



## **PLANO DE ENSINO – 2020/I**

<b>IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA</b>				
<b>CÓDIGO</b>	<b>NOME DA DISCIPLINA</b>	<b>TURMA</b>	<b>N.º DE HORAS-AULA SEMANAIS</b>	<b>TOTAL DE HORAS-AULA SEMESTRAIS</b>
<b>EQA5417</b>	<b>Fenômenos de Transferência III</b>	<b>07216</b>	<b>4</b>	<b>72</b>

<b>PROFESSORA MINISTRANTE</b>	<b>CONTATO</b>
Prof. <sup>a</sup> Dr. <sup>a</sup> Cíntia Soares	Endereço eletrônico: cintia.soares@ufsc.br

<b>PRÉ-REQUISITO(S)</b>	
<b>CÓDIGO</b>	<b>NOME DA DISCIPLINA</b>
<b>EQA5415</b> (Engenharia Química)	Fenômenos de Transferência I
<b>EQA5342 e EQA5416</b> (Engenharia de Alimentos)	Termodinâmica para Engenharia Química II e Fenômenos de Transferência II

<b>EQUIVALENTES</b>
ENQ1417 ou ENQ5417

<b>CURSO(S) PARA O(S) QUAL(IS) A DISCIPLINA É OFERECIDA</b>
Curso de Graduação em Engenharia Química Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos

<b>EMENTA</b>
Transferência de massa por difusão. Transferência de massa por convecção. Correlações para o cálculo dos coeficientes de transferência de massa.

<b>OBJETIVOS</b>
<p><b>GERAL</b></p> <p>As disciplinas de Fenômenos de Transferência abrangem os tópicos de transferência de quantidade de movimento, calor e massa. Para os cursos de graduação em Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, estas disciplinas são absolutamente fundamentais (e não apenas uma área de conhecimento), na medida em que abrangem conteúdos que serão utilizados na maioria das disciplinas subsequentes. Com efeito, não é possível imaginar o ensino das Operações Unitárias, do Cálculo de Reatores e da Simulação de Processos Químicos sem um bom entendimento das disciplinas de Fenômenos de Transferência. Desta forma, <b>Fenômenos de Transferência</b> é uma disciplina básica da formação das habilitações profissionais da Engenharia. Ela trata da formação do pensamento científico em Fenômenos de Transferência de forma que processos reais, produtivos ou do cotidiano sejam caracterizados, analisados e representados por modelos matemáticos descritivos dos processos.</p> <p>Nesta direção, a disciplina visa desenvolver o raciocínio abstrato e crítico e o estímulo às considerações lógicas da ciência de fenômenos de transferência de massa e postulação de hipóteses, permitindo-lhe a percepção dos processos conservativos, tanto nas abordagens macroscópicas quanto microscópicas, além de fornecer ao(à) estudante fundamentos que permitam a análise de processos e o projeto de equipamentos onde esse fenômeno de transferência seja importante. Além disto, é objetivo da disciplina habilitar o(a) estudante a resolver problemas concretos (práticos) em transferência de</p>

massa, modelando situações reais (através das equações de conservação), promovendo abstrações e adequando os casos ilustrados a novas situações. Visa também capacitar o(a) estudante a realizar cálculos de transferência de massa, utilizando os mecanismos de difusão e convecção, combinados ou não.

### ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos destacam-se:

- apresentar e discutir os princípios fundamentais da transferência de massa por difusão, por convecção e por difusão e convecção combinados;
- modelar e aplicar os fenômenos de transferência de massa por difusão, convecção e difusão e convecção combinados;
- analisar e identificar a ocorrência dos fenômenos de transferência de massa nas principais operações unitárias da indústria química e de alimentos.

Sendo assim, ao final do semestre o(a) estudante deverá ser capaz de:

- 1) internalizar o significado da terminologia e dos princípios físicos associados à transferência de massa;
- 2) delinear os fenômenos de transferência pertinentes para qualquer processo ou sistema que envolva transferência de massa;
- 3) utilizar as informações necessárias para calcular taxas e fluxos de transferência de massa e/ou determinar perfis de concentração;
- 4) desenvolver modelos representativos de processos ou sistemas reais e tirar conclusões sobre o projeto ou o desempenho de processos/sistemas a partir da respectiva análise.

### CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

#### PROGRAMA TEÓRICO

#### 1. Introdução ao Estudo da Transferência de Massa

#### 2. Fundamentos de Transferência de Massa

- 2.1 Transferência de Massa Molecular
- 2.2 O Coeficiente de Difusão
- 2.3 Transferência de Massa por Convecção

#### 3. Equações Diferenciais de Transferência de Massa

- 3.1 A Equação Diferencial para Transferência de Massa
- 3.2 Formas Especiais da Equação Diferencial de Transferência de Massa
- 3.3 Condições de Contorno Usuais
- 3.4 Passos para a Modelagem de Processos Envolvendo Difusão Molecular

#### 4. Difusão Molecular no Estado Estacionário e Transiente

- 4.1 Transferência de Massa Unidimensional Com e Sem Reação Química
- 4.2 Sistemas Bidimensionais
- 4.3 Difusão no Estado Transiente e a Segunda Lei de Fick
- 4.4 Difusão Transiente em um Meio Infinito e Semi-Infinito

#### 5. Transferência de Massa por Convecção

- 5.1 Considerações Fundamentais em Transferência de Massa por Convecção
- 5.2 Parâmetros Significantes em Transferência de Massa por Convecção
- 5.3 Análise Dimensional da Transferência de Massa por Convecção
- 5.4 Análise Exata e Aproximada da Camada Limite de Concentração

<b>Aula</b>	<b>Conteúdo</b>
Aula 1 05/03 2 horas- aula Aula Presencial	<b>Recepção dos(as) Estudantes e Apresentação e Discussão Detalhada do Plano de Ensino-Aprendizagem da Disciplina.</b>  <b>Discussão Detalhada do Ambiente Virtual de Aprendizagem Moodle.</b>  <b>Introdução ao Estudo da Transferência de Massa:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>discussão a respeito da relação da disciplina com a formação do(a) Engenheiro(a) Químico(a);</li><li>discussão a respeito da contribuição da disciplina no aprendizado do futuro(a) engenheiro(a).</li></ul>
Aula 2 10/03 2 horas- aula Aula Presencial	<b>Introdução ao Estudo da Transferência de Massa (continuação):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>exemplos de aplicação da disciplina na vida cotidiana e no futuro profissional;</li><li>exemplos de processos da indústria química e de alimentos onde os fenômenos de transferência de massa estão presentes;</li><li>definição de transferência de massa;</li><li>classificação dos mecanismos de transferência de massa: transferência de massa por difusão e por convecção (forçada e natural);</li><li>estudo detalhado da transferência de massa por difusão: causa e efeito. Demonstração de vários vídeos iterativos;</li><li>apresentação de vídeos ilustrativos para explicar a influência da temperatura no fenômeno da difusão.</li></ul> <b>Revisão das Principais Relações para Expressão da Concentração:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>concentração molar, fração molar, concentração mássica, fração mássica e massa molar média.</li></ul> <b>Indicação de Exercícios de Aplicação Envolvendo as Principais Relações para Expressão da Concentração.</b>  <b>Apresentação e Sugestão de Leitura do Artigo Científico Intitulado "How We Make Mass Transfer Seems Difficult" de E. L. Cussler.</b>
Aula 3 12/03 2 horas- aula Aula Presencial	<b>Aula de Exercícios e Esclarecimento de Dúvidas.</b>
Aula 4 17/03 2 horas- aula Aula Síncrona	<b>Discussão com os(as) Estudantes Acerca da Suspensão das Aulas Presenciais em Virtude da Pandemia Ocasionada pelo Novo Coronavírus.</b>
Aula 5 01/09 2 horas- aula	<b>Apresentação e Discussão Detalhada do Plano de Ensino-Aprendizagem da Disciplina para o Período da Pandemia.</b>  <b>Período de Ambientação com a Nova Modalidade de Ensino.</b>  <b>Aula de Revisão.</b>

