



PLANO DE ENSINO

DISCIPLINA: ENS 7014 – HIDRAULICA II

Carga horária total: 72 horas

Horário: 3ª f. 13:30 2cr. – 5ª f. 15:10 2cr.

Turma: 06211 - Engenharia Sanitária e Ambiental

Semestre: 2020/01 - Calendário Suplementar Excepcional

Professor: Davide Franco, d.franco.ocean@gmail.com

1. EMENTA

Introdução à hidráulica de canais. escoamento Não Permanente e Variado: dedução das equações de Saint-Venant. escoamento Permanente Uniforme: Formula de Manning; Dimensionamento e cálculo de canais em EPU; curva chave. escoamento Permanente Variado: Energia específica e linha de energia; número de Froude e altura Crítica; Controle; Classificação e cálculo das curvas de remanso. Equação de Bernoulli. Estudo de comportas e transições localizadas. Análise do ressalto hidráulico. Eq. de Belanger. Análise da localização do ressalto. Vertedores. Bacias de dissipação. escoamento Variável: resolução numérica da onda cinemática. Introdução ao transporte de sedimentos.

2. OBJETIVO

Apresentar a teoria básica da hidráulica de canais num contexto moderno de mecânica dos fluidos. Capacitar os estudantes no entendimento dos processos que influenciam o escoamento da água em superfície livre, para habilitá-los ao projeto e dimensionamento de canais não-erodíveis.

3. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO E RESPECTIVA BIBLIOGRAFIA

- I. **Revisão de mecânica dos fluidos.** Unidades. Forças e tensões. Propriedades dos fluidos. Número de Reynolds e turbulência. Descrição e classificação de escoamentos. Aceleração em um campo de escoamento. Hidrostática.
- II. **Introdução a hidráulica de canais.** Hipóteses básicas. Sistema de coordenadas. Simplificações adotadas. Conservação da massa. Conservação da quantidade de movimento. Equações de Saint-Venant. Aproximação de pequeno declive.

- III. **Escoamento Permanente Uniforme (EPU).** Formula de Manning e a altura normal. Análise do coeficiente de resistência (Chezy e Manning). Determinação empírica do coeficiente de Manning. Limites de talude e velocidade. Cálculo de canais trapezoidais em EPU: verificação, dimensionamento, operação, seção de máxima velocidade. Cálculo de canais de seção fechada: circular e especial.
- IV. **Escoamento Permanente Variado (EPV).** Energia específica e linha de energia. Número de Froude e altura crítica. EPU e declividade crítica. Controle do escoamento. Cálculo da altura crítica para canais de seção trapezoidal e de seção circular.
- V. **Escoamento Permanente Gradualmente Variado (EPGV).** Classificação e esboço das curvas de remanso. Cálculo das curvas de remanso: o step-method.
- VI. **Escoamento Permanente Rapidamente Variado (EPRV) – Transições localizadas sem perda de energia.** Dedução da equação de Bernoulli: as alturas alternadas. Comporta plana: controle de vazão, o diagrama ($q \times h$). Efeito da transição de fundo: diagrama ($E \times h$). Acessibilidade de escoamentos. Efeito da transição de largura: modificações do diagrama ($E \times h$).
- VII. **EPRV - Ressalto hidráulico.** Dedução da equação de Belanger: alturas conjugadas. Perda de energia e comprimento do ressalto hidráulico. Classificação dos ressaltos. RH em canais de seção trapezoidal e circular. RH em canais em declive.
- VIII. **EPRV - Bacias de dissipação.** Análise da localização do ressalto para diferentes situações ($CC \times CRH$). Alternativas para controle do ressalto. Dimensionamento de uma bacia de dissipação simples. Compatibilização de níveis d'água por meio de transições de seção.
- IX. **Escoamento variável e variado (EVV).** Ondas de translação rápida e gradual. Cálculo da altura e da velocidade da onda de translação rápida. Cálculo da forma da onda negativa. Simplificações das equações de Saint Venant. Onda cinemática. Propagação de cheia em rios: método Muskingum
- X. **Introdução ao transporte de sedimentos.** Transporte de sedimento e propriedades do sedimento. Mecanismos de transporte de sedimento: transporte de leito e em suspensão.

Bibliografia recomendada:

- Chanson, H., 2004. The hydraulics of open channel flow: an introduction. 2nd Ed. John Wiley & Sons.
- Chaundry, M.H., 2008. Open channel flow. 2nd Ed. Springer.
- Chow, Ven Te, 1973. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill.
- **De Melo Porto, R, 2006. Hidráulica básica. 4ª Ed., EESC, USP – projeto REENG.**
- **Fox, R.W., Mc Donald, A.T., Pritchard P.J., 2006. Introdução à mecânica dos fluidos. 6a Ed. LTC Editora.**
- **Franco D, 2020. Notas de hidráulica de canais.**

- French RH, 1986. Open-channel hydraulics. McGraw Hill.
- Listas de exercícios, artigos, material digital.

4. METODOLOGIA

A elaboração de um projeto de dimensionamento em modo colaborativo irá nortear o desenvolvimento do curso. Os tópicos do cronograma serão discutidos em videoaulas gravadas em modo assíncrono. Notas de aula e apresentação de slide serão disponibilizadas antecipadamente no Moodle. São previstos encontros síncronos de exercícios de recapitulação, de apresentação e correção de tarefas, como para esclarecimento de dúvidas. O fórum do Moodle e a comunicação via e-mail serão base do feedback com os estudantes.

5. CRONOGRAMA

Semana	Dia	Tópico – conteúdos
1	1/setembro	Retomada das atividades (Síncrona) ✓ Apresentação do cronograma, das metodologias de ensino, das avaliações
	3/setembro	Revisão de mecânica dos fluidos. ✓ Viscosidade laminar e viscosidade turbulenta. ✓ Métodos de descrição do escoamento. Visualização do escoamento. ✓ Classificação do escoamento. ✓ Aceleração de uma partícula em um campo de escoamento.
2	8/setembro	Hidrostática ✓ Pressão mecânica e pressão hidrostática. Pressão atmosférica e experiência de Torricelli. Pressão absoluta e pressão relativa ✓ Teorema de Stevin. Vasos comunicantes. ✓ Líquidos imiscíveis. Teorema de Pascal ✓ Princípio de Arquimedes e empuxo
	10/setembro	Exercícios de recapitulação – dúvidas (Síncrona)
3	15/setembro	Introdução à hidráulica de canais ✓ Hipóteses básicas da hidráulica de canais fluviais; ✓ Sistema de coordenadas natural. Simplificações adotadas. ✓ Balanço dos fluxos no Volume de Controle (VC); ✓ Conservação da massa no VC; ✓ Conservação da quantidade de movimento no VC;
	17/setembro	Introdução à hidráulica de canais ✓ As equações de Saint-Venant; ✓ Aproximação de pequeno declive;
4	22/setembro	1ª AVALIAÇÃO – TESTE INDIVIDUAL – PESO 1
	24/setembro	Escoamento Permanente Uniforme (EPU) ✓ A fórmula de Manning como caso especial das equações de Saint-Venant: a altura normal; ✓ Análise do coeficiente de resistência (Chezy e Manning); ✓ Determinação empírica do coeficiente de Manning.

Semana	Dia	Tópico – conteúdos
5	29/setembro	EPU <ul style="list-style-type: none"> ✓ Análise da eq. de Manning: limites de talude e velocidade. ✓ Exer. 1.7;1.9; ✓ Cálculo de canais trapezoidais em EPU: verificação, dimensionamento, operação ✓ Exer. 3.3; 3.5;
	1/outubro	EPU <ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinação da seção de máxima vazão em canais trapezoidais; ✓ Exer. 3.2; Exem. 8.4
6	6/outubro	EPU <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cálculo de canais de perímetro de seção circular em EPU. Exem. 8.2, 8.3. Exer. 8.2 ✓ Cálculo das seções fechadas. Exem. 8.5
	8/outubro	EPU <ul style="list-style-type: none"> ✓ Relação altura - vazão: a curva chave; ✓ Hidrometria
7	13/outubro	Exercícios de recapitulação - dúvidas (Síncrona)
	15/outubro	2ª AVALIAÇÃO – TESTE INDIVIDUAL – PESO 3
8	20/outubro	2ª AVALIAÇÃO – correção (Síncrona) 3ª AVALIAÇÃO – Apresentação do trabalho sobre EPU (Síncrona)
	22/outubro	Escoamento Permanente Variado (EPV) <ul style="list-style-type: none"> ✓ Energia específica e linha de energia; ✓ Número de Froude e altura crítica: escoamento crítico, subcrítico e supercrítico;
9	27/outubro	EPV <ul style="list-style-type: none"> ✓ EPU crítico: declividade crítica, fraca e forte; Controle. ✓ Altura crítica para canais de seção trapezoidal e de seção circular.
	29/outubro	Escoamento Permanente Gradualmente Variado (EPGV) <ul style="list-style-type: none"> ✓ Classificação e esboço das curvas de remanso; ✓ Cálculo das curvas de remanso: o step-method; ✓ Exemplos
10	3/novembro	Escoamento Permanente Rapidamente Variado (EPRV) Transições localizadas sem perda de energia. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Dedução da equação de Bernoulli: as alturas alternadas; ✓ Comporta plana: controle de vazão, o diagrama ($q \times h$); ✓ Exer. 5.1 das notas
	5/novembro	EPRV - Transições localizadas sem perda de energia. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Transição de fundo: diagrama ($E \times h$); ✓ Acessibilidade de escoamentos.
11	10/novembro	3ª AVALIAÇÃO – Devolução do trabalho sobre EPU – PESO 2 EPRV - Transições localizadas sem perda de energia. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Transição de largura: modificações do diagrama ($E \times h$); Exercício de recapitulação Exer. 5.2 a 5.8 das notas
	12/novembro	3ª AVALIAÇÃO – correção (Síncrona) 4ª AVALIAÇÃO – Apresentação do trabalho sobre EPV (Síncrona)

Semana	Dia	Tópico – conteúdos
12	17/novembro	EPRV - Ressalto hidráulico <ul style="list-style-type: none"> ✓ O balanço global da quantidade de movimento: a eq. de Belanger; alturas conjugadas; ✓ Perda de energia e comprimento do ressalto hidráulico; classificação dos ressaltos;
	19/novembro	EPRV - Ressalto hidráulico. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Análise da localização do ressalto: vazão fixa e condições de jusante variáveis; vazão variável, comportamento do ressalto para diferentes situações (CC x CRH). ✓ RH em canais de seção trapezoidal e circular; RH em canais em declive
13	24/novembro	EPRV - Bacias de dissipação. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Alternativas para controle do ressalto. ✓ Dimensionamento duma bacia de dissipação simples: cálculo da altura conjugada e da altura normal do canal de restituição, ✓ Compatibilização de níveis d'água por meio de transições de seção. Exemplos de cálculo
	26/novembro	Escoamento variável e variado (EVV) <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ondas de translação rápida e gradual ✓ Classificação de ondas de translação rápida: abertura e fechamento de uma comporta ✓ Cálculo da altura e da velocidade da onda de translação rápida ✓ Exem. 14.1; 14.2.
14	1/dezembro	EVV <ul style="list-style-type: none"> ✓ Onda positiva de jusante –“tidal bore” – pororoca ✓ Calculo da forma da onda negativa ✓ Exem. 14.3
	3/dezembro	EVV <ul style="list-style-type: none"> ✓ Equações hidrodinâmicas ✓ Simplificações das equações de Saint Venant ✓ Onda cinemática ✓ Propagação de cheia em rios: método Muskingum
15	8/dezembro	Introdução ao transporte de sedimentos <ul style="list-style-type: none"> ✓ Transporte de sedimento e propriedades do sedimento
	10/dezembro	4ª AVALIAÇÃO – Devolução do trabalho sobre EPV – PESO 4 Introdução ao transporte de sedimentos <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mecanismos de transporte de sedimento: transporte de leito e em suspensão
16	15/dezembro	4ª AVALIAÇÃO – correção (Síncrona) NOTAS PARCIAIS - PROVA DE RECUPERAÇÃO
	17/dezembro	NOTAS FINAIS

6. FORMAS DE AVALIAÇÃO E AFERIÇÃO DE FREQUÊNCIA

Estão previstas 4 avaliações com pesos diferentes apresentadas na tabela a seguir.

A nota atribuída será a média pesada das notas das avaliações.

	Tipo	Assunto	Peso	Data prevista
1ª	Prova Individual	Revisão de mecânica dos fluidos - Introdução à hidráulica de canais - EVV: equações de Saint Venant	1	22 de setembro
2ª	Prova Individual	EPU: dimensionamento de canais	3	15 de outubro
3ª	Trabalho em grupo	EPU: dimensionamento de alternativas - curvas características - declividade	2	20 de outubro 10 de novembro
4ª	Trabalho em grupo	EPU: dimensionamento EPV: transições localizadas - curvas de remanso - ressalto hidráulico - bacia de dissipação - ondas de translação	4	12 de novembro 10 de dezembro

As provas individuais serão realizadas em horário de aula.

Os trabalhos em grupo, para o desenvolvimento de projetos de dimensionamento de canais, serão realizados em modo cooperativo pelos estudantes, e acompanhados via fórum pelo professor.

A frequência será verificada na participação das atividades síncronas, e no cumprimento das datas de entrega das avaliações previstas.

As atividades síncronas irão começar no primeiro horário da aula.