

# Termodinâmica



Reis, Oswaldo Henrique Barolli.

R375t Termodinâmica / Oswaldo Henrique Barolli. – Varginha,  
2015.  
47 slides.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader  
Modo de Acesso: World Wide Web

1. Termodinâmica. I. Título. II. Fundação de Ensino e  
Pesquisa – FEPEMIG

CDD:536.7  
AC: 115907

Elaborado por: Isadora Ferreira CRB-06 31/06



# Termodinâmica

É a Ciência que se fundamenta em duas leis básicas: uma relativa à conservação da energia e outra que relativa à direção das transformações e sua eficiência.

Neste curso é apresentada uma abordagem da termodinâmica clássica e os exemplos de aplicação procurarão abordar problemas usualmente encontrados pelos engenheiros no exercício de seu trabalho.

Algumas áreas de aplicação da Termodinâmica na Engenharia.



# Termodinâmica

## Conteúdo

### Unidade I - Conceitos Básicos

Introdução

1.2- Estado e Propriedades dos Sistemas

1.3- Equilíbrio e Processos

1.4- Lei Zero da Termodinâmica

### Unidade II - Propriedades de uma substância

pura

2.1- A Substância Pura. Sistema Compressível

Simple

2.2- Equilíbrio de Fases

2.3- Propriedades Independentes de uma

Substância Pura



# Termodinâmica

## **Unidade III** - Trabalho e Calor

- 3.1- Conceitos e Unidades de Trabalho e Energia
- 3.2- Trabalho da Variação de Fronteiras num Sistema Compressível
- 3.3- Considerações sobre Trabalho
- 3.4- Conceitos e Unidades de Calor
- 3.5- Relações entre Calor e Trabalho

## **Unidade IV** - Primeira Lei da Termodinâmica

- 4.1- Primeira Lei da Termodinâmica para um Sistema
- 4.2- Energia Interna
- 4.3- Entalpia
- 4.4- Calor Específico, Energia Interna e Entalpia
- 4.5- Primeira Lei da Termodinâmica para Sistemas em Fluxo
- 4.6- Primeira Lei da Termodinâmica para um Volume de Controle
- 4.7- Processos em Regime Permanente e Uniforme
- 4.8- O Ciclo de Carnot