<p>Aula Síncrona</p>	
<p>Aula 6</p> <p>03/09</p> <p>2 horas-aula</p> <p>Aula Síncrona</p>	<p><b>Período de Ambientação com a Nova Modalidade de Ensino.</b></p> <p><b>Aula de Revisão.</b></p>
<p>Aula 7 até Aula 11</p> <p>08/09 a 22/09</p> <p>10 horas-aula</p> <p>Aulas Síncronas, Assíncronas e Híbridas</p>	<p><b>Fundamentos de Transferência de Massa:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• transferência de massa molecular;</li> <li>• coeficiente de difusão;</li> <li>• transferência de massa por convecção;</li> <li>• aulas de exercícios.</li> </ul>
<p>Aula 12 até Aula 18</p> <p>24/09 a 15/10</p> <p>14 horas-aulas</p> <p>Aulas Síncronas, Assíncronas e Híbridas</p>	<p><b>Equações Diferenciais de Transferência de Massa:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• a equação diferencial para transferência de massa;</li> <li>• formas especiais da equação diferencial de transferência de massa;</li> <li>• condições de contorno;</li> <li>• passos para a modelagem de processos envolvendo difusão molecular;</li> <li>• aulas de exercícios.</li> </ul>
<p><b>13/10</b></p> <p><b>2 horas-aula</b></p> <p><b>Aula Assíncrona</b></p>	<p><b>Avaliação I – Lista de Exercícios (LE)</b></p>
<p>Aula 19 até Aula 24</p> <p>20/10 a 05/11</p> <p>12 horas-aula</p> <p>Aulas Síncronas,</p>	<p><b>Difusão Molecular no Estado Estacionário:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• transferência de massa unidimensional com e sem reação química;</li> <li>• sistemas bidimensionais;</li> <li>• aulas de exercícios.</li> </ul>

Assíncronas e Híbridas	
<b>Aula 25</b> <b>10/11</b> <b>2 horas-aula</b> <b>Aula Assíncrona</b>	<b>Avaliação II – Primeira Avaliação Escrita e Individual (P1)</b>
Aula 26 até Aula 29  12/11 a 24/11  8 horas-aula  Aulas Síncronas, Assíncronas e Híbridas	<b>Difusão molecular no estado transiente:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• difusão no estado transiente e a segunda lei de Fick;</li><li>• difusão transiente em um meio infinito e semi-infinito;</li><li>• aulas de exercícios.</li></ul>
<b>Aula 30</b> <b>26/11</b> <b>2 horas-aula</b> <b>Aula Assíncrona</b>	<b>Avaliação III – Segunda Avaliação Escrita e Individual (P2)</b>
Aula 31 até Aula 33  01/12 a 08/12  6 horas-aula  Aulas Síncronas, Assíncronas e Híbridas	<b>Transferência de massa por convecção:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• considerações fundamentais em transferência de massa por convecção;</li><li>• parâmetros significantes em transferência de massa por convecção;</li><li>• análise dimensional da transferência de massa por convecção;</li><li>• análise exata e aproximada da camada limite de concentração;</li><li>• aulas de exercícios.</li></ul>
<b>Aulas 34 e 35</b> <b>10/12 a 15/12</b> <b>4 horas-aula</b> <b>Aulas Síncronas</b>	<b>Apresentação do Seminário Semestral (SEM)</b>
<b>Aula 36</b> <b>17/12</b>	<b>Prova de Recuperação (REC)</b>

<b>2 horas- aula</b>	
<b>Aula Assíncrona</b>	

#### **METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA**

##### **• SOBRE AS AULAS**

A docente considera que o ensino remoto não consiste em uma mera transposição das aulas presenciais. Assim, para que os(as) estudantes se motivem a participar ativamente da aula virtual, as diversas atividades de ensino na disciplina serão síncronas, assíncronas e híbridas, o que dependerá do conteúdo a ser ministrado. Para tanto, os(as) estudantes regularmente matriculados(as) na disciplina serão informados(as) com antecedência a respeito do método que será utilizado.

##### **• AULAS SÍNCRONAS**

No que diz respeito às aulas síncronas, estas serão ministradas nos horários da disciplina (terças-feiras e quintas-feiras a partir das 10h10min), empregando uma das diversas ferramentas gratuitas de apoio ao ensino remoto disponíveis, a saber:

- 1) Web Conferência RNP;
- 2) Big Blue Button;
- 3) Jitsi Meet;
- 4) Microsoft Teams;
- 5) Skype;
- 6) entre outras.

