



PLANO DE ENSINO

| | | | |
|--------------|-----------------------------|---------------|----|
| CURSO | ENGENHARIA AMBIENTAL | MATRIZ | 03 |
|--------------|-----------------------------|---------------|----|

| | |
|----------------------------|---|
| FUNDAMENTAÇÃO LEGAL | Resolução n.º 92/2007 – COEPP de 19 de outubro de 2007, Portaria de Autorização MEC n.º 393, de 20 DE ABRIL DE 2010. Portaria de Reconhecimento INEP/MEC, n.º 270, de 13 de dezembro de 2012. |
|----------------------------|---|

| DISCIPLINA/UNIDADE CURRICULAR | CÓDIGO | PERÍODO | CARGA HORÁRIA (horas) | | |
|--|--------|---------|-----------------------|----|-------|
| | | | AT | AP | Total |
| TERMODINÂMICA DE PROCESSOS IRREVERSÍVEIS | EB67E | 7º | 30 | 15 | 45 |

AT: Atividades Teóricas, AP: Atividades Práticas.

| | |
|----------------------|---------------------|
| PRÉ-REQUISITO | QB62A, EB65F, EB66E |
| EQUIVALÊNCIA | Não há |

OBJETIVOS

Estender os conceitos de termodinâmica para abordagem de sistemas fora do equilíbrio, tanto nas situações onde prevalecem relações lineares entre os fluxos e as forças termodinâmicas, como em situações onde as relações são não lineares. Aplicar o formalismo da termodinâmica de sistemas fora de equilíbrio para descrição de fenômenos de transporte isolados e acoplados. Avaliar a eficiência de conversores de energia e máquinas térmicas operando em tempo e potência entregue finitos.

EMENTA

Termodinâmica avançada. Direção dos processos naturais. Processos irreversíveis. Região linear: leis de Onsager, produção de entropia. A tendência à destruição de estruturas. Teorema da produção mínima de entropia. Estruturas dissipativas. Estabilidade.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

| ITEM | EMENTA | CONTEÚDO |
|------|--|--|
| 1 | Termodinâmica avançada Direção dos processos naturais | Leis Fundamentais da Termodinâmica. Propriedades Básicas: Coeficiente de Expansão Térmica, Compressibilidade Isotérmica, Capacidade Calorífica. Transformações de Legendre e Potenciais Termodinâmicos. Equilíbrio Químico. |
| 2 | Processos irreversíveis | Termodinâmica Irreversível Clássica. Leis de Transporte (Fourier, Fick e Ohm). Equilíbrio Local e Balanço de Entropia. Aplicações em Condução de Calor, Transporte de Massa e Hidrodinâmica. Limitações da teoria Clássica. Termodinâmica de Tempo Finito. Ciclo de Carnot de Tempo Finito: Perdas Calóricas e por Atrito. Potência e Eficiência: Restrições Econômicas e Ecológicas. Aplicações no Estudo de Questões Ambientais. Atividades práticas de simulações de problemas de transporte e comportamento de máquinas irreversíveis. |
| 3 | Região linear: leis de Onsager | Relações de reciprocidade (Onsager-Casimir). Lei de Curie. Acoplamento dos Transportes de Calor e Massa. Acoplamento dos Transportes de Calor e Massa. Difusão em Membrana. Acoplamento de Reações Químicas com Transporte de Massa. |
| 4 | Produção de entropia Teorema da produção mínima de entropia | Princípio do Mínimo de Produção de Entropia e Estados Estacionários. |

| | | |
|---|--|---|
| | A tendência à destruição de estruturas | |
| 5 | Estruturas dissipativas | Instabilidade de Hidrodinâmica e Turbulência. Instabilidade Química. Instabilidade em Sistemas Homogêneos e Heterogêneos – Formação de Padrão. |
| 6 | Estabilidade | Estabilidade dos Estados de Equilíbrio. Estabilidade do Equilíbrio Químico. Teoria de Estabilidade Linear e Abordagem não Linear. Atividades práticas de cálculos numéricos de regiões de estabilidade mecânica e química. |

| | |
|---|--------------|
| PROFESSOR | TURMA |
| PROF. DR. ALEXEI LORENZETTI NOVAES PINHEIRO | EA71 |

| ANO/SEMESTRE | CARGA HORÁRIA (aulas) | | | | | |
|--------------|-----------------------|----|-----|----|------|-------|
| | AT | AP | APS | AD | APCC | Total |
| 2017/02 | 38 | 19 | 03 | - | - | 60 |

AT: Atividades Teóricas, AP: Atividades Práticas, APS: Atividades Práticas Supervisionadas, AD: Atividades a Distância, APCC: Atividades Práticas como Componente Curricular.