# Termodinâmica

## Unidade V - Segunda Lei da Termodinâmica - Entropia

5.1- Motores Térmicos e Refrigeradores

5.2- Segunda Lei - Enunciados de Clausius e Kelvin Planck

5.3- Processos Reversíveis e Irreversíveis

5.4- Teoremas sobre as Máquinas Térmicas

5.5- Desigualdade de Clausius

5.6- A propriedade Entropia

5.7- A variação da Entropia nos Processos

5.8- O princípio do Aumento da Entropia

5.9- Disponibilidade e o Conceito de Exergia

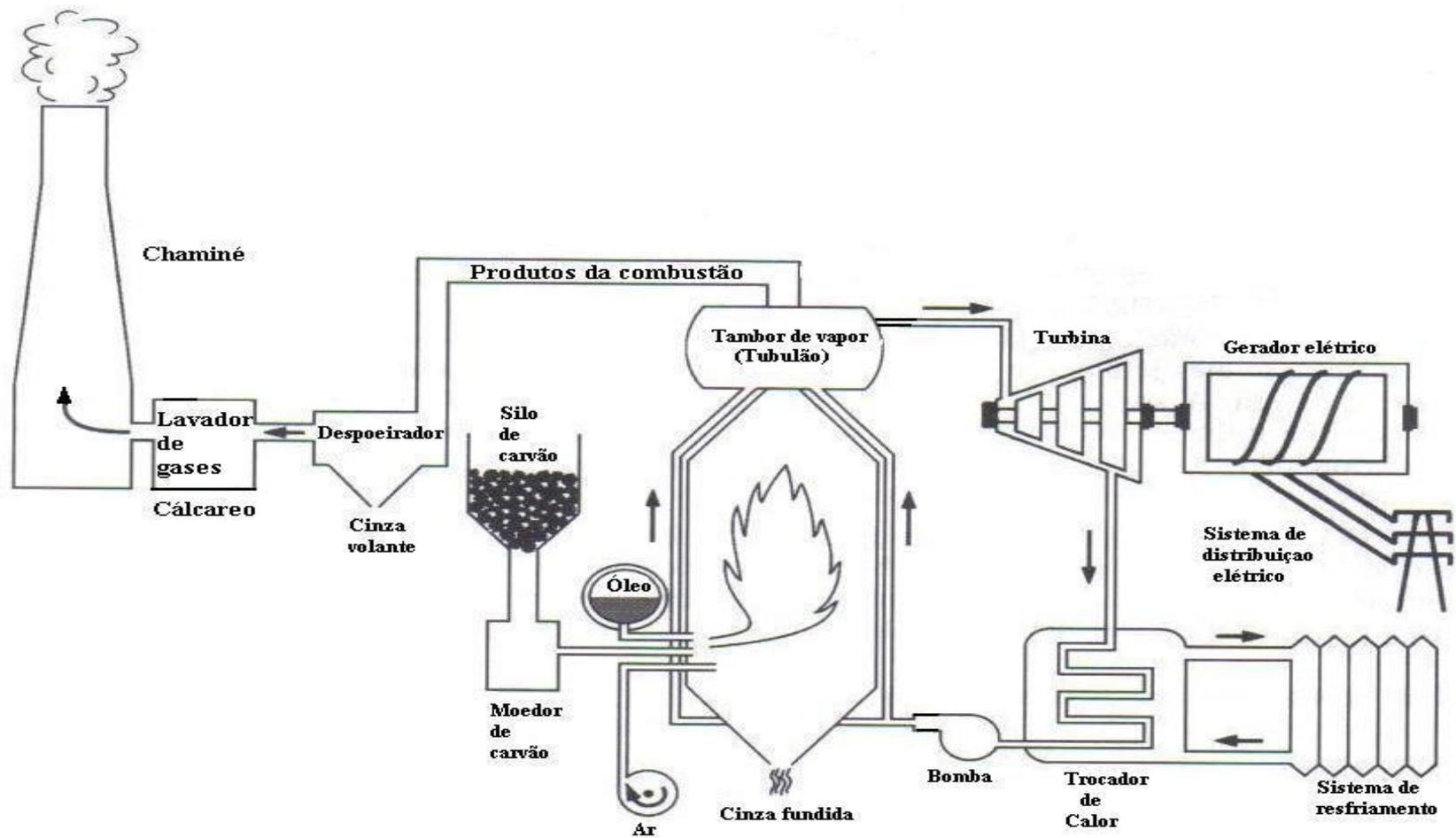


Figura 1. Esquema de uma central termoelétrica

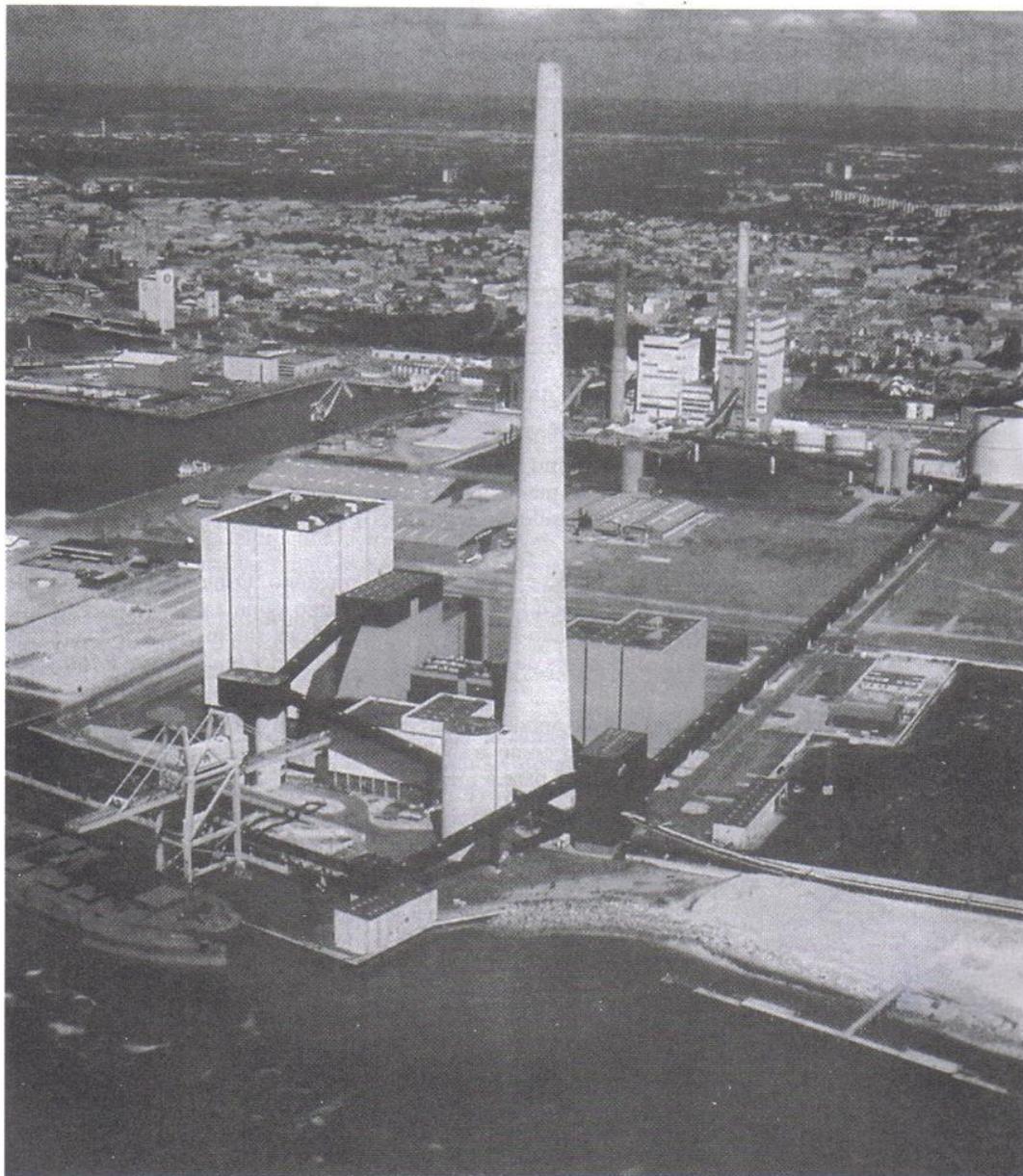
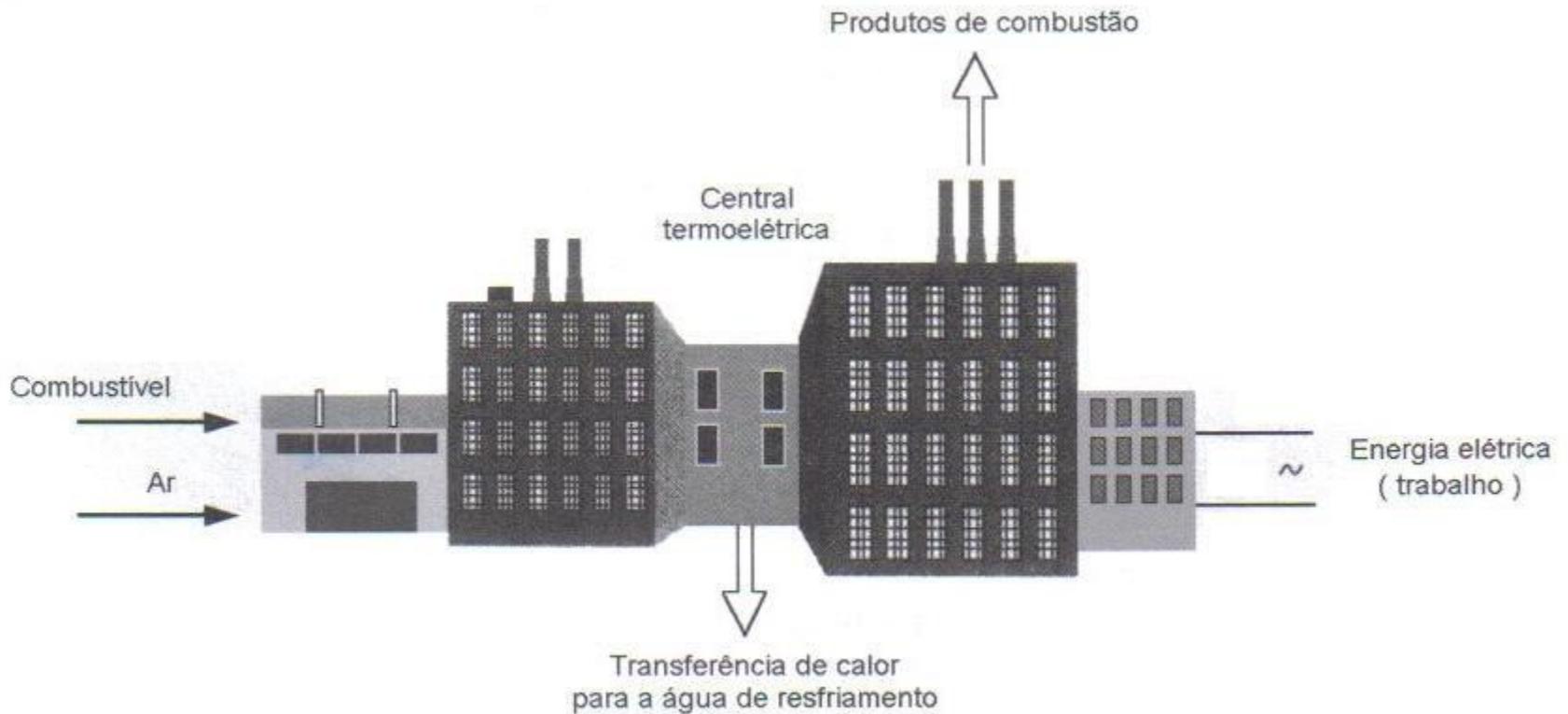


