

# SUMÁRIO

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>APRESENTAÇÃO</b> ..... | 11 |
|---------------------------|----|

## **UNIDADE 1: Introdução**

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 Primeiras palavras .....                                      | 15 |
| 1.2 Problematizando o tema .....                                  | 15 |
| 1.3 Um pouco de história.....                                     | 15 |
| 1.4 Conceitos básicos.....                                        | 17 |
| 1.4.1 Dimensões e unidades .....                                  | 17 |
| 1.4.2 Sistemas termodinâmicos e volume de controle.....           | 23 |
| 1.4.3 Estado e propriedade termodinâmica de substância pura ..... | 25 |
| 1.4.4 Processos e ciclos.....                                     | 26 |
| 1.5 Considerações finais .....                                    | 27 |
| 1.6 Estudos complementares .....                                  | 28 |

## **UNIDADE 2: Primeira Lei da Termodinâmica**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 2.1 Primeiras palavras .....       | 31 |
| 2.2 Problematizando o tema .....   | 31 |
| 2.3 Experiência de Joule.....      | 31 |
| 2.4 Trabalho, calor e energia..... | 32 |
| 2.4.1 Trabalho .....               | 32 |

|       |                                                       |    |
|-------|-------------------------------------------------------|----|
| 2.4.2 | Calor                                                 | 39 |
| 2.4.3 | Energia total                                         | 41 |
| 2.5   | Enunciado da Primeira Lei: energia interna e entalpia | 41 |
| 2.5.1 | A Primeira Lei da Termodinâmica                       | 41 |
| 2.5.2 | Energia interna                                       | 42 |
| 2.5.3 | Entalpia                                              | 44 |
| 2.6   | A Primeira Lei em termos de fluxos de energia         | 45 |
| 2.7   | Calores específicos ou capacidade calorífica          | 46 |
| 2.8   | Equação da continuidade: conservação da massa         | 52 |
| 2.9   | A Primeira Lei da Termodinâmica para sistemas abertos | 52 |
| 2.10  | Considerações finais                                  | 55 |
| 2.11  | Estudos complementares                                | 55 |

### **UNIDADE 3: Propriedades volumétricas de fluidos puros**

|       |                                                   |    |
|-------|---------------------------------------------------|----|
| 3.1   | Primeiras palavras                                | 59 |
| 3.2   | Problematizando o tema                            | 59 |
| 3.3   | Substâncias puras                                 | 59 |
| 3.3.1 | Comportamento $p-v-T$ de substâncias puras        | 60 |
| 3.3.2 | Superfícies termodinâmicas                        | 69 |
| 3.3.3 | Tabelas de propriedades termodinâmicas            | 69 |
| 3.3.4 | Estado e propriedades para sistemas bifásicos L-V | 70 |
| 3.3.5 | Relação $p-v-T$ para gás ideal                    | 72 |
| 3.4   | Equação de estado                                 | 75 |

|       |                                               |    |
|-------|-----------------------------------------------|----|
| 3.4.1 | Equação do virial                             | 79 |
| 3.4.2 | Equações de estado do terceiro grau (cúbicas) | 80 |
| 3.5   | Comportamento dos líquidos                    | 86 |
| 3.6   | Considerações finais                          | 88 |
| 3.7   | Estudos complementares                        | 88 |

## **UNIDADE 4: A Segunda Lei da Termodinâmica**

|       |                                           |     |
|-------|-------------------------------------------|-----|
| 4.1   | Primeiras palavras                        | 91  |
| 4.2   | Problematizando o tema                    | 91  |
| 4.3   | Enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica | 92  |
| 4.3.1 | Máquinas térmicas                         | 93  |
| 4.3.2 | Refrigeradores térmicos simples           | 95  |
| 4.3.3 | O ciclo de Carnot                         | 100 |
| 4.4   | Considerações finais                      | 107 |
| 4.5   | Estudos complementares                    | 107 |

## **UNIDADE 5: Entropia**

|       |                                             |     |
|-------|---------------------------------------------|-----|
| 5.1   | Primeiras palavras                          | 111 |
| 5.2   | Problematizando o tema                      | 111 |
| 5.3   | Desigualdade de Clausius                    | 112 |
| 5.4   | Entropia como uma propriedade termodinâmica | 116 |
| 5.4.1 | O ciclo de Carnot em um diagrama T-s        | 120 |
| 5.4.2 | Mudança de estado na saturação              | 121 |

|         |                                                          |     |
|---------|----------------------------------------------------------|-----|
| 5.4.3   | Gases ideais e a Segunda Lei                             | 126 |
| 5.4.3.1 | Processo em volume constante                             | 126 |
| 5.4.3.2 | Processo em pressão constante                            | 127 |
| 5.4.3.3 | Processo em temperatura constante                        | 128 |
| 5.4.3.4 | Processos genéricos de $p_1, v_1, T_1$ a $p_2, v_2, T_2$ | 128 |
| 5.4.3.5 | Trabalho reversível                                      | 130 |
| 5.4.3.6 | Processo reversível adiabático                           | 131 |
| 5.5     | Trabalho perdido                                         | 133 |
| 5.6     | Princípios de aumento de entropia                        | 135 |
| 5.7     | Considerações finais                                     | 138 |
| 5.8     | Estudos complementares                                   | 138 |

## **UNIDADE 6: Termodinâmica dos processos de escoamento**

|       |                              |     |
|-------|------------------------------|-----|
| 6.1   | Primeiras palavras           | 141 |
| 6.2   | Problematizando o tema       | 141 |
| 6.3   | Equações fundamentais        | 142 |
| 6.3.1 | Conservação de massa         | 142 |
| 6.3.2 | Conservação de energia       | 142 |
| 6.3.3 | Balço de entropia            | 144 |
| 6.3.4 | Bocais                       | 145 |
| 6.3.5 | Processos de estrangulamento | 145 |
| 6.3.6 | Turbinas (expansores)        | 146 |
| 6.3.7 | Compressores                 | 147 |
| 6.3.8 | Ejetores                     | 150 |
| 6.4   | Considerações finais         | 151 |
| 6.5   | Estudos complementares       | 151 |

## **UNIDADE 7: Ciclos termodinâmicos**

|                    |                                                         |            |
|--------------------|---------------------------------------------------------|------------|
| 7.1                | Primeiras palavras .....                                | 155        |
| 7.2                | Problematizando o tema .....                            | 155        |
| 7.3                | Introdução aos ciclos de potência.....                  | 156        |
| 7.4                | O ciclo de Rankine ideal .....                          | 159        |
| 7.5                | O ciclo de refrigeração de Rankine .....                | 164        |
| 7.6                | Dispositivos a gás de único passe .....                 | 165        |
| 7.6.1              | Motor a gasolina ideal: o ciclo Otto .....              | 166        |
| 7.6.2              | Motores a diesel ideais: o ciclo Diesel.....            | 168        |
| 7.6.3              | Comparação entre os motores a gasolina e a diesel ..... | 169        |
| 7.6.4              | Turbina a gás (ciclo Brayton ou Joule) .....            | 170        |
| 7.7                | Considerações finais .....                              | 172        |
| 7.8                | Estudos complementares .....                            | 173        |
| <b>REFERÊNCIAS</b> | .....                                                   | <b>175</b> |