

# TERMODINÂMICA CLÁSSICA

## PROMEC – UFRGS

Prof. Dr. Andrés Armando Mendiburu Zevallos

### TRABALHO DE APLICAÇÃO DA TEORIA

#### 1. INSTRUÇÕES GERAIS

Os problemas propostos devem ser desenvolvidos em grupo, existe um problema para cada capítulo abordado pela disciplina.

Cada grupo deverá selecionar uma equação de estado cúbica, até o dia 21/03/2022. Não podem ser selecionadas as seguintes equações de estado:

- Equação de estado de Van der Waals
- Equação de estado de Peng – Robinson

As seguintes equações são boas alternativas:

- Redlich – Kwong
- Soave – Redlich – Kwong
- Outras equações de estado cúbicas também podem ser escolhidas

*[O grupo que escolher uma equação diferente às Equações acima ganha 1 ponto acima da nota atribuída em cada relatório]*

**Dica:** Acessar o artigo científico “*The State of the cubic equations of state*” disponível na seção de Artigos Seleto do Moodle da disciplina.

Os grupos informarão a equação selecionada ao professor enviando um arquivo word, contendo os nomes dos integrantes do grupo, o nome e expressão matemática completa da equação de estado. E-mail para envio: [andresmendiburu@ufrgs.br](mailto:andresmendiburu@ufrgs.br)

#### Referência principal da disciplina:

Thermodynamics and na Introduction to Thermostatistics – Herbert B. Callen

## 2. OBJETIVO

Aplicar os conceitos da Termodinâmica Clássica a problemas seletos, com o intuito de reforçar o entendimento da teoria e desenvolver competências para trabalhar com sistemas representados por equações de estado cúbicas e com sistemas complexos.

## 3. MÉTODO DE AVALIAÇÃO

O Trabalho de Aplicação da Teoria será avaliado através dos seguintes eventos de avaliação:

**Relatório escrito 1 (RE1):** É um relatório apresentando as soluções aos problemas propostos na primeira parte do trabalho. As soluções devem ser apresentadas com comentários e explicações referentes ao procedimento aplicado.

**Apresentação oral 1 (AO1):** É uma apresentação de problemas seletos do RE1 do grupo, com duração de 30 minutos (+/- 3 minutos), realizada em grupo de forma síncrona/remota. Cada membro do grupo deve obrigatoriamente apresentar. A plateia e o professor poderão realizar perguntas aos membros do grupo.

**Relatório escrito 2 (RE2):** É um relatório apresentando as soluções aos problemas propostos na segunda parte do trabalho. As soluções devem ser apresentadas com comentários e explicações referentes ao procedimento aplicado.

**Apresentação oral 2 (AO2):** É uma apresentação de problemas seletos do RE2 do grupo, com duração de 30 minutos (+/- 2 minutos), realizada em grupo de forma síncrona/remota. Cada membro do grupo deve obrigatoriamente apresentar. A plateia e o professor poderão realizar perguntas aos membros do grupo.

### **Cálculo da média da atividade:**

Cada etapa da atividade terá uma nota, identificada como AP1 e AP2, respectivamente.

$$AP1 = (RE1+AO1) / 2; \quad AP2 = (RE2+AO2) / 2$$

## 4. PRIMEIRA PARTE DO TRABALHO

Na primeira parte do trabalho procura-se aplicar os conceitos desenvolvidos nos capítulos 2 ao 5 da referência principal da disciplina.

### 4.1. Aplicação para o capítulo 2: Utilizar a equação de estado escolhida pelo grupo

Resolva o Problema Proposto 2.7.2 da referência principal da disciplina. Logo, mantenha as equações que relacionam a energia interna com a temperatura e adote a Equação de Estado Cúbica, escolhida pelo grupo, para relacionar  $P$ ,  $T$ ,  $N$  e  $V$ . Modifique os dados de entrada de forma que tenha um processo com alta pressão e compare novamente os resultados.

### 4.2. Aplicação para o capítulo 3: Utilizar a equação de estado escolhida pelo grupo

Obter expressões para o coeficiente de expansão térmica ( $\alpha$ ) e a compressibilidade isotérmica ( $\kappa_T$ ). Logo, adote um fluido para o qual valores experimentais de  $\alpha$  e  $\kappa_T$  estejam disponíveis e compare com valores calculados com as expressões obtidas a partir da equação de estado cúbica, escolhida pelo grupo.

### 4.3. Aplicação para o capítulo 4

Para o Ciclo Termodinâmicos assignado ao grupo, considere que o sistema auxiliar é um gás perfeito monoatômico, e aplicando a teoria desenvolvida na disciplina resolva os seguintes itens:

- Determinar expressões para a transferência de calor, trabalho realizado e variação de entropia para cada etapa do ciclo.
- Assumir os valores numéricos que considere necessários e calcule a transferência de calor e trabalho em cada etapa do ciclo, assim como o trabalho total do ciclo e a eficiência do ciclo.

Ciclo de Diesel (Grupo 1); Ciclo Stirling (Grupo 2); Ciclo Brayton (Grupo 3); Ciclo Otto (Grupo 4); Ciclo Atkinson (Grupo 5).

**Dica:** Os Ciclos são apresentados no Capítulo 10 do livro “Fundamentals of Thermodynamics”, 8th ed., Borgnakke and Sonntag (2013).

#### 4.4. Aplicação para o capítulo 5

Para este problema, o grupo deve acessar o artigo “*A Fundamental Equation of State for Ethanol*”, disponível na seção de “Artigos Seletos” do Moodle da disciplina. Realizar as seguintes tarefas:

- a) Explique de forma geral o procedimento adotado pelos autores do artigo para obter a equação fundamental na formulação do Potencial de Hemholtz.
- b) Explique como a equação obtida pode ser relacionada com a teoria desenvolvida na disciplina. As variáveis independentes são as mesmas que aquelas apresentadas por H. Callen para o Potencial de Helmholtz? Caso negativo, podemos adaptar a formulação dada?
- c) Explique como aplicaria a transformação de Legendre para obter os outros potenciais termodinâmicos, considerando a equação fundamental dada no artigo.

#### **Tarefa opcional, valendo 02 pontos na Prova 01**

- d) Aplique a transformação de Legendre para pelo menos um dos outros potenciais Termodinâmicos a partir da equação fundamental dada no artigo.

#### 4.5. Data de entrega e de apresentação

- Data de entrega do relatório escrito: 18/04/2022 (Início da aula).
- Data de apresentação oral em sala de aula: 18/04/2022
- **[Data modificadas]**

## 5. SEGUNDA PARTE DO TRABALHO

Na segunda parte do trabalho procura-se aplicar a equação de estado selecionada aos conceitos desenvolvidos nos capítulos 6 ao 9 da referência principal da disciplina.

### 5.1. Aplicação para o capítulo 6: Utilizar a equação de estado escolhida pelo grupo

Neste problema buscamos obter uma expressão para o coeficiente de Joule – Thomson e também procuramos entender como se calcula este coeficiente a partir de tabelas Termodinâmicas:

- Obter o coeficiente de Joule – Thompson utilizando a equação de estado adotada pelo grupo. Desenvolva a expressão matemática até onde seja possível.
- Adotar um fluido para o qual existam dados experimentais, logo, calcule valores numéricos do coeficiente com a expressão desenvolvida e compare com os dados experimentais.

#### **Dica:**

- É necessário ter uma noção sobre as Relações de Maxwell, que serão tratadas no Capítulo 7 da referência principal da disciplina.
- Ver os exemplos 6.2-3 e 6.2-5 nas páginas 213 e 216, respectivamente, da quinta edição do livro: “*Chemical, Biochemical and Engineering Thermodynamics*”, cujo autor é Stanley I. Sandler.

### 5.2. Aplicação para o capítulo 7: Utilizar a equação de estado escolhida pelo grupo

Utilizando a equação de estado selecionada pelo grupo realize as seguintes tarefas:

- Obter expressões para as variações de entalpia ( $\Delta H$ ), entropia ( $\Delta S$ ) e energia interna ( $\Delta U$ ) do sistema representado pela equação de estado.
- Analisar um processo termodinâmico simples, adotando valores numéricos e aplicando as expressões matemáticas obtidas acima.

#### **Dica:**

- Ver a seção 6.4 entre as páginas 220 e 245, da quinta edição do livro: “*Chemical, Biochemical and Engineering Thermodynamics*”, cujo autor é Stanley I. Sandler.

### 5.3. Aplicação para o capítulo 8

Desenvolver as seguintes tarefas a partir da Equação Fundamental na formulação do Potencial de Helmholtz, obtida para o etanol, no artigo “*A Fundamental Equation of State for Ethanol*”, disponível na seção de “Artigos Seletos” do Moodle da disciplina:

- a) Obter expressões matemáticas para as condições de estabilidade em termos do Potencial de Helmholtz.
- b) Tentar delimitar regiões de estabilidade.

### 5.4. Aplicação para o capítulo 9: Utilizar a equação de estado escolhida pelo grupo

Utilizando a equação de estado adotada pelo grupo, realizar as seguintes tarefas:

- a) Plotar as curvas  $p$  vs  $v$  e  $v$  vs  $p$ , considerando temperatura constante, e adotando diferentes valores constantes da temperatura (teremos várias curvas para  $T$  constante).
- b) Desenvolver uma expressão matemática para a relação dada na Eq. (9.17) da referência principal da disciplina.
- c) Plotar uma curva  $\mu$  vs  $p$  e analisar o que está sendo observado.

### **Tarefa opcional, valendo 02 pontos na Prova 02**

- e) Explique o que é a fugacidade e obtenha uma expressão matemática para a fugacidade utilizando a equação de estado adotada pelo grupo.

#### ***Dica:***

- Ver as seções 7.3 e 7.4 entre as páginas 300 e 322, da quinta edição do livro: “*Chemical, Biochemical and Engineering Thermodynamics*”, cujo autor é Stanley I. Sandler.

### 5.5. Data de entrega e de apresentação

- Data de entrega do relatório escrito: 18/05/2022 (antes do final da aula).
- Data de apresentação oral em sala de aula: 18/05/2022 e 23/05/2022.