Figura 2. Uma central termoelétrica



**Figura 3** — Diagrama esquemático de uma central termoeétrica.

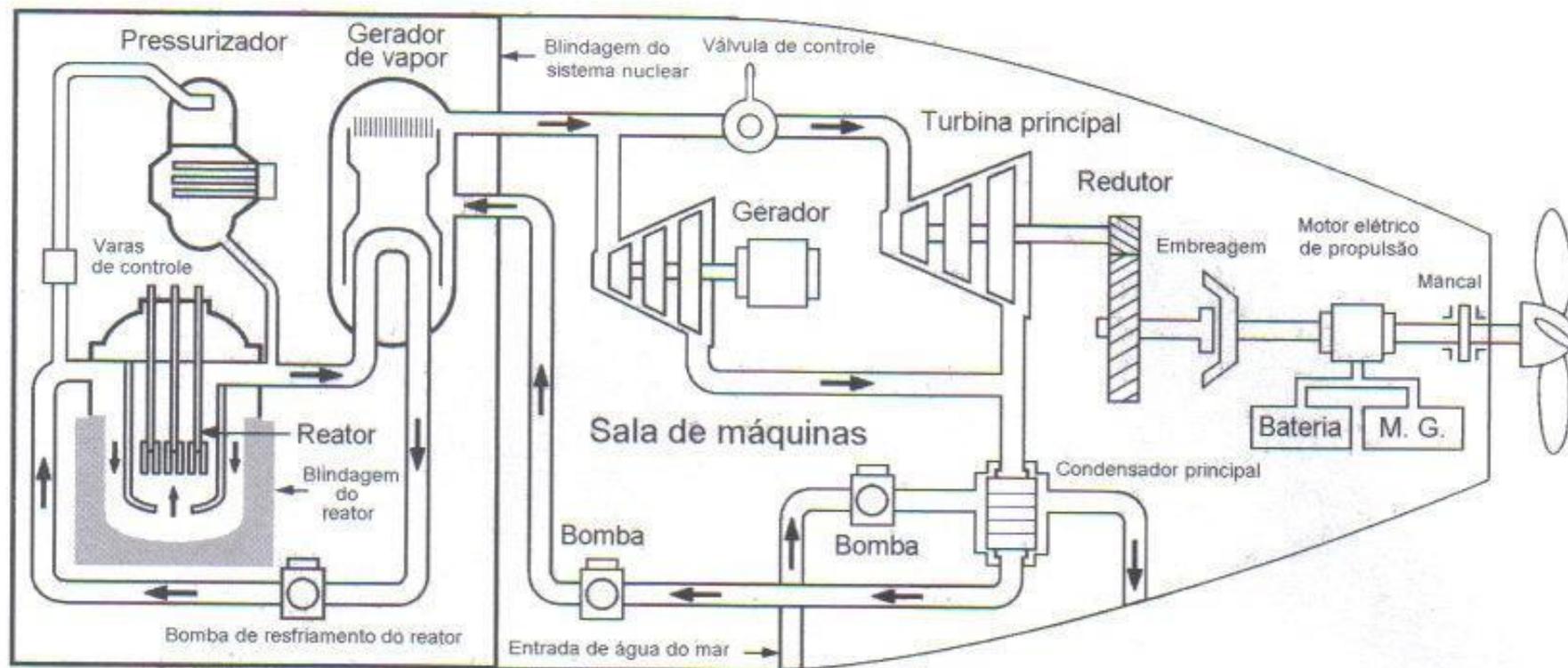


Figura 4. Sistema nuclear de propulsão Motor

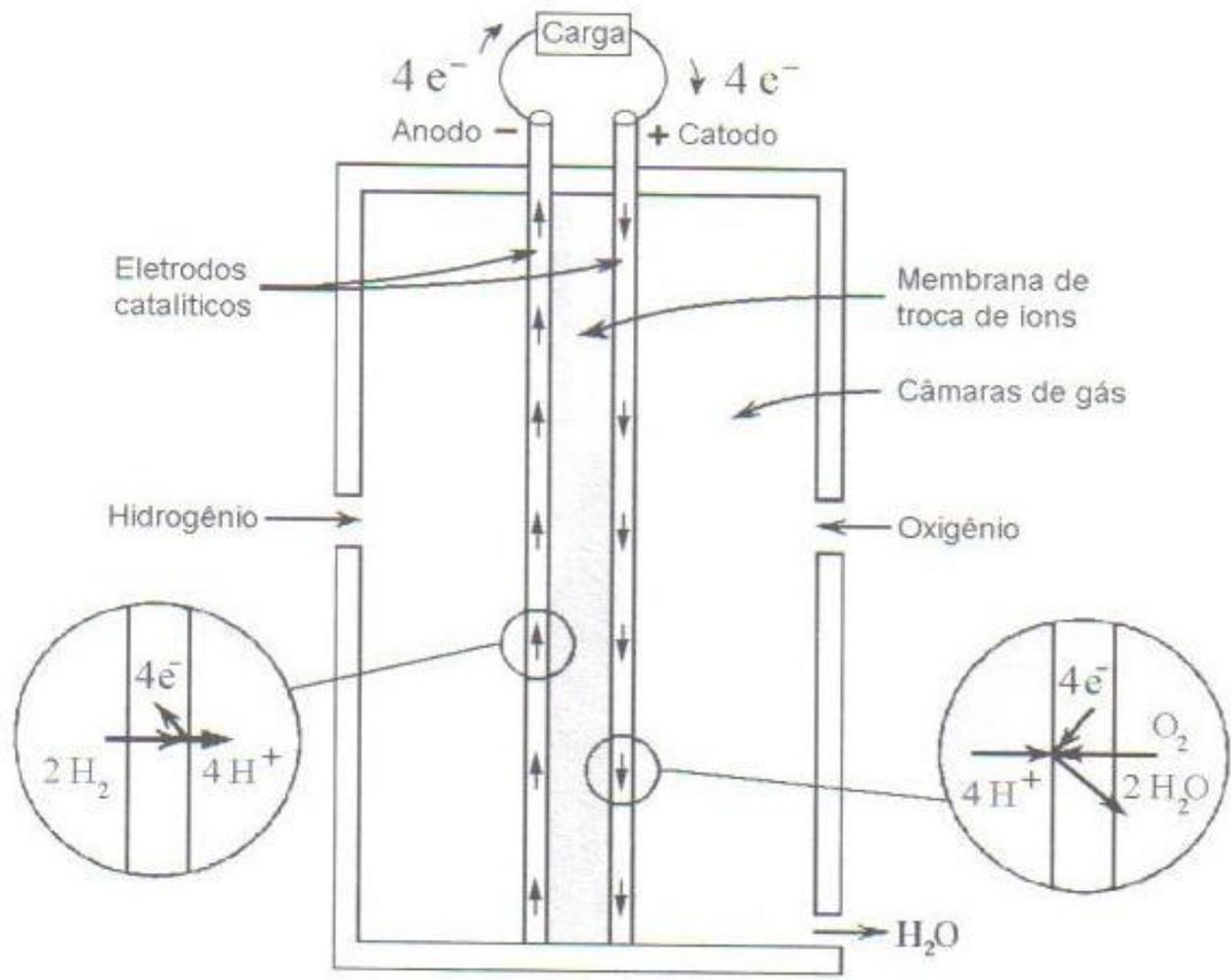


Figura 5. Células de combustível

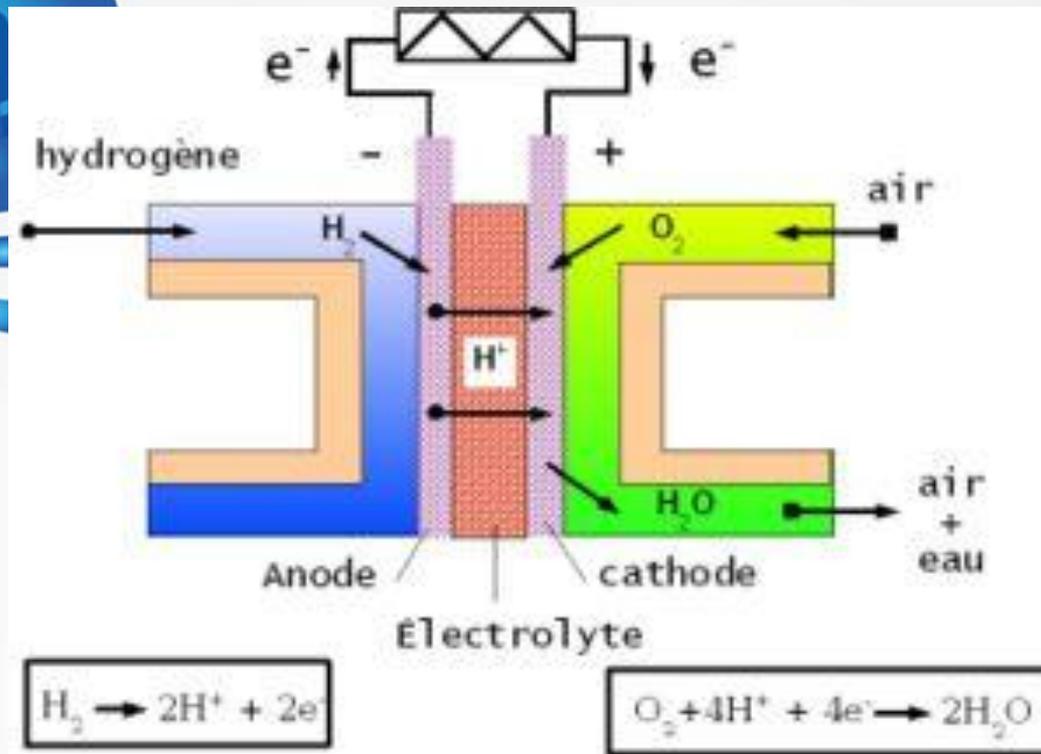


Figura 6. Células de combustível

São, em média, até 25% mais eficientes que os motores a combustão interna.

Reduzem a emissão de poluentes.

Mesmo usando hidrogênio obtido a partir de fontes fósseis, a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) cai de 25 a 50%