Aulas expositivas (síncronas) serão realizadas com a utilização de material de apoio para apresentação dos conteúdos, de softwares, de simulações, de experimentos virtuais, de vídeos e de debates, além da aplicação do aprendizado baseado em problema (PBL). **Uma vez gravada, a aula será disponibilizada apenas aos estudantes da disciplina. É importante informar que uma vez disponibilizada, a aula gravada não poderá ser repassada a terceiros sem autorização prévia da docente da disciplina.**

##### **• AULAS ASSÍNCRONAS**

As aulas assíncronas envolverão atividades a serem desenvolvidas pelos(as) estudantes e que farão uso de ferramentas diversas e presentes no *Moodle*, tais como fórum, glossário, questionário, tarefa, wiki, entre outras. Estas serão utilizadas nas seguintes atividades:

- 1) aulas de exercícios;
- 2) desenvolvimento de atividades referentes aos conteúdos da disciplina;
- 3) desenvolvimento de projetos individuais ou em grupo.

Para o desenvolvimento das aulas assíncronas, o Ambiente Virtual de Aprendizagem *Moodle* será e deverá ser utilizado para a entrega das atividades.

##### **• AULAS HÍBRIDAS**

Envolvem a ministração de aulas com conteúdo previamente gravado.



Para um melhor aproveitamento da disciplina, assuntos ministrados em outras disciplinas do curso, de semestres anteriores ou do atual, serão considerados conhecidos. Se você tem dificuldades com balanços de massa, de energia, de momento, com cálculo diferencial e integral, química, processos, etc., reserve algum tempo para revisar esses assuntos, pelo menos na medida de sua necessidade.

- **DISPONIBILIZAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO E COMUNICAÇÃO ESTUDANTE-PROFESSOR E PROFESSOR-ESTUDANTE**

Todo o material didático da disciplina será disponibilizado no Ambiente Virtual de Aprendizagem *Moodle*, bem como toda a comunicação entre estudante-professor e professor-estudante. Para tanto, mantenha atualizado seu endereço eletrônico no *Moodle* e tenha o hábito de acessar periodicamente a referida ferramenta.

- **ESCLARECIMENTO DE DÚVIDAS**

As dúvidas referentes ao conteúdo ministrado na disciplina serão esclarecidas de forma remota através de agendamento prévio com a docente da disciplina.

Além disto, a disciplina conta com uma estagiária docente que os auxiliarão nas atividades acadêmicas:

**Juliana De Gregori da Rocha** ([degregorijuliana@gmail.com](mailto:degregorijuliana@gmail.com))

- **FREQUÊNCIA NA DISCIPLINA**

As frequências na disciplina serão computadas e devidamente registradas no Ambiente Virtual de Aprendizagem *Moodle* no item "Frequência".

- **OBSERVAÇÃO**

É importante mencionar que a docente avaliará permanentemente o processo pedagógico não presencial e irá propor alterações sempre que julgar necessário, de modo a garantir o máximo aproveitamento dos conteúdos ministrados na disciplina.

### **METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO**

Para a avaliação da disciplina serão realizadas as seguintes atividades:

- 1) Trabalho envolvendo o estudo do coeficiente de difusão em gases, em líquidos e em sólidos e a resolução de uma lista de exercícios (A1) a ser entregue em data especificada pela docente durante o período de aula. Esta atividade terá um peso de 10% na composição da *Média Final* (MF) da disciplina.
- 2) Além disto, será apresentada uma Lista de Exercícios (LE), a qual deverá ser resolvida individualmente empregando o Ambiente Virtual de Aprendizagem *Moodle*. Esta terá um peso de 10% na composição da *Média Final*.
- 3) Durante o semestre também serão realizadas duas avaliações envolvendo a resolução de exercícios empregando o questionário disponível no Ambiente Virtual de Aprendizagem *Moodle* ou formulários do *Google Forms*. Estas atividades serão realizadas em dois momentos da disciplina (10/11 e 26/11). A estas atividades (P1 e P2) será o atribuído o peso de 40%, sendo cada uma com peso de 20%.
- 4) Os(as) estudantes deverão desenvolver também um trabalho que envolve o estudo e a modelagem de um sistema aplicando os conceitos da transferência de massa. Esta atividade deverá ser desenvolvida durante o semestre e ser apresentada na forma de um seminário (SEM). Este trabalho será realizado em equipe de até 4 (quatro) estudantes e deverá incluir o conteúdo ministrado na disciplina em consonância com o tema selecionado. O tempo de apresentação deverá ser de 30 minutos. Esta atividade terá um peso de 40% na composição da *Média Final* e todos os integrantes da equipe deverão participar do desenvolvimento da



atividade e da apresentação final. Demais informações acerca do trabalho semestral serão apresentadas em aula.

