



PLANO DE ENSINO – 2021/2

| IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA: | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| CÓDIGO | NOME DA DISCIPLINA | TURMA | Nº DE HORAS-AULA SEMANAIS | TOTAL DE HORAS-AULA SEMESTRAIS |
| EQA5415 | Fenômenos de Transferência I | 05215 | 04 | 72 |

| PROFESSOR(ES) MINISTRANTE(S) | CONTATO |
|-------------------------------------|--------------------|
| Bruno Francisco Oechsler | b.oechsler@ufsc.br |

| PRÉ-REQUISITO(S) | |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CÓDIGO | NOME DA DISCIPLINA |
| EQA5318 e MTM5162 ou EQA5318 e MTM3102 | Introdução aos Processos Químicos e Cálculo B ou Introdução aos Processos Químicos e Cálculo 2- |

| EQUIVALENTES |
|---------------------------|
| ENQ1415 ou ENQ5415 |

| CURSO(S) PARA O(S) QUAL(IS) A DISCIPLINA É OFERECIDA |
|-------------------------------------------------------------|
| ENGENHARIA QUÍMICA ENGENHARIA DE ALIMENTOS |

| EMENTA |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estática dos fluidos. Balanços globais e diferenciais de massa, energia e quantidade de movimento. Análise dimensional e similaridade. |

| OBJETIVOS |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| O estudante deverá ser capaz de identificar cada termo das equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia, bem como dimensionar tubulações para o transporte de fluidos e calcular a espessura da camada-limite hidrodinâmica laminar. |

| CONTEÚDO PROGRAMÁTICO |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 - Introdução |
| 2 - Estática dos fluidos: Lei de Pascal, variação da pressão com a posição em fluidos compressíveis e incompressíveis. Manometria. |
| 3 - Dinâmica dos fluidos. Definição de fluidos. Viscosidade de fluidos Newtonianos. Reologia dos fluidos. Escoamento laminar e turbulento. |
| 4 - Balanço global de massa. |
| 5 - Balanço global de energia. Balanço de energia mecânica. Teorema de Torricelli. |
| 6 - Balanço global de quantidade de movimento. |
| 7 - Balanço diferencial de massa. |



8 - Balanço diferencial de quantidade de movimento. Aplicações de Equação de Navier-Stokes.

9 - Camada limite. Placa plana. Espessura da camada limite, Perfil de velocidade. Solução de Blasius.

10- escoamento turbulento. Distribuição de velocidades no escoamento turbulento em duto circular liso. Perfil universal de velocidades. Coeficiente de atrito. Comprimento equivalente.

11- Análise dimensional e modelos reduzidos.

| Aula | Conteúdo |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 26/10 2h | Tópico 1 – Terminologia (Aula Síncrona no MS Teams): Conceito de Fluido, Hipótese do Contínuo, Dimensões e Sistema de Unidades. Exercício sobre Conversão de Unidades. Propriedades Termodinâmicas dos Fluidos. Propriedades do Escoamento: Forças de Campo e de Superfície. |
| 2 28/10 2h | Tópico 1 – Terminologia (Aula Síncrona no MS Teams): Propriedades do Escoamento: Campos escalares, vetoriais e tensoriais. Reologia dos Fluidos. Analogia entre os Mecanismos de Transporte Molecular de Quantidade de Movimento, Calor e Massa de uma Espécie Química. Exercícios sobre Viscosímetro. |
| 02/10 2h | Feriado: Finados |
| 3 04/11 2h | Tópico 2 – Estática dos Fluidos (Aula Síncrona no MS Teams): Campo escalar de pressão. Equação Básica da Estática dos Fluidos. Campo de Pressão em Líquidos e Gases. |
| 4 09/11 2h | Tópico 2 – Estática dos Fluidos (Aula Síncrona no MS Teams): Escalas de Pressão. Medidores de Pressão. Empuxo. Exercícios de Manometria. |
| 5 11/11 2h | Tópico 3 – Cinemática dos Fluidos (Aula Síncrona no MS Teams): Descrições Lagrangeana e Euleriana. Padrões e Visualização de Escoamentos: Linhas de corrente, de emissão e de trajetória. |
| 6 16/11 2h | Tópico 3 – Cinemática dos Fluidos (Aula Síncrona no MS Teams): Fluxo e Taxa de Transporte. Teorema de Transporte de Reynolds. |
| 7 18/11 2h | Tópico 3 – Cinemática dos Fluidos (Aula Síncrona no MS Teams): Balanços Integral e Diferencial de Conservação de Massa. Exercício de Aplicação. |
| 8 23/11 2h | Tópico 3 – Cinemática dos Fluidos (Vídeo-Aula): Tensor Taxa de Deformação. Generalização da Lei de Viscosidade de Newton. Vorticidade e Escoamento Rotacional. |



| | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9 25/11 2h | Tópico 4 – Dinâmica dos Fluidos Ideais (Aula Síncrona no MS Teams): Escoamentos Viscosos e Invíscidos. Balanço Integral de Conservação de Energia. |
| 10 30/11 2h | Tópico 4 – Dinâmica dos Fluidos Ideais (Aula Síncrona no MS Teams): Equações de Bernoulli e Torricelli. Exercício de Medidores de Vazão. |
| 11 02/12 2h | Tópico 4 – Dinâmica dos Fluidos Ideais (Aula Síncrona no MS Teams): Balanço Integral de Conservação de Quantidade de Movimento. Exercício de Aplicação. |
| 12 07/12 2h | Tópico 4 – Dinâmica dos Fluidos Ideais (Aula Síncrona no MS Teams): Balanço Diferencial de Conservação de Quantidade de Movimento (Equação de Euler). |
| 13 09/12 2h | Questionário dos Tópicos 3 e 4 no Moodle |
| 14 14/12 2h | Tópico 5 - Dinâmica dos Fluidos Viscosos (Aula Síncrona no MS Teams): Balanço Diferencial de Quantidade de Movimento. |
| 15 16/12 2h | Tópico 5 - Dinâmica dos Fluidos Viscosos (Aula Síncrona no MS Teams): Balanço Diferencial de Quantidade de Movimento (Equações de Cauchy e Navier-Stokes) |
| 19/12 - 30/01 | Recesso Escolar |
| 16 01/02 2h | Tópico 5 - Dinâmica dos Fluidos Viscosos (Aula Síncrona no MS Teams): Condições de Contorno. Exercícios de Aplicação das Equações de Navier-Stokes |
| 17 03/02 2h | Tópico 5 - Dinâmica dos Fluidos Viscosos (Aula Síncrona no MS Teams): Exercícios de Aplicação das Equações de Navier-Stokes |
| 18 08/02 2h | Tópico 6 – Escoamento Viscoso Interno (Aula Síncrona no MS Teams): Escoamento Laminar e Turbulento. Escoamento Turbulento: Médias Temporais, Equações de Transporte, Tensão Turbulenta de Reynolds, Perfil Universal de Velocidade. |
| 19 10/02 2h | Tópico 6 – Escoamento Viscoso Interno (Aula Síncrona no MS Teams): Equação da Energia no Escoamento em Tubos. Perda de Carga Distribuída. Fator de Atrito para Fluidos Newtonianos. |
| 20 15/02 2h | Tópico 6 – Escoamento Viscoso Interno (Aula Síncrona no MS Teams): Fator de Atrito para Fluidos Não-Newtonianos. Perda de Carga Localizada. Perda de Carga em Sistemas de Tubulações com Bombas. |
| | |



| | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 21 17/02 2h | Tópico 6 – escoamento viscoso interno (Aula Síncrona no MS Teams): Exemplos de aplicação para o cálculo de Perda de Carga e Potência em Sistemas de Tubulações com Bombas. |
| 22 22/02 2h | Questionário dos Tópicos 5 e 6 no Moodle |
| 23 24/02 2h | Tópico 7 – Análise Dimensional (Aula Síncrona no MS Teams): Adimensionalização das Equações de Dinâmica dos Fluidos. Significado físico dos grupos adimensionais relevantes. |
| 01/03 2h | Feriado: Carnaval |
| 24 03/03 2h | Tópico 7 – Análise Dimensional (Aula Síncrona no MS Teams): Teorema de Buckingham e Método das Variáveis Repetidas (Rayleigh). Similaridade geométrica, cinemática e dinâmica. |
| 25 08/03 2h | Tópico 8 – escoamento viscoso externo (Aula Síncrona no MS Teams): escoamentos bidimensionais planos e axissimétricos. Força de arrasto e sustentação. Arrasto de atrito e pressão. escoamentos ao redor de cilindros e esferas. |
| 26 10/03 2h | Tópico 8 – escoamento viscoso externo (Aula Síncrona no MS Teams): Teoria da camada limite: Análise integral de von Kármán. |
| 27 15/03 2h | Tópico 8 – escoamento viscoso externo (Aula Síncrona no MS Teams): Análise integral de von Kármán (aplicação). Coeficientes de arrasto em placas planas. Equações da camada-limite laminar. Análise de ordem de grandeza. |
| 28 17/03 2h | Tópico 8 – escoamento viscoso externo (vídeo-aula): Equações da camada-limite laminar: escoamentos bidimensionais planos. Função de corrente. Solução de Blasius. Coeficientes de arrasto em placas planas. |
| 29 22/03 2h | Avaliação de reposição |
| 30 24/03 2h | Prova de recuperação |
| 31 25/03 2h | Entrega das notas finais |



METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

• Metodologia:

O programa da disciplina será desenvolvido por intermédio de atividades síncronas na plataforma Microsoft Teams e assíncronas na plataforma Moodle. As atividades síncronas serão constituídas por 1h30min de exposição dos conteúdos por projeção de apresentações em Power Point, seguidas por 30 min de exercício de aplicação. Estas atividades serão gravadas e disponibilizadas no Moodle/YouTube para posterior visualização dos estudantes.

• Outras Informações:

(a) Sistema de Comunicação: as atividades síncronas serão desenvolvidas na plataforma MS Teams, que permite a realização de web conferência, envio de arquivos, entre outros. Os conteúdos (arquivos de power point, vídeos gravados das aulas e outros materiais pertinentes) serão disponibilizados tanto no MS Teams como no Moodle.

b) Modelo de tutoria a distância: a tutoria será realizada pelo docente responsável pela disciplina e todas as informações como: avisos, datas de atividades avaliativas, entre outros; estarão disponíveis tanto no MS Teams como no Moodle.

c) Previsão de período de ambientação dos recursos tecnológicos a serem utilizados pelos discentes: o docente pretende realizar encontros síncronos com os estudantes para habituação das novas ferramentas antes do início das aulas.

f) Identificação do controle de frequência das atividades: A presença nas atividades síncronas será computada pelo acesso no MS Teams.

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Serão realizadas as seguintes avaliações assíncronas no Moodle:

- Fórum (NF1): Peso 0,05 por Fórum;
- Entrega de Exercícios (NE1, NE2 e NE3): Peso 0,10 por Exercício
- Questionários (NQ1 e NQ2): Peso 0,15 por Questionário
- Projeto de Dimensionamento (NP): Peso 0,35

1) A média ponderada das avaliações será calculada como:

$$MP = 0,05 \cdot NF1 + 0,10 \cdot (NE1 + NE2 + NE3) + 0,15 \cdot (NQ1 + NQ2) + 0,35 \cdot NP;$$

2) Se $MP > 5,5$; o estudante está aprovado sem Prova de Recuperação (REC). Em caso de $3,0 \leq MP < 5,5$ e frequência suficiente, o estudante terá direito à realização da REC. Se $MP < 3,0$; o estudante está automaticamente reprovado;

3) A média no caso (2) será calculada como: $MF = (MP + REC)/2$.