<http://www.ambientebrasil.com.br/>

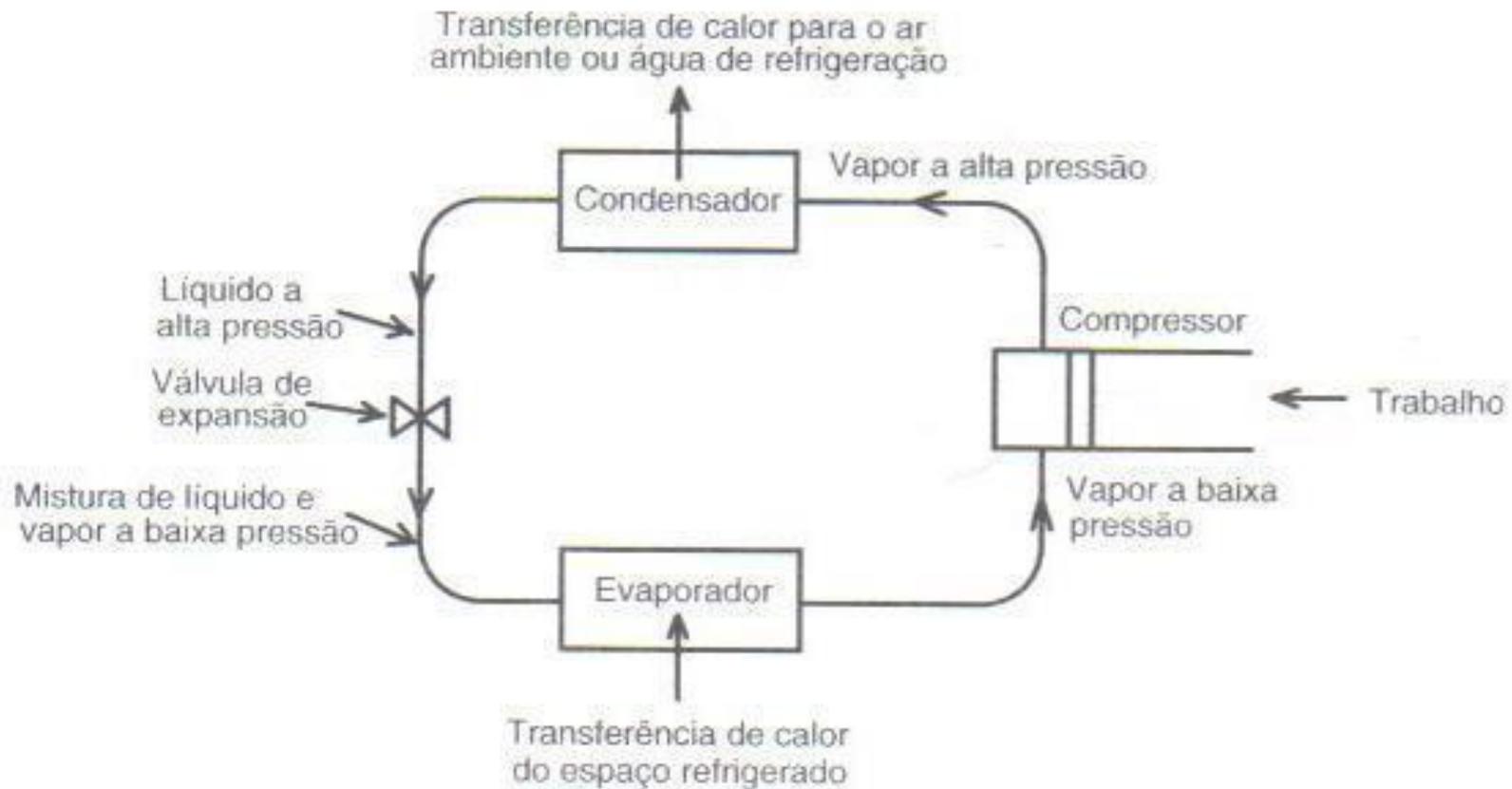


Figura 7. Ciclo de refrigeração

15 a 20 MPa

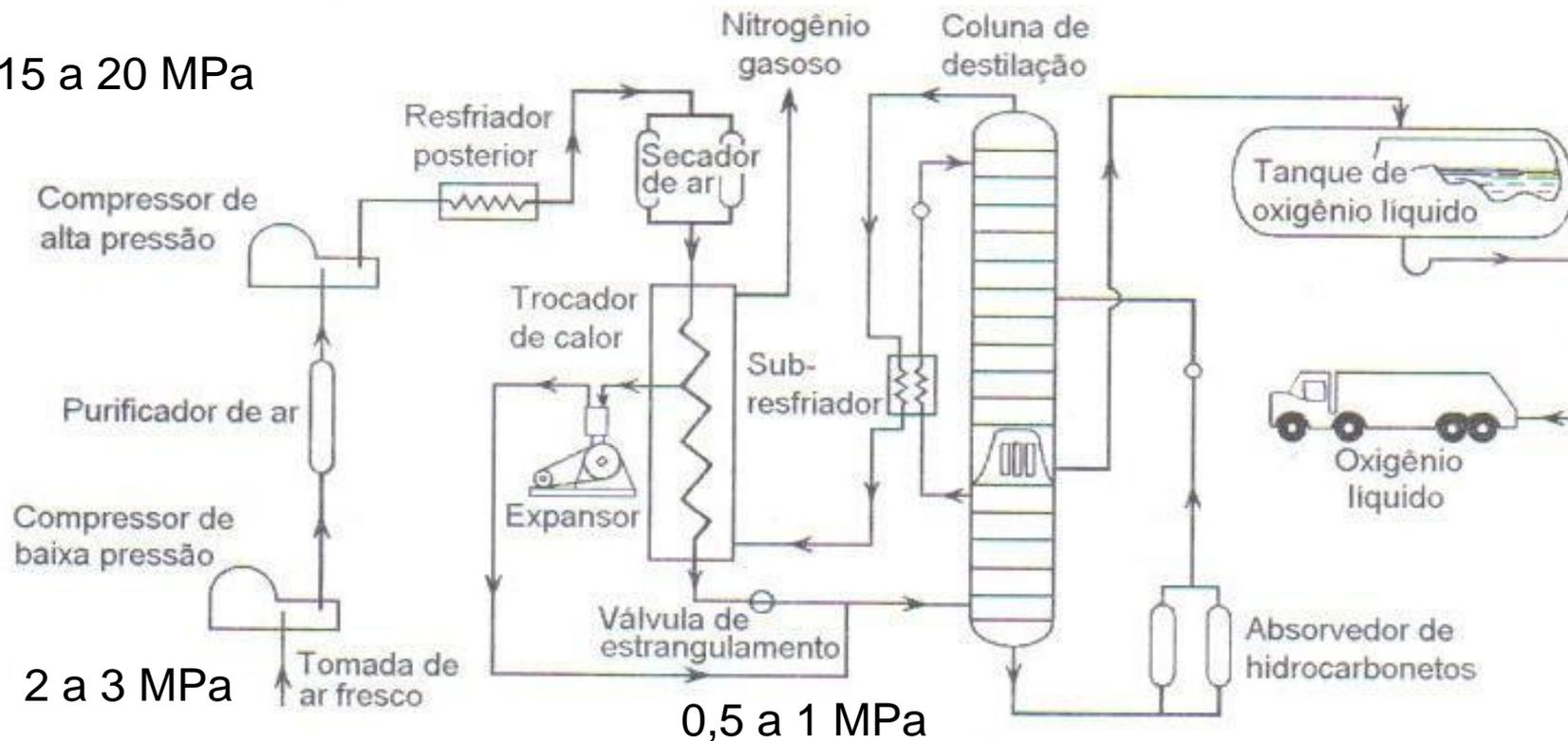
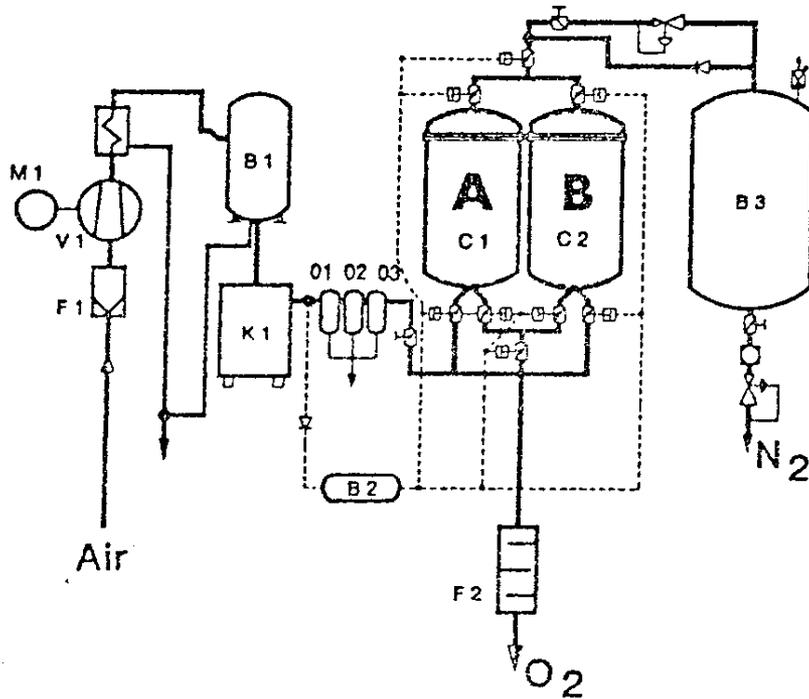


Figura 8. Produção de O<sub>2</sub> /N<sub>2</sub>.

# Processo "pressure swing" - PSA



Scheme of a pressure swing adsorption plant.

Figura 8. Produção de O<sub>2</sub> /N<sub>2</sub>.

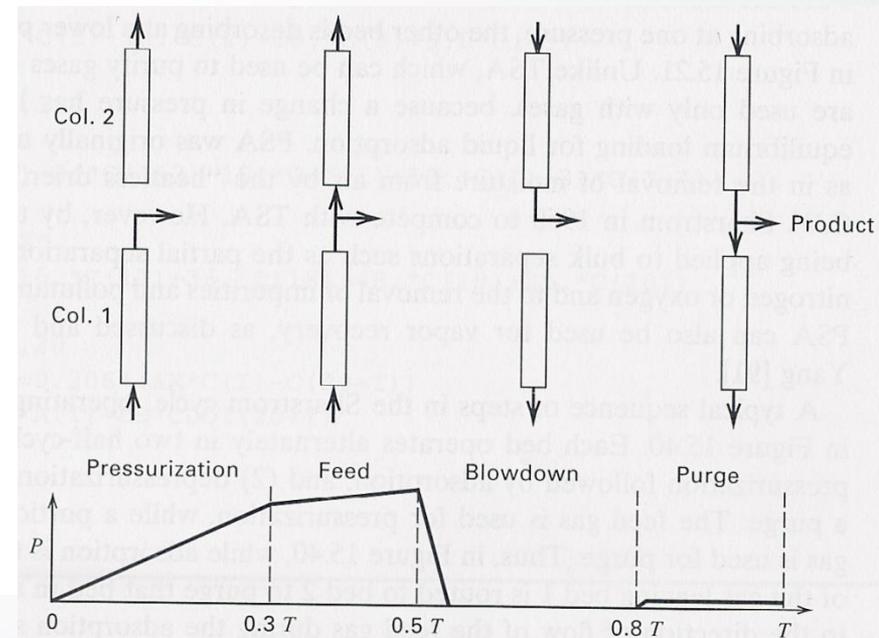


Figure 15.40 Sequence of cycle steps in PSA.



# SISTEMAS TERMODINÂMICOS.

Um importante passo em toda análise em engenharia é a identificação precisa do objeto a ser estudado. Em mecânica, quando o movimento de um corpo precisa ser determinado, normalmente o primeiro passo é a definição de um **CORPO LIVRE** e depois a identificação de todas as forças externas exercidas sobre ele por outros corpos. A segunda lei do movimento de Newton é então aplicada. Este é um exemplo de como sempre as leis físicas são aplicadas a **sistemas**



# Definições

**SISTEMA:** Quantidade fixa de matéria sujeita a trocas (de massa, calor e trabalho).

O **sistema termodinâmico** é definido como uma quantidade de matéria, com massa e identidade fixas. Tudo o que é externo ao sistema é denominada meio ou **vizinhança**.

Em termodinâmica, o termo **SISTEMA** identifica portanto o objeto da análise.

Pode ser um corpo livre ou algo complexo como uma Refinaria. Pode ser a quantidade de matéria contida num tanque de paredes rígidas, uma tubulação através da qual a matéria flui ou o fluido que passa p-ela tubulação.

