

# LOQ4087 - Termodinâmica Química Aplicada I

## Applied Chemical Thermodynamics I

Créditos-aula: 4

Créditos-trabalho: 0

Carga horária: 60 h

Ativação: 01/01/2024

Departamento: Engenharia Química

Curso (semestre ideal): EB (4), EQD (4), EQN (5)

### Objetivos

Gerais Levar os estudantes a compreenderem que a Termodinâmica, juntamente com fenômenos de transporte constituem-se na base fundamental para o entendimento e solução de grande parte dos problemas de Eng. Química.

2) Específicos Ao final do curso os estudantes deverão: - Compreender os aspectos mássicos, energéticos e entrópicos, envolvendo sistemas termodinâmicos abertos e fechados; - Dominar e ser capaz de fazer previsões de propriedades termodinâmicas, usando equações cúbicas de estado e relações termodinâmicas; - Desenvolver uma metodologia para poder solucionar os problemas de engenharia, nos aspectos termodinâmicos; Dominar o uso de tabelas de propriedades termodinâmicas;

#### *General objective*

*Students will be led to understand that thermodynamics, together with transport phenomena, are the fundamental basis for understanding and solving most of the problems of Chemical Engineering.*

#### *Specific objectives*

*At the end of the course, students will understand the mass, energetic and entropic aspects, involving open and closed thermodynamic systems, to master and being able to make predictions of properties using cubic equations of state and thermodynamic relations, to develop a methodology for solving engineering problems in thermodynamic aspects, to master the use of tables of thermodynamic properties.*

### Docente(s) Responsável(eis)

6279110 - Carlos Alberto Moreira dos Santos

1488970 - Marivone Nunho Sousa

8554681 - Pedro Felipe Arce Castillo

### Programa resumido

Conceitos e definições básicas. Propriedades de substâncias puras. Primeira lei da termodinâmica. Entropia e segunda lei da termodinâmica. Termodinâmica de processos de escoamento. Produção de potência a partir de calor. Refrigeração e liquefação.

*Concepts and basic definitions. Properties of pure substances. First law of thermodynamics. Entropy and second law of thermodynamics. Thermodynamics of flow processes. Production of power from heat. Refrigeration and liquefaction.*

## **Programa**

1 - Conceitos e definições básicas.

1.1-Termodinâmica.

1.2-Sistema termodinâmico.

1.3-Substância pura, Estado, Fase.

1.4-Função de estado, função caminho.

1.5-Propriedades termodinâmicas: Pressão, Temperatura, Volume.

1.6-Equilíbrio termodinâmico.

1.7-Processos termodinâmicos.

1.8-Processos reversíveis e irreversíveis.

1.9-Ciclos termodinâmicos: Ciclo de potência a vapor e Ciclo de refrigeração.

1.10-Calor e Trabalho.

1.11-Balanco de uma propriedade termodinâmica.

2 - Propriedades de substâncias puras.

2.1- Substância pura. Diagrama PTv

2.2-Pressão de vapor/Pressão de saturação

2.3-Ponto crítico e Ponto triplo

2.4-Critérios para determinar os estados termodinâmicos nas regiões de saturação, líquido comprimido e vapor superaquecido utilizando tabelas de propriedades termodinâmicas.

2.5-Diagramas termodinâmicos vs Tabelas termodinâmicas

2.6-Equação de estado para fluido puro

2.7-Exercícios.

3 - Primeira lei da termodinâmica.

3.1-Definição. Conservação da energia

3.2-Balanco de massa e a equação da continuidade

3.3-Energia: energia interna, potencial e cinética

3.4-Equação geral da primeira Lei da termodinâmica: Balanco de energia

3.5-Propriedades termodinâmicas: energia interna e entalpia nas regiões de saturação, líquido comprimido e vapor superaquecido.

3.6-Calor específico a volume e pressão constante

3.7-Grandezas: Calor e Trabalho. Convenção de sinais.

3.8-Exercícios.

4 - Entropia e segunda lei da termodinâmica.

4.1-Definição. Geração de entropia

4.2-Primeira lei versus Segunda lei da termodinâmica

4.3-Análise da segunda lei da termodinâmica

4.4-Máquinas térmicas de potência. Eficiência

4.5-Enunciados da segunda lei da termodinâmica: Kelvin-Planck e Clausius.

4.6-Processos reversíveis e irreversíveis

- 4.7-Irreversibilidades.
- 4.8-Quantificação da entropia: Desigualdade de Clausius
- 4.9-Propriedade termodinâmica: entropia nas regiões de saturação, líquido comprimido e vapor superaquecido.
- 4.9-Entropia gerada
- 4.10-Equação geral da segunda Lei da termodinâmica: Balanço de entropia.
- 4.11-Eficiência de uma máquina térmica.
- 4.12-Processos e eficiência isentrópica: Turbina, compressor, bomba
- 4.13-Exercícios.

## 5 - Termodinâmica de processos de escoamento.

- 5.1-E escoamento de fluidos. Balanço de energia mecânica. Equação de Bernoulli
- 5.2-Expansão de fluidos: turbinas e válvulas de expansão.
- 5.3-Compressão de fluidos: compressores e bombas.
- 5.4-Troca de calor: Trocadores de calor.
- 5.5-Aumento da energia cinética: bocal
- 5.6-Exercícios.

## 6 - Produção de potência a partir de calor.

- 6.1-Ciclos de potência a vapor.
- 6.2-Ciclo Carnot.
- 6.3-Ciclo Rankine: ideal e real. Eficiência
- 6.4-Tipos de Ciclos Rankine: com Reaquecimento e Regenerativo.
- 6.5-Exercícios.
- 6.6-Ciclo Brayton: ideal e real. Eficiência
- 6.7-Ciclo combinado: Brayton-Rankine.
- 6.8-Exercícios.

## 7 - Refrigeração e liquefação.

- 7.1-Ciclo de refrigeração por compressão de vapor: ideal e real.
- 7.2-Configurações dos ciclos de refrigeração: em dois estágios e cascata.
- 7.3-Fluidos de trabalho utilizados.
- 7.4-Aplicações domésticas e na engenharia.
- 7.5-Liquefação de gases.
- 7.6-Exercícios.

## 1 - Basic concepts and definitions.

- 1.1-Thermodynamics.
- 1.2-Thermodynamic system.
- 1.3-Pure substance, State, Phase.
- 1.4-State function, path function.
- 1.5-Thermodynamic Properties: Pressure, Temperature, Volume.
- 1.6-Thermodynamic equilibrium.
- 1.7-Thermodynamic processes.
- 1.8-Reversible and irreversible processes.
- 1.9-Thermodynamic cycles: Steam power cycle and Refrigeration cycle.

1.10-Heat and Work.

1.11-Balance of a thermodynamic property.

2 - Properties of pure substances.

2.1- Pure substance. PTv diagram

2.2-Vapor Pressure / Saturation Pressure

2.3-Critical point and Triple point

2.4-Criteria for determining the thermodynamic states in the regions of saturation, compressed liquid and superheated steam by using tables of thermodynamic properties.

2.5-Thermodynamic diagrams vs Thermodynamic tables

2.6-Equation of State for pure fluid

2.7-Exercises.

3 - First law of thermodynamics.

3.1-Definition. Energy Conservation

3.2-Mass balance and the continuity equation

3.3-Energy: internal, potential and kinetic energy

3.4-General equation of the first law of thermodynamics: Energy balance

3.5-Thermodynamic properties: internal energy and enthalpy in the regions of saturation, compressed liquid and superheated steam.

3.6-Specific heat at constant volume and pressure

3.7-Greatness: Heat and Work. Sign Convention.

3.8-Exercises.

4 - Entropy and second law of thermodynamics.

4.1-Definition. Generation of entropy

4.2-First law versus Second law of thermodynamics

4.3-Analysis of the second law of thermodynamics

4.4-Thermal power machines. Efficiency

4.5-Statements of the second law of thermodynamics: Kelvin-Planck and Clausius.

4.6-Reversible and irreversible processes

4.7-Irreversibilities.

4.8-Entropy Quantification: Clausius Inequality

4.9-Thermodynamic properties: entropy in the regions of saturation, compressed liquid and superheated steam.

4.9-Entropy generated

4.10-General equation of the second law of thermodynamics: Balance of entropy.

4.11-Efficiency of a thermal machine.

4.12-Isentropic processes and efficiency: Turbine, compressor, pump

4.13-Exercises.

5 - Thermodynamics of flow processes.

5.1-Flow of fluids. Balance of mechanical energy. Bernoulli equation

5.2-Expansion of fluids: turbines and expansion valves.

5.3-Compression of fluids: Compressors and pumps.

5.4-Heat exchange: heat exchangers.

5.5-Increase of kinetic energy: nozzle

5.6-Exercises.

6 - Production of power from heat.

6.1-Steam power cycles.

6.2-Carnot Cycle.

6.3-Rankine Cycle: ideal and real. Efficiency

6.4-Types of Rankine Cycles: with Reheating and Regenerative.

6.5-Exercises.

6.6-Brayton cycle: ideal and real. Efficiency

6.7-Combined cycle: Brayton-Rankine.

6.8-Exercises.

7 - Refrigeration and liquefaction.

7.1-Cycle of vapor-compression refrigeration: ideal and real.

7.2-Configurations of the refrigeration cycles: two stages and cascade.

7.3-Working fluids used.

7.4-Domestic and engineering applications.

7.5-Liquefaction of gases.

7.6-Exercises.

## Avaliação

**Método:** A avaliação será feita por meio de duas provas escritas (P1 e P2) e eventuais trabalhos relacionados à disciplina.

**Critério:** A Nota final (NF) será calculada da seguinte maneira:  $NF = 50\%(P1) + 50\%(P2)$

Cada docente responsável usará seu próprio critério na aplicação de trabalhos

**Norma de recuperação:** A recuperação será feita por meio de uma prova escrita (PR) e nota de recuperação (MR) será calculada pela formula:  $MR = 50\%(NF) + 50\%(PR)$

## Bibliografia

SMITH, J.M.; VAN NESS, H.C.; ABBOTT, M.M.; SWIHART, M.T. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. 9th ed. Editora McGraw Hill, 2022.

MORAN, M. I.; SHAPIRO, H. N.; BOETTNER, D.D.; BAILEY, M.B. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 9th. Editora John Wiley & Sons, 2018.

SANDLER, S.I., Chemical, Biochemical, and Engineering Thermodynamics, 5th ed., Editora John Wiley & Sons, 2020

Bibliografia complementar:

KORETSKY, M. D. Termodinâmica para Engenharia Química. 1 ed. LTC Editora, 2007.

MATSOUKAS, T. Fundamentos de Termodinâmica para Engenharia Química. 1 ed. LTC Editora, 2016.

TERRON, L. R. Termodinâmica Química Aplicada. 1 ed. Editora Manole Ltda, 2009.

TAVARES, F.W.; SEGTOVICH, I.S.V.; MEDEIROS, F.A. Termodinâmica na Engenharia Química. 1ra ed. LTC Editora, 2023.

BALZISHER, R.E.; SAMUELS M.R.; ELIASSEN J.D. Termodinâmica Química para Ingenieros. Prentice-Hall Inc., 1974.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R.E. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. 8th ed. Editora Blucher, 2013

### **Requisitos**

LOB1019 - Física II (Requisito fraco)

LOQ4053 - Balanços de Massa e Energia (Requisito fraco)

LOB1004 - Cálculo II (Requisito fraco)