Frequência mínima exigida: 75% (RESOLUÇÃO Nº 17/CUn/97, DE 30 DE SETEMBRO DE 1997.)

NOVA AVALIAÇÃO

Para solicitar uma segunda avaliação ou revisão, o aluno deverá formalizar pedido na **Secretaria do Departamento**.

Conforme Resolução nº 017/CUn/1997, Art. 74, o aluno, que por motivo de força maior e, plenamente justificado, deixar de realizar avaliações previstas no plano de ensino, deverá pessoalmente ou por terceiros através de procuração pública, formalizar o pedido de segunda avaliação por meio de requerimento ao chefe de departamento, junto à Secretaria Integrada de Departamentos (SID) dentro do prazo de 3 dias úteis a contar da data da realização da avaliação. É necessário anexar ao pedido, a comprovação por documentos como, por exemplo: atestados médicos, de óbito, etc.

Data da Avaliação de Reposição: 22/03/2021

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

1. Notas de aula do docente responsável em Power Point.
2. Hauke, G. An Introduction to Fluid Mechanics and Transport Phenomena, Springer, 2008.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

1. Çengel, Y.A., Cimbala, J.M. Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações. 3. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.
2. Fox, R.W., McDonald, A.T.; Pritchard, P.J., Mitchell, J.W. Introdução à Mecânica dos Fluidos. 9. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
3. White, F.M. Mecânica dos Fluidos. 8. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2018.
4. Welty, J.R., Rorrer, G.L., Foster, D.G. Fundamentos de Transferência de Momento, Calor e Massa. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
5. Bird, R.B., Stewart, W.E., Lightfoot, E.N. Fenômenos de Transporte. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

OBSERVAÇÕES

Horário de atendimento do professor: Quarta-Feira (8-10h), via chat no MS Teams.
A prova de recuperação será realizada com todo o conteúdo da disciplina por Questionário no Moodle
A avaliação de reposição será realizada com todo o conteúdo da disciplina por Questionário no Moodle

Matriz Instrucional

| Tópicos e CH | Objetivos de aprendizagem | Conteúdos | Modalidade de ensino | Recursos didáticos | Estratégias de interação | Avaliação |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Qual tópico de conteúdo a ser trabalhado e qual a carga horária desse tópico?</i> | <i>Ao final deste tópico o aluno deverá ser capaz de?</i> | <i>Quais conteúdos contribuirão para que o estudante atinja os objetivos de aprendizagem/as competências?</i> | <i>Será presencial ou a distância?</i> | <i>Quais os recursos serão utilizados para a apresentação dos conteúdos? Qual mídia melhor apresenta tal conteúdo?</i> | <i>Quais as estratégias e possibilidades de interação entre os diferentes atores? Quais recursos promoverão essa interação?</i> | <i>Como será avaliado se o aluno atingiu os objetivos de aprendizagem/competências propostos?</i> |
| Terminologia 4h | Compreender os conceitos básicos relativos ao escoamento e reologia de fluidos. | <ul style="list-style-type: none"> • Conceito de Fluido • Reologia de Fluidos • Analogia entre os Mecanismos de Transporte | Presencial | Arquivo ppt e aula gravada. | Aula expositiva e dialogada com exercícios. | NF1: Fórum sobre Reologia de Fluidos. |

| | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Estática dos Fluidos 4h | Compreender conceitos básicos e forças atuantes nos fluidos em condições estáticas. | <ul style="list-style-type: none"> • Campo Escalar de Pressão • Equação básica da Estática dos Fluidos • Medidores de Pressão • Empuxo | Presencial | Arquivo ppt e aula gravada. | Aula expositiva e dialogada com exercícios. | NE1: Exercício Parcial do Projeto de Dimensionamento (Medidores de Pressão). |
| Cinemática dos Fluidos 6h | Compreender a diferença entre as análises Lagrangeana e Euleriana para o escoamento de Fluidos. Compreender e aplicar a Equação da Continuidade nas Formas Integral e Diferencial. | <ul style="list-style-type: none"> • Análises Lagrangeana e Euleriana; • Linhas de corrente, emissão e trajetória; • Balanço Integral e Diferencial de Conservação da Massa. | Presencial | Arquivo ppt e aula gravada. | Aula expositiva e dialogada com exercícios. | NQ1: Questionário |
| Dinâmica dos Fluidos Ideais 8h | Compreender os termos da equação integral de conservação de energia e da equação conservação de quantidade de movimento (nas formas integral e diferencial) para o escoamento de fluidos ideais. | <ul style="list-style-type: none"> • Equação Integral de Conservação da Energia; • Equação de Bernoulli; • Equação Integral e Diferencial de Conservação de Quantidade de Movimento para Fluidos Ideais. | Presencial | Arquivo ppt e aula gravada. | Aula expositiva e dialogada com exercícios. | NQ1: Questionário |
| Dinâmica dos Fluidos Viscosos 10h | Obter os perfis de velocidade em problemas de escoamento laminar de fluidos viscosos. | <ul style="list-style-type: none"> • Equações de Cauchy; • Equações de Navier-Stokes; • Análise de condições de contorno; • Obtenção de Perfis de Velocidade. | Presencial e a Distância | Arquivo ppt e aula gravada. | Aula expositiva e dialogada com exercícios. | NQ2: Questionário NE2: Exercício Parcial do Projeto de Dimensionamento |

| | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | | (Medidores de Vazão). |
| Escoamento Viscoso Interno 8h | Compreender os conceitos e calcular as perdas de carga localizadas e distribuídas em circuitos de tubulações e acessórios. Calcular a potência requerida de bombeamento. Dimensionar tubulações. | <ul style="list-style-type: none"> Equação da Energia no Escoamento de Fluidos Viscosos em Dutos; Perda de Carga Distribuída: Problemas Típicos; Perda de Carga Localizada; Perda de Carga em Sistemas de Tubulações com Bombas. | Presencial e a Distância | Arquivo ppt e aula gravada. | Aula expositiva e dialogada. | <p>NQ2: Questionário</p> <p>NP: Projeto de Dimensionamento de tubulações e Cálculo de Potência de Bomba (Gravação de Vídeo).</p> |
| Análise Dimensional 4h | Aplicar técnicas de análise dimensional e compreender o significado físico dos principais grupos adimensionais nas equações de dinâmica dos fluidos. | <ul style="list-style-type: none"> Adimensionalização das Equações de Dinâmica dos Fluidos; Significado Físico dos Grupos Adimensionais; Método das Variáveis Repetidas e Teorema Pi de Buckingham; Similaridade geométrica, cinemática e dinâmica. | Presencial e a Distância | Arquivo ppt e aula gravada. | Aula expositiva e dialogada com exercícios. | NE3: Entrega de Exercício |
| Escoamento Viscoso Externo 8h | Compreender os conceitos e as equações descritivas da camada limite viscosa laminar. Conhecer e aplicar os coeficientes de | <ul style="list-style-type: none"> Escoamentos Laminar e Turbulento; Teoria da Camada Limite; Analogia entre as Camadas Limite Viscosa, | Presencial e a Distância | Arquivo ppt e aula gravada. | Aula expositiva e dialogada com exercícios. | NE3: Entrega de Exercício |



| | | | | | | |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| | <i>fator de Atrito para o escoamento sobre superfícies (placas planas, cilindros e esferas).</i> | <i>Térmica e Mássica;</i> <ul style="list-style-type: none">• <i>Equações de Prandtl;</i>• <i>Soluções de Blasius e Von Kármán.</i> | | | | |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|

Assinatura do Professor

Assinatura do Chefe do Departamento