| DIAS DAS AULAS PRESENCIAIS | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|
| Dia da semana | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta | Sábado |
| Número de aulas no semestre (ou ano) | | 57 | | | | |

| PROGRAMAÇÃO E CONTEÚDOS DAS AULAS (PREVISÃO) | | |
|--|---|-----------------|
| Dia/Mês ou Semana ou Período | Conteúdo das Aulas | Número de Aulas |
| 08/08 | Apresentação. Atribuição da APS. Leis Fundamentais da Termodinâmica de Equilíbrio. Relações de Euler e de Gibbs-Duhem | 3 |
| 15/08 | Definições Básicas: Coeficiente de expansão térmica, Compressibilidade Isotérmica, Capacidade Calorífica. Transformações de Legendre e Potenciais Termodinâmicos. Evolução de sistemas para o estado de equilíbrio. | 3 |
| 22/08 | Estabilidade dos Estados de Equilíbrio (um componente e multicomponente) | 3 |
| 29/08 | Equilíbrio Químico. Calor de Reação e Eq. de van't Hoff. Estabilidade do Equilíbrio Químico e Princípio de Le Chatelier. | 3 |
| 05/09 | Equilíbrio Local e Balanço de Entropia. Fluxo e Produção de Entropia. Lei de Curie. | 3 |
| 12/09 | Relações de reciprocidade (Onsager-Casimir). Estados Estacionários. Princípio do Mínimo de produção de Entropia. | 3 |
| 19/09 | Aplicações em Condução de Calor, | 3 |
| 26/09 | Transporte de Massa por difusão. | 3 |
| 03/10 | Aplicações em Hidrodinâmica. Limitações da teoria Clássica. | 3 |
| 10/10 | 1a Avaliação. Entrega da APS. | 3 |
| 17/10 | Condução Elétrica. Acoplamento dos Transportes de Calor e Carga. Efeito Seebeck e Efeito Peltier. Eficiência de Geradores Termoelétricos. | 3 |
| 24/10 | Atividade Extra-Classe: SICITI-SEI | 3 |
| 31/10 | Acoplamento dos Transportes de Calor e Massa. Efeito Soret e Efeito Dufour. Difusão em Membrana. Coeficientes de ultrafiltração, permeabilidade e osmótico. | 3 |
| 07/11 | Balanço de Entropia em Reações Químicas Simples. Conversores Químicos de Energia. | 3 |
| 14/11 | Reações Químicas Acopladas: Transferência de Energia entre Reações Químicas. Acoplamento de Reações Químicas com Transporte de Massa: Máquina Moleculares. | 3 |

| PROGRAMAÇÃO E CONTEÚDOS DAS AULAS (PREVISÃO) | | |
|---|---|------------------------|
| Dia/Mês ou Semana ou Período | Conteúdo das Aulas | Número de Aulas |
| 21/11 | Ciclo de Carnot de Tempo Finito: Perdas por Transporte de Calor. Perdas por Atrito. | 3 |
| 28/11 | 2a Avaliação. | 3 |
| 05/12 | Avaliação Substitutiva | 3 |
| 12/12 | Apresentação da nota final. | 3 |

| PROCEDIMENTOS DE ENSINO |
|---|
| AULAS TEÓRICAS |
| Aulas expositivas e resolução de exercícios. |
| A disciplina será apresentada através de aulas expositivas e resolução de exercícios. |
| AULAS PRÁTICAS |
| Simulações numéricas de modelos |
| Práticas de simulações numéricas de modelos de processos irreversíveis realizadas pelos discentes em grupos de 4 a 5 alunos, sob a supervisão do professor. |
| ATIVIDADES PRÁTICAS SUPERVISIONADAS |
| Trabalho sobre estabilidade do equilíbrio mecânico e equilíbrio químicos, em grupo em grupos de 5 alunos. |
| ATIVIDADES À DISTÂNCIA |
| Não há. |
| ATIVIDADES PRÁTICAS COMO COMPONENTE CURRICULAR |
| Não há. |

| PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO |
|---|
| A avaliação será feita através de provas objetivas e dissertativas e das APS. |
| As avaliações teóricas serão realizadas na forma escrita, por meio da aplicação de provas. A APS também fará parte do processo de avaliação da seguinte forma: |
| <ul style="list-style-type: none"> • A média aritmética das avaliações teóricas terá peso de 90 % na composição da nota final; • A nota da APS terá peso de 10% na composição da nota final; |
| As avaliações teóricas consistirão de provas escritas com questões objetivas e dissertativas. |
| Recuperação: o aluno que não obtiver a nota final necessária para aprovação nas avaliações regulares poderá fazer uma prova escrita substitutiva de uma das avaliações teóricas com conteúdo igual ao da prova a ser substituída: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Só poderá fazer a prova substitutiva o aluno que tiver possibilidade de aprovação pela substituição da nota (máximo 10,0). • A prova a ser substituída deverá ser obrigatoriamente aquela na qual o aluno obteve a menor nota da prova escrita. • Só poderá fazer a prova substitutiva o aluno que tiver sido reprovado na avaliação regular. |

