

For approval the minimum NF should be 10 values, with a minimum grade of 8 values in components A1 and A2, and 9.5 values in components A3 and A4. Rounding procedure to the units will be done in NF only.

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

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

A separação entre sessões teóricas (T), teórico-práticas (TP) e práticas (P), permite tornar efectiva a transferência de conhecimentos aos objectivos de aprendizagem da UC.

Nas sessões T são essencialmente introduzidos os conceitos associados a leis e modelos que descrevem os fenómenos e regulam o funcionamento de operações unitárias. Sempre que seja adequado, os conceitos expostos serão ilustrados com exemplos numéricos seleccionados e meios áudio-visuais.

Nas aulas TP é explorada a aplicação e discussão dos conceitos expostos nas aulas teóricas, de forma a consolidar e aprofundar o seu entendimento e a sua aplicação a situações reais. A resolução tutorada de exercícios numéricos que retratem casos práticos é uma ferramenta utilizada nas aulas TP para demonstrar a aplicação dos conteúdos lecionados e assim conferir aos alunos as valências pretendidas.

As aulas P correspondem a sessões de experimentação laboratorial, pretendendo-se com elas consolidar e alargar pela via experimental os conceitos lecionados nas aulas T e TP. Os trabalhos laboratoriais propostos possibilitam igualmente o contacto com equipamentos e metodologias experimentais, aumentando as competências adquiridas a áreas transversais, nomeadamente no planeamento de experiências, no tratamento de resultados, na pesquisa bibliográfica, no trabalho em equipa e na produção de documentação escrita, entre outras.

O recurso a casos de estudo que se constituam como exemplos práticos, assim como a ilustração dos conteúdos das aulas teóricas através de pequenos exercícios de aplicação, permite suscitar nos alunos o debate com troca de argumentos em torno dos conceitos lecionados. Desta forma pretende-se potenciar a participação activa durante as aulas de modo a consolidar os conhecimentos. O recurso a meios audiovisuais como os vídeos potencia uma aprendizagem mais eficaz de alguns conceitos mais complexos. Os estudantes são também incentivados a resolver exercícios e executar tarefas adicionais como trabalho de casa. Estas metodologias

fomentam o estudo extra-aula e a aprendizagem independentes.

Os protocolos de trabalhos laboratoriais, os “slides” apresentados durante as aulas, uma colecção de exercícios numéricos e alguns textos de apoio seleccionados, são disponibilizados digitalmente a todos os alunos inscritos na disciplina, na plataforma informática em uso.

The separation between theoretical (T), theoretical-practical (TP) and practical (P) sessions, enables an effective knowledge transfer to meet the learning objectives of the UC.

In T sessions are essentially introduced the concepts associated with laws and models that describe the phenomena and regulate the unit operations behavior. Whenever appropriate, the concepts discussed in class will be illustrated with selected numerical examples and audio-visual aids.

In the TP classes, the application and discussion of the concepts presented in T classes are exploited, in order to consolidate and deepen the understanding and applications to real situations. The tutored resolution of numerical exercises that portray practical cases is a tool used in the TP classes to demonstrate the application of the contents taught and thus gives the students the desired skills.

Classes P correspond to sessions of laboratory experimentation, aiming with them to consolidate and expand through experimentation the concepts taught in classes T and TP. Additionally, the laboratorial work also allows the contact with experimental equipment and methodologies, increasing the acquired competences of transversal knowledge's, namely in the planning of experiments, in the data processing, in the literature survey, in the team work and in the preparation of written reports, among others.

The use of case studies that are practical examples, as well as the illustration of the contents of T classes through small exercises, allows the students to increase the debate with an exchange of arguments around the concepts taught. In this way, it is planned to promote an active participation during classes in order to consolidate knowledge. The use of audio-visual media such as videos enables an effective learning particularly when complex concepts are involved. Students are also invited to work out and perform additional tasks such as homework assignments. These methodologies encourage independent study and learning.

Laboratory protocols, slides presented during classes, a collection of numerical exercises and some selected supporting texts are digitally available to all students enrolled in the course, in the computer platform in use.

Bibliografia Principal

Main Bibliography

[1] Bergman, T.L.; Lavine, A.S.; Incropera, F.P.; de Witt, D.P. (2011) Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th ed, J. Wiley & Sons, N.Y.

[2] Henley E.J., Seader J.D., Roper D.K. (2011) "Separation Process Principles", 3^a ed., Wiley.

[3] McCabe W.L., Smith J.C., Harriot P. (2001) "Unit Operations of Chemical Engineering", 7^a Ed. McGraw-Hill.

[4] Bird R.B., Stewart W.E., Lightfoot E.N. (2007) "Transport Phenomena", Revised 2^a ed., Wiley.

[5] Cussler, E. L. (2009) Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems. 3rd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press

[6] Çengel, Y.; A. Ghajar (2015) A. Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. 5th edition, McGraw-Hill Inc., N.Y.