A composição da matéria dentro do sistema pode mudar (reações químicas ou nucleares), mas o sistema caracteriza uma massa constante.



## SISTEMAS TERMODINÂMICOS.

**VIZINHANÇA** - Tudo o que é externo ao sistema.

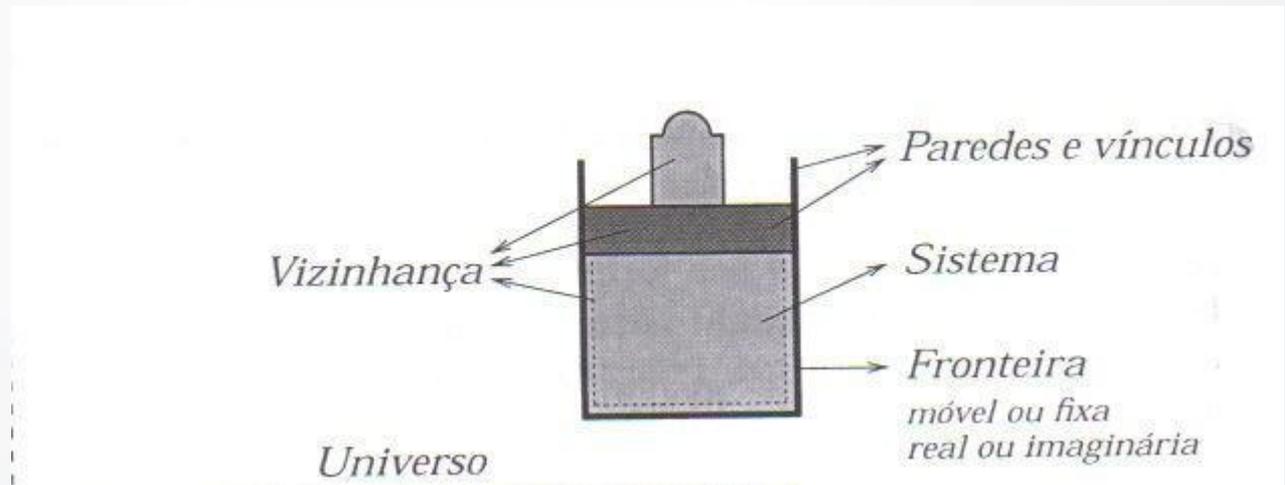
**FRONTEIRA** ou **SUPERFÍCIE DE CONTROLE** - superfície real ou imaginária que separa o sistema de sua vizinhança. Pode estar em movimento ou repouso. Deve ser definida cuidadosamente **ANTES** de se proceder a qualquer análise termodinâmica.

**VOLUME DE CONTROLE** - região do espaço definida . É um volume no espaço de interesse e que permite calcular entradas e saídas. Sua definição é arbitrária e dever ser feita pela conveniência da análise a ser feita.



## Exemplos

E1.





## Exercícios

E2. Qual o volume de controle mais adequado para realizar os cálculos necessários para as seguintes situações:

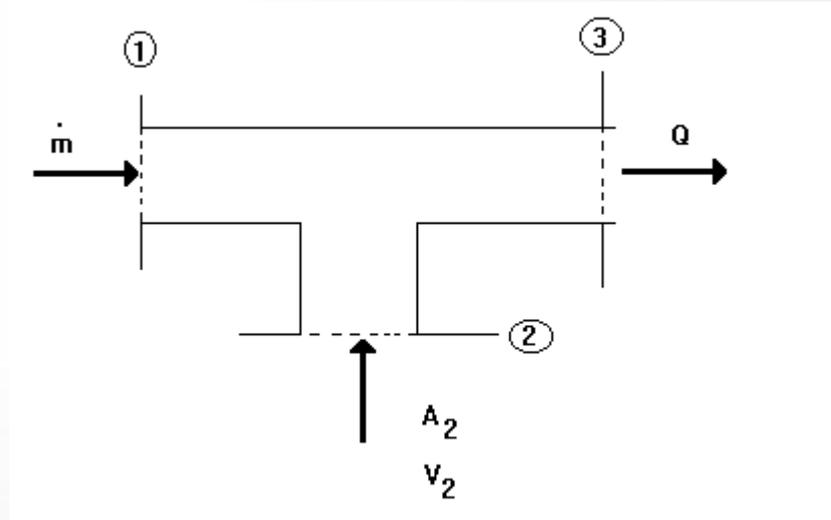
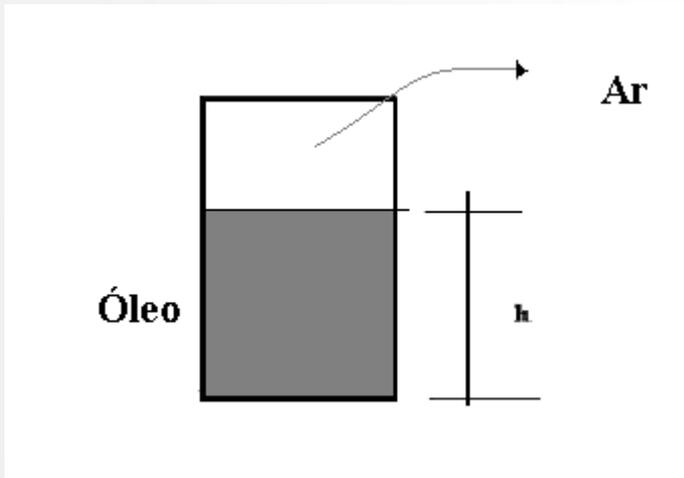


Figura 8. Produção de O<sub>2</sub> /N<sub>2</sub>.

# Tipos de sistemas



## Sistema isolado

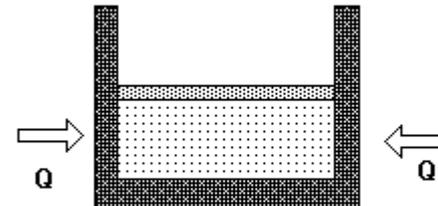
Não troca massa, calor e trabalho



Isolamento físico e térmico

## Sistema fechado

Não troca massa. Troca calor e trabalho

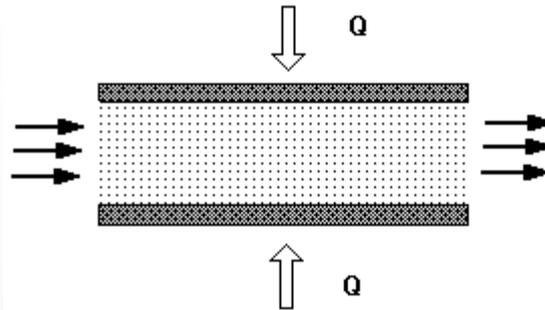




# Tipos de sistemas

Sistema isolado

Troca massa, calor e trabalho





## Exercícios

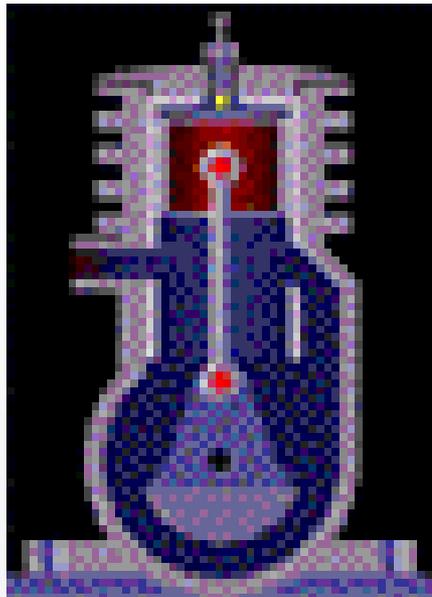
E3. Um material contido no recipiente indicado constitui que tipo de sistema? Qual é o volume de controle, a fronteira e a vizinhança?