| REFERÊNCIAS |
|---|
| Referências Básicas: |
| KONDEPUDI, D.; PRIGOGINE, I. Termodinâmica: dos Motores Térmicos a Estruturas Dissipativas , 1ª ed. Porto Alegre: Instituto Piaget Editora 1999. ISBN 9727712975 [18 exemplares] |
| LEVINE, I. N. <i>Physical Chemistry</i> , 5 th ed. New York: McGraw-Hill, 2003. ISBN: 978-0072538625 [9 exemplares] |
| BEJAN, A.; TSATSARONIS, G.; MORAN, M. Thermal Design and Optimization . New York: J. Wiley, 1996. xv, 542 p. ISBN 0-471-58467-3. [6 exemplares] |
| Referências Complementares: |
| DE GROOT, S. R.; MAZUR, P. Non-Equilibrium Thermodynamics , 1 st ed. Toronto: Dover, 1984. ISBN: 978-0486647418 [2 exemplares] |

LEBON, G.; JOU, D.; CASAS-VÁZQUEZ, J. **Understanding Non-equilibrium Thermodynamics. Foundations, Applications**, Frontiers, 1st ed. Berlin: Springer-Verlag, 2008. ISBN: 978-3-540-74251-7 [2 exemplares]

SCOTT, S. K. **Oscillations, Waves and Chaos**, 1ª ed. New York: Oxford University Press, 1994. ISBN 0198556586 [3 exemplares]

KLEIDON, A.; LORENZ, R. D. (ed) **Non-equilibrium Thermodynamics and the Production of Entropy: Life, Earth, and Beyond**, 1st ed. Berlin: Springer-Verlag, 2005. ISBN: 978-3540224952 [1 exemplar]

BEJAN, A.; MAMUT, E (Ed.). **Thermodynamic optimization of complex energy systems**. Dordrecht: Kluwer, 1998. 465 p. ISBN 0-7923-5726-4.[3 exemplares]

ORIENTAÇÕES GERAIS

Resolução Nº 060/16-COGEPE, de 27 de julho de 2016.

Art. 35 - A aprovação nas disciplinas presenciais dar-se-á por Nota Final, proveniente de avaliações realizadas ao longo do semestre letivo, e por frequência.

§ 2.º - O número de avaliações, suas modalidades e critérios devem ser explicitados no Plano de Ensino da disciplina/unidade curricular.

§ 4.º - Para possibilitar a recuperação do aproveitamento acadêmico, o professor deverá proporcionar reavaliação ao longo e/ou ao final do semestre letivo.

§ 5.º - Considerar-se-á aprovado nas disciplinas presenciais, o aluno que tiver frequência/participação igual ou superior a 75% (setenta e cinco por cento) e Nota Final igual ou superior a 6,0 (seis), consideradas todas as avaliações previstas no Plano de Ensino.

Art. 36 - A nota de cada avaliação deverá ser divulgada pelo professor com antecedência mínima de 3 (três) dias úteis da data marcada para a próxima avaliação.

Art. 37 - No caso do aluno perder alguma avaliação presencial e escrita, por motivo de doença ou força maior, poderá requerer uma única segunda chamada por avaliação, no período letivo.

§ 1.º - O requerimento, com documentação comprobatória, deverá ser protocolado junto ao Departamento de Registros Acadêmicos até 5 (cinco) dias úteis após a realização da avaliação.

§ 2.º - A análise do requerimento será feita pela Coordenação do Curso ou Chefia do Departamento Acadêmico ao qual a disciplina está vinculada, cujo resultado será comunicado ao professor da disciplina, com homologação da Diretoria de Graduação e Educação Profissional.

§ 3.º - O professor definirá os conteúdos e a data da avaliação.

§ 4.º - A nota da segunda chamada das avaliações realizadas na última semana do período letivo e não lançadas até o fechamento do período letivo, deverão seguir procedimento definido pela Diretoria de Graduação e Educação Profissional.

Art. 39 - É assegurado ao aluno o direito à revisão das avaliações, por meio de requerimento, devidamente justificado, protocolado junto ao Departamento de Registros Acadêmicos em até 5 (cinco) dias úteis após a publicação do resultado.

Assinatura do Professor

Assinatura do Coordenador do Curso