Durante o semestre poderão ser realizadas atividades extras e que auxiliarão na composição da *Média Final* na disciplina. A cada atividade extra será atribuída pontuação entre 0,10 e 0,20, a qual será comunicada previamente aos(às) estudantes.

Assim, a composição da *Média Final* será realizada da seguinte forma:

$$\text{Média Final} = [0,1 \cdot A1 + 0,1 \cdot LE + 0,2 \cdot P1 + 0,2 \cdot P2 + 0,4 \cdot SEM + \Sigma \text{pontuação obtida nas atividades extras}]$$

Será considerado(a) aprovado(a) o(a) estudante que obtiver *Média Final* maior ou igual a 6,00 (seis vírgula zero) e frequência mínima de 75% (setenta e cinco por cento) ao final do semestre.

A *Média Final* 6,0 (60% dos pontos) é considerada a mínima para a aprovação, e não é o que se deve perseguir como objetivo a ser alcançado.

Ao(à) estudante que obtiver frequência mínima de 75% e *Média Final* entre 3,0 e 6,0 ao final do semestre será oferecida a possibilidade de realizar uma prova de recuperação (REC), escrita e individual, sobre todo o conteúdo ministrado no semestre, em data prevista no cronograma proposto.

Nesse caso, a *Média Final*, a ser considerada para fins de aprovação na disciplina, será calculada como segue:

$$\text{Média Final} = (\text{Média Final Semestral} + \text{REC}) / 2$$

Será considerado(a) aprovado(a) o(a) estudante que obtiver *Média Final* maior ou igual a 6,0.

#### BIBLIOGRAFIA BÁSICA

Caso o(a) estudante tenha acesso à literatura, estes são os livros recomendados:

CREMASCO, Marco Aurélio. **Fundamentos de transferência de massa**. Campinas: Ed. da Unicamp, 1998. 741p.

WELTY, James R; WICKS, Charles E; WILSON, Robert E. (Robert Elliot); RORRER, Gregory L. **Fundamentals of momentum, heat and mass transfer**. 5<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley, 2008. xxii, 803p.

Entretanto, todo o conteúdo necessário para o perfeito acompanhamento da disciplina está disponível em apostilas e demais materiais elaborados pela docente da disciplina e que são disponibilizados aos(às) estudantes no Ambiente Virtual de Aprendizagem *Moodle*.

#### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

Caso o(a) estudante tenha acesso à literatura, estes são os livros recomendados:

BENNETT, C. O.; MYERS, J. E. (John Earle). **Fenômenos de transporte**: quantidade de movimento, calor e massa. São Paulo: McGraw-Hill, c1978. Não paginado.

BERGMAN, T. L. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, c2014. xvi, 672 p.

BIRD, R. Byron; STEWART, Warren E.; LIGHTFOOT, Edwin N. **Fenômenos de transporte**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, c2004. xv, 838 p.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa**. 4. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2012. 1 CD-ROM.



INCROPERA, Frank P.; BERGMAN, T. L.; DEWITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, c2008. xix, 643 p.

KAYS, W M. **Convective heat and mass transfer**. W. M. Kays. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1993. 601 (McGraw-Hill series in mechanical engineering).

MIDDLEMAN, Stanley. **An introduction to mass and heat transfer: principles of analysis and design**. New York: J. Wiley, 1997. xviii, 672p.

SPALDING, D B. **Convective mass transfer: an introduction**. London: Arnold, 1963.

WHITE, Frank M. **Heat and mass transfer**. United States of America: Addison Wesley, 1988.

### **OBSERVAÇÕES**

- 1) As datas propostas, bem como a metodologia de ensino para os conteúdos discriminados e/ou para as avaliações, poderão sofrer alteração em função da dinâmica da turma na disciplina ao longo do semestre.

Assinatura da Professora

Assinatura do Chefe do  
Departamento