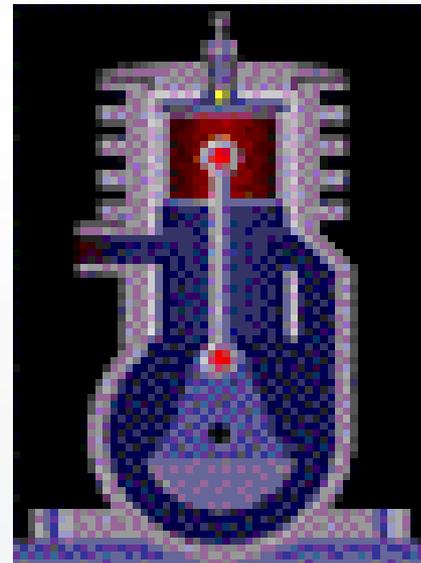
## Exercícios

E4. A mistura ar-combustível contida num cilindro de um motor é um sistema isolado, fechado ou aberto? Qual é o a fronteira, o volume de controle e a vizinhança?



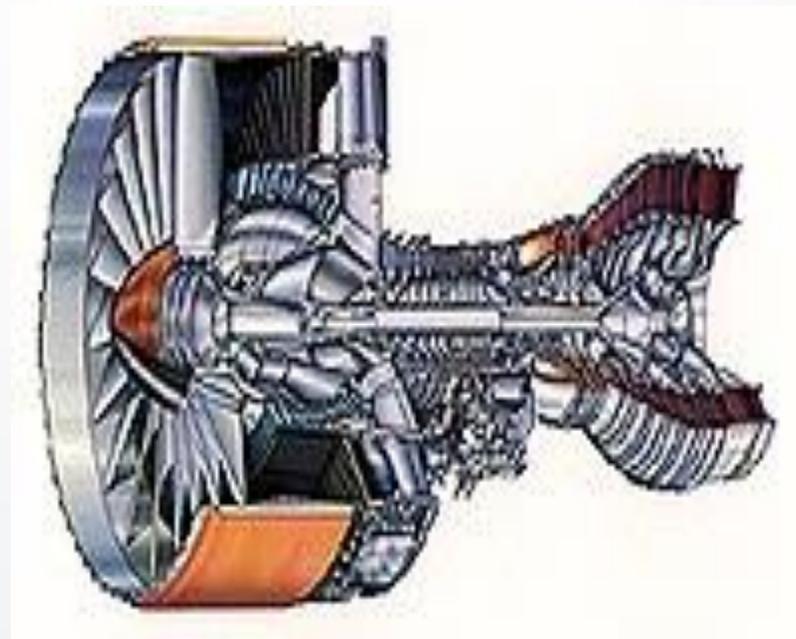
## Exercícios

E5. Após vários ciclos quando a massa entra e sai através das válvulas de admissão e exaustão que tipo de sistema constitui o motor? Qual é o volume de controle, a fronteira e a vizinhança?



## Exercícios

E6. Que tipo de sistema constitui uma turbina de avião, isolado, fechado ou aberto? Que volume de controle vc. adotaria para estudar o desempenho da turbina?





## Exercícios

E7. Que tipo de sistema constitui a Terra? Qual é o volume de controle, a fronteira e a vizinhança?





# Enfoques: macro e microscópico

**MICROSCÓPICO** - tratamento que leva em conta a estrutura da matéria. É chamada de termodinâmica **ESTATÍSTICA**. O objetivo é caracterizar por meios estatísticos o comportamento médio das partículas e relacioná-lo com o comportamento macroscópico do sistema.

**MACROSCÓPICO** - trata do comportamento global, inteiro do sistema. Nenhum modelo de estrutura molecular, atômica ou subatômica é utilizado diretamente. Este tratamento é o aplicado na **TERMODINÂMICA CLÁSSICA**. O sistema é tratado como um contínuo.

**E7.** Qual a temperatura de 3 átomos de carbono?



# PROPRIEDADE DE ESTADO, FASES E SUBSTÂNCIA PURA.

**PROPRIEDADE MACROSCÓPICAS** - características de um sistema, como **MASSA, VOLUME, ENERGIA, PRESSÃO E TEMPERATURA.**

**ESTADO** - condição do sistema, como descrito por suas propriedades. Para substâncias puras o estado pode ser caracterizado por propriedades macroscópicas como pressão, temperatura, o volume e a composição química. Cada propriedade da substância apresenta um valor em determinado estado e somente um determinado valor e essas propriedades têm o mesmo valor para um dado estado.

Como normalmente existem relações entre as propriedades. O **ESTADO** pode ser caracterizado por um subconjunto de propriedades.



# PROPRIEDADE DE ESTADO, FASES E SUBSTÂNCIA PURA.

**Explicando melhor:** o **estado** define uma condição da matéria, uma condição estabelecida por propriedades fundamentais como temperatura, pressão e volume e composição química.

Esse estado, definido por certos valores de pressão, temperatura, volume e composição, fica determinado independentemente de como se chegou a esses valores, ou seja, independentemente do caminho percorrido para atingir esses valores.

Esse estado, essa condição da substância, determina outras propriedades como massa específica (volume específico), calor específico, energia interna, entalpia, etc.

Ou seja um determinado valor da propriedade define um estado e, por sua vez e inversamente, certo estado define as suas propriedades.



E8

a) Qual a massa específica da água (líquido) a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $0,10135\text{ MPa}$ ?

b) Se o volume específico de vapor d'água saturado é  $0,8919\text{ m}^3/\text{kg}$ , qual a pressão e temperatura desse vapor?

c) a qual a sua composição química?

d) Uma pessoa pode carregar  $1\text{ m}^3$  de água que está a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $1\text{ atm}$ )?



# Termodinâmica

**SUBSTÂNCIA PURA** - É invariável em composição química. Pode existir em mais de uma fase.

**FASES** . Uma dada massa de água, por exemplo, pode existir sob várias formas (sólida, líquida e gasosa). Uma fase é denominada como uma quantidade de matéria totalmente homogênea em estrutura química e física.

Quando mais de uma fase coexistem, estas se separam entre si por meio de interfaces que são fronteiras entre as fases. Uma fase pode existir a várias pressões e temperaturas ou, usando a terminologia da termodinâmica, em vários estados.



# PROPRIEDADES EXTENSIVAS E INTENSIVAS

**EXTENSIVAS** - Seu valor para o sistema inteiro é a soma dos valores das partes em que o sistema for subdividido. Dependem do tamanho e extensão do sistema. Seus valores podem variar com o tempo. Exemplo: massa, energia, volume.

**INTENSIVAS** - Não são aditivas, como no caso anterior. Seus valores não dependem do tamanho e extensão do sistema. Podem variar de um lugar para outro dentro do sistema em qualquer momento. Exemplo: temperatura, pressão, calor específico.

**Exercício.** Identifique as propriedades intensivas e as extensivas. Pressão, Temperatura, Capacidade Calorífica, Calor Específico, Entalpia, Massa Específica.



# PROCESSOS E EQUILÍBRIO.

PROCESSO - mudança de estado devido à variação de uma ou mais propriedades.

