



## **PLANO DE ENSINO – 2023/2**

<b>I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA</b>				
<b>CÓDIGO</b>	<b>NOME DA DISCIPLINA</b>	<b>TURMA</b>	<b>Nº DE HORAS-AULA SEMANAIS</b>	<b>TOTAL DE HORAS-AULA SEMESTRAIS</b>
EQA5409	Cálculo de Reatores II	7216	4	72

<b>II. PROFESSOR MINISTRANTE</b>	<b>CONTATO</b>
Prof. Dr. Natan Padoin	<a href="mailto:natan.padoin@ufsc.br">natan.padoin@ufsc.br</a> Ramal: 2532

<b>III. PRÉ-REQUISITO(S)</b>	
<b>CÓDIGO</b>	<b>NOME DA DISCIPLINA</b>
EQA5408	Cálculo de Reatores I

<b>IV. EQUIVALENTES</b>
ENQ1409 ou ENQ5409

<b>V. CURSO(S) PARA O(S) QUAL(IS) A DISCIPLINA É OFERECIDA</b>
Engenharia Química

<b>VI. EMENTA</b>
Reatores multifásicos. Catálise heterogênea. Reatores catalíticos heterogêneos. Reatores fluido-fluido. Reatores sólido-fluido. Análise de reatores.

<b>VII. OBJETIVOS</b>
<p>Reatores heterogêneos são equipamentos fundamentais na indústria química, encontrados na síntese de compostos de alto valor agregado, na degradação de poluentes, na produção de combustíveis, dentre inúmeras outras áreas.</p> <p>A análise, o projeto, a otimização e o escalonamento destes equipamentos são responsabilidades de engenheiros químicos. Para tanto, conhecimentos acerca de balanços (de quantidade de movimento, massa, energia e espécie química), fenômenos de superfície, cinética química e fenômenos de transporte são necessários.</p> <p>Nesta disciplina, você desenvolverá habilidades para calcular reatores químicos heterogêneos, integrando conhecimentos adquiridos em outras disciplinas do curso e assimilando novos conceitos específicos que o(a) capacitarão para projetar e analisar esses equipamentos.</p> <p>Portanto, esta disciplina tem os seguintes objetivos:</p> <p style="text-align: center;"><b>GERAL</b></p> <p>Capacitar o(a) aluno(a) para projetar e analisar reatores químicos heterogêneos.</p> <p style="text-align: center;"><b>ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Ensinar os princípios da catálise heterogênea, com ênfase no entendimento sobre propriedades e classificação de catalisadores e na obtenção de leis de velocidade para diferentes mecanismos reacionais.</li></ul>



- Discutir e aplicar conceitos sobre a desativação de catalisadores e meios para contorná-la.
- Explicar o efeito do transporte externo e interno de massa em reatores catalíticos heterogêneos, buscando o entendimento fenomenológico e a assimilação de estratégias para contornar limitações de desempenho.
- Apresentar os princípios de projeto e operação de reatores multifásicos.

VIII. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO	HORAS-AULA
<b>Apresentação e Discussão do Plano de Ensino-Aprendizagem da Disciplina</b>  <b>1. Introdução aos Reatores Catalíticos Heterogêneos</b>  1.1. Reatores Gás-Sólido, Líquido-Sólido e Gás-Líquido-Sólido 1.2. Transporte Externo e Interno de Massa e Fenômenos de Superfície 1.3. Múltiplas Escalas de Análise em Reatores Catalíticos Heterogêneos 1.4. Catalisadores Sólidos Porosos 1.5. Mecanismos Reacionais em Processos Catalíticos Heterogêneos	4
<b>2. Catálise Heterogênea</b>  2.1. Catalisadores: Definições, Propriedades e Classificação 2.2. Cinética de Processos Catalíticos Heterogêneos 2.2.1. Etapas da Catálise Heterogênea 2.2.2. Mecanismos, Etapa Limitante e Leis de Velocidade 2.2.3. Hipótese do Estado Pseudo-Estacionário 2.2.4. Análise de Dados – Obtenção de Leis de Velocidade 2.2.5. Projeto de Reatores Catalíticos Heterogêneos 2.2.6. Deposição Química a Vapor	14
<b>3. Desativação de Catalisadores</b>  3.1. Tipos de Desativação Catalítica 3.2. Estratégias para a Operação de Reatores com Desativação Catalítica	8
<b>4. Efeito do Transporte Externo de Massa em Reações Heterogêneas</b>  4.1. Fundamentos da Difusão 4.2. Coeficiente de Transferência de Massa 4.3. Transferência de Massa para uma Única Partícula 4.4. Reações Limitadas por Transferência de Massa em Reatores de Leito Fixo 4.5. Modelo do Núcleo Não Reagido	18
<b>5. Efeito do Transporte Interno de Massa em Reações Heterogêneas</b>  5.1. Difusão e Reação em um Catalisador Esférico 5.2. Fator de Efetividade Interna 5.3. Fator de Efetividade Global 5.4. Estimativa de Regimes Controlados por Difusão e/ou Reação 5.4.1. Critério de Weisz-Prater 5.4.1. Critério de Mears 5.5. Transferência de Massa e Reação em Reatores de Leito Fixo 5.6. Determinação de Situações Limites por Análise de Dados 5.7. Cálculo de Reatores de Leito de Lama	18
<b>Avaliações Escritas e Individuais (2). Avaliação de Recuperação.</b>	8

**IX. CRONOGRAMA**

Data	Conteúdo
7 e 9 de AGO  (4 h/a)	<p><b>Apresentação e Discussão do Plano de Ensino-Aprendizagem da Disciplina</b></p> <p><b>1. Introdução aos Reatores Catalíticos Heterogêneos</b></p> <p>1.1. Reatores Gás-Sólido, Líquido-Sólido e Gás-Líquido-Sólido 1.2. Transporte Externo e Interno de Massa e Fenômenos de Superfície 1.3. Múltiplas Escalas de Análise em Reatores Catalíticos Heterogêneos 1.4. Catalisadores Sólidos Porosos 1.5. Mecanismos Reacionais em Processos Catalíticos Heterogêneos</p>
14 de AGO a 4 de SET  (14 h/a)	<p><b>2. Catálise Heterogênea</b></p> <p>2.1. Catalisadores: Definições, Propriedades e Classificação 2.2. Cinética de Processos Catalíticos Heterogêneos 2.2.1. Etapas da Catálise Heterogênea 2.2.2. Mecanismos, Etapa Limitante e Leis de Velocidade 2.2.3. Hipótese do Estado Pseudo-Estacionário 2.2.4. Análise de Dados – Obtenção de Leis de Velocidade 2.2.5. Projeto de Reatores Catalíticos Heterogêneos 2.2.6. Deposição Química a Vapor</p>
6 a 18 de SET  (8 h/a)	<p><b>3. Desativação de Catalisadores</b></p> <p>3.1. Tipos de Desativação Catalítica 3.2. Estratégias para a Operação de Reatores com Desativação Catalítica</p>
20 de SET  (2 h/a)	<p><b>PRIMEIRA AVALIAÇÃO ESCRITA E INDIVIDUAL (P1)</b></p>
25 de SET a 30 de OUT  (18 h/a)	<p><b>4. Efeito do Transporte Externo de Massa em Reações Heterogêneas</b></p> <p>4.1. Fundamentos da Difusão 4.2. Coeficiente de Transferência de Massa 4.3. Transferência de Massa para uma Única Partícula 4.4. Reações Limitadas por Transferência de Massa em Reatores de Leito Fixo 4.5. Modelo do Núcleo Não Reagido</p> <p><b>OBS.:</b> 2 e 4 de OUT – SAEQA (4 h/a)</p>
1 de NOV a 4 de DEZ  (18 h/a)	<p><b>5. Efeito do Transporte Interno de Massa em Reações Heterogêneas</b></p> <p>5.1. Difusão e Reação em um Catalisador Esférico 5.2. Fator de Efetividade Interna 5.3. Fator de Efetividade Global 5.4. Estimativa de Regimes Controlados por Difusão e/ou Reação 5.4.1. Critério de Weisz-Prater 5.4.1. Critério de Mears 5.5. Transferência de Massa e Reação em Reatores de Leito Fixo 5.6. Determinação de Situações Limites por Análise de Dados 5.7. Cálculo de Reatores de Leito de Lama</p>



	<b>OBS.:</b> 15 de NOV – Feriado (2 h/a)
6 de DEZ (2 h/a)	<b>SEGUNDA AVALIAÇÃO ESCRITA E INDIVIDUAL (P2)</b>
11 de DEZ (2 h/a)	Atendimento em sala de aula – Revisão do conteúdo para a avaliação de recuperação (REC).
13 de DEZ (2 h/a)	<b>AVALIAÇÃO DE RECUPERAÇÃO (REC)</b>

#### X. METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

As aulas serão ministradas **presencialmente**, na sala de aula **EQA022** do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, utilizando lousa e recursos audiovisuais. Eventualmente, as aulas serão ministradas em sala do Laboratório de Informática do CTC (LIICT) – em data e local informados em tempo hábil.

O ambiente virtual de ensino e aprendizagem (AVEA) **Moodle** ([www.moodle.ufsc.br](http://www.moodle.ufsc.br)) consistirá na base de dados da disciplina e na ferramenta de comunicação entre o professor e os estudantes e vice-versa.

Atendimentos aos alunos ocorrerão **presencialmente**, na sala do professor, nos seguintes horários:

##### TERÇA-FEIRA

8h30min – 9h30min  
13h30min – 14h30min

##### QUINTA-FEIRA

8h30min – 9h30min  
13h30min – 14h30min

##### OU POR AGENDAMENTO

Enviando uma mensagem para o endereço de **e-mail** disponibilizado na seção II

A disciplina contará com a colaboração da estagiária docente:

**Eng.<sup>a</sup> Larissa Fatima Rocha**

e-mail: [r.larissafrocha@gmail.com](mailto:r.larissafrocha@gmail.com)

Laboratório de Materiais e Computação Científica (LabMAC)

As **frequências** nas aulas serão registradas pelo professor em sala de aula e disponibilizadas no **Moodle**.

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 quantidade de movimento, com cálculo diferencial e integral, cinética química, processos, etc., reserve algum tempo para revisar esses assuntos, pelo menos na medida de sua necessidade.

Eventuais alterações nas datas propostas na seção IX serão possíveis apenas com a concordância de **todos(as)** os(as) alunos(as) matriculados na turma com frequência suficiente, através de enquete disponibilizada no **Moodle**.

## XI. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

A análise da aprendizagem será realizada por meio de duas avaliações escritas e individuais (P1 e P2). A **primeira avaliação** versará sobre os **assuntos 1-3**, enquanto a **segunda avaliação** será pautada nos **assuntos 4-5**.

Além disso, dois **seminários** (S1 e S2) em **equipe**, composta por **até três** alunos(as), comporão a avaliação do desempenho. Tais seminários serão pautados em temas relevantes em catálise heterogênea e reatores catalíticos heterogêneos, a saber:

### SEMINÁRIO 1

Reatores multifuncionais: torres de absorção, destilação e extração com reação; reatores de membranas. Reações catalíticas (oxidação seletiva, hidrogenação seletiva, conversão de metano, síntese de Fischer-Tropsch, síntese de Haber-Bosch).

### SEMINÁRIO 2

Reator de leito fluidizado. Reator de leito de lama (*slurry bed reactor*). Reator de leito gotejante (*trickle bed reactor*). Intensificação de processos catalíticos em micro e mesorreatores. Reatores catalíticos em aplicações ambientais. Reatores catalíticos na síntese de compostos de alto valor agregado (indústria farmacêutica, de alimentos e cosmética, por exemplo). Reatores fotocatalíticos. Reatores eletrocatalíticos. Simulação de reatores heterogêneos usando fluidodinâmica computacional (*computational fluid dynamics* – CFD).

**OBS.:** Caso o número de equipes exceda o número de tópicos previstos, pontos adicionais serão incluídos e devidamente comunicados.

As equipes deverão se organizar até a **segunda semana de aulas**. Os nomes com os integrantes de cada equipe deverão ser enviados por um representante da equipe para o **e-mail** disponível na seção II. A **composição das equipes**, os **critérios de avaliação** e a **ordem de apresentação** (definida por sorteio) serão disponibilizados em material complementar publicado no ambiente *Moodle* no primeiro mês de aulas. Os seminários serão apresentados nos **30 min finais de cada aula** a partir da data inicial definida no material complementar.

Além da apresentação oral, utilizando recursos audiovisuais, as equipes deverão entregar um **relatório escrito** sobre o conteúdo apresentado em cada seminário, seguindo as normas disponíveis em

<https://portal.bu.ufsc.br/normalizacao/>

Cada equipe entregará o relatório na data da sua apresentação. Embora apresentados em conjunto, os seminários serão avaliados **individualmente**. Ao relatório, entretanto, será atribuída uma nota única para a equipe.

A **nota final (NF)** será calculada de acordo com a equação:

$$NF = 0,80 \times 0,5 \times \sum_{i=1}^2 P_i + 0,20 \times 0,5 \times \sum_{i=1}^2 S_i$$

onde  $P_i$  representa a nota da  $i$ -ésima avaliação individual (com peso 10,0 cada) e  $S_i$  representa a nota do  $i$ -ésimo seminário em equipe (com peso 10,0 cada).

Se **NF**  $\geq$  **6,0**, o(a) aluno(a) estará aprovado(a). Se  $3,0 \geq NF > 6,0$ , será oferecida a possibilidade de realizar uma avaliação escrita e individual de recuperação (REC). Neste caso, a nota final corrigida (NF\*) será calculada como segue:

$$NF^* = \frac{NF + REC}{2}$$



Será aprovado(a) o(a) aluno(a) que obtiver **NF\*  $\geq 6,0$**  e tiver **frequência suficiente** nas aulas.

### **XII. BIBLIOGRAFIA BÁSICA**

O livro-texto da disciplina é a obra do Prof. H. S. Fogler, 4ª ed., disponível na BU/UFSC:

FOGLER, H. Scott. Elementos de engenharia das reações químicas. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 853 p.

Os capítulos 10-12 constituem a base deste curso. Recomenda-se fortemente o estudo do conteúdo destes capítulos e a resolução de todos os exercícios propostos. Além disso, recomenda-se a revisão contínua dos capítulos 1-9, estudados em Cálculo de Reatores I.

Recomenda-se, ainda, o estudo das seguintes obras (também disponíveis na BU/UFSC):

FROMENT, Gilbert F.; BISCHOFF, Kenneth B. Chemical reactor analysis and design. 2. ed. New York: John Wiley, 1990, 664p.

LEVENSPIEL, Octave. Engenharia das reações químicas. São Paulo: Blucher, 2000, 563 p.

### **XIII. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR**

DORAISWAMY, L.K.; UNER, D. Chemical reaction engineering: beyond the fundamentals. Boca Raton: CRC Press, 2014.

HILL, Charles G. An introduction to chemical engineering kinetics & reactor design. New York: John Wiley & Sons, 1977, 594 p.

JAKOBSEN, Hugo A. Fixed bed reactors. Notas de aula. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 2011, 77 p.

RASE, Howard F. Chemical reactor design for process plants. New York: J. Wiley, 1977, 784 p.

RASE, Howard F. Fixed-bed reactor design and diagnostics: gas-phase reactions. Boston: Butterworths, 1990, 364 p.

ROBERTS, G.W. Reações químicas e reatores químicos. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 414 p. SCHMAL, Martin. Catálise heterogênea. Rio de Janeiro: Synergia, 2011, 358 p.

Material fornecido pelo professor no ambiente virtual de aprendizagem *Moodle*.

*Sites* para consulta de periódicos científicos (<http://www.sciencedirect.com/>, por exemplo).

Prof. Dr. Natan Padoin  
Docente da Disciplina

Prof. Dr. Agenor Furigo Junior  
Chefe do Departamento