EQUILÍBRIO E VELOCIDADE DE TRANSFERÊNCIA - Muitos problemas de engenharia podem ser classificados em problemas que envolvem equilíbrio e aqueles que não envolvem equilíbrio, ou seja, de não equilíbrio. Quando uma ou mais condições do sistema mudam com o tempo dizemos que é um problema de não equilíbrio. As velocidades de mudança são muito importantes e constituem, por exemplo, o interesse principal de disciplinas como Fenômenos de Transporte e Cinética Química.

A Termodinâmica trata principalmente com problemas de equilíbrio, ou seja, com sistemas que passaram por mudanças, mas que estão numa situação na qual não se percebe mais mudanças.



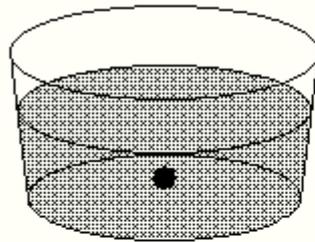
# Equilíbrios

Quando se iniciou a quantificação da temperatura permitiu estabelecer o que hoje chamamos de equilíbrio térmico de um sistema. Verificou-se que quando corpos quentes eram postos em contato com corpos frios, o mais quente esfriava-se e o mais frio aquecia-se, de forma de chegava-se a um estado final onde os corpos nos davam a mesma sensação térmica (de terem o mesmo nível de aquecimento) quando, então, não se percebia mais nenhuma mudança, ou seja, quando se atingia o que hoje chamamos de **equilíbrio térmico**.

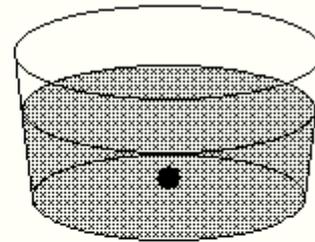
Essa evolução para o estado de equilíbrio é devido a processos irreversíveis, que se anulam no equilíbrio. Diz-se estado de não-equilíbrio como um estado em que se desenrolam processos irreversíveis que empurram o sistema em direção ao estado de equilíbrio. Dois sistemas trocam energia e/ou matéria atingirão, no final, o estado de equilíbrio térmico, no qual as suas temperaturas serão iguais.



# Equilíbrios



$$T_{1\text{Pb}} > T_{1\text{liq.}}$$

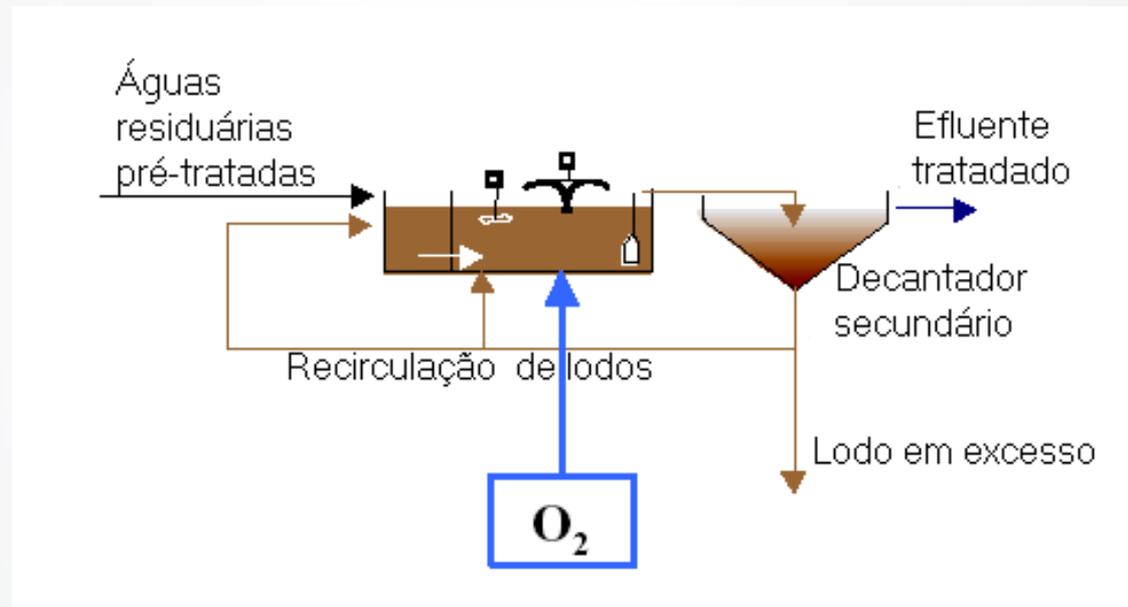


$$T_{2\text{Pb}} = T_{2\text{liq.}}$$

equilibrio

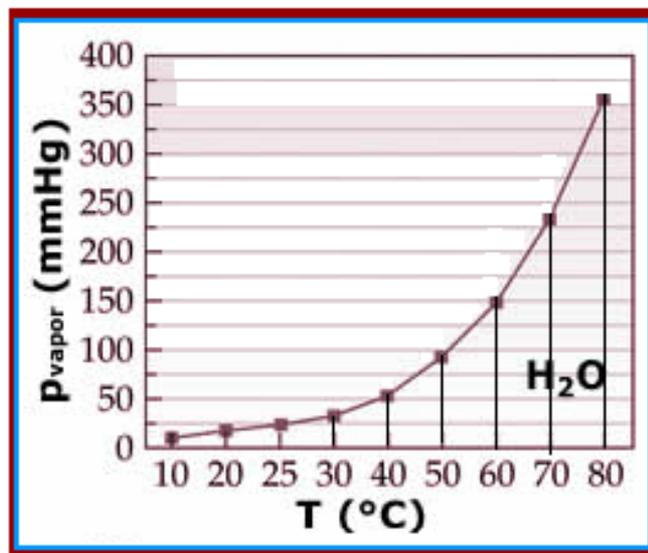


# Equilíbrios



# Equilíbrios

**PRESSÃO DE VAPOR.** É a pressão exercida pelo vapor de um líquido quando este está em equilíbrio com o líquido que lhe deu origem. É uma propriedade física que depende do valor da temperatura. Se um líquido for aquecido num recipiente, ele entra em ebulição quando a pressão de vapor for igual à pressão a que o líquido está submetido.



A pressão de vapor aumenta exponencialmente com o aumento da temperatura. A ebulição ocorre na temperatura na qual a pressão de vapor se iguala à pressão externa.

# Equilíbrios

E9. É colocada um pouco de água num frasco e fechado conforme indica a figura 16. A água é fervida durante alguns minutos de tal forma que o vapor que sai retira a maior parte do ar do frasco. Em seguida o fogo é apagado e o tubo fechado com uma garra. O frasco é invertido e derrama-se água fria sobre o frasco e o vapor é condensado. Observa-se que a água continua fervendo. A) o sistema tem quantas fases? B) Como se pode explicar a ebulição da a temperatura inferior a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? C) Se a pressão, após a condensação, do vapor no frasco for  $150\text{ mmHg}$ , qual a temperatura de ebulição da água?





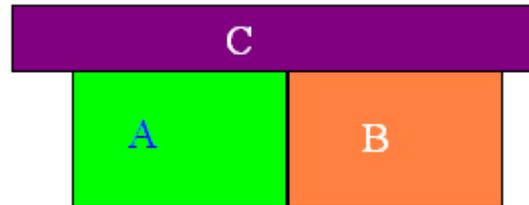
# Equilíbrios

Quando temos um sistema em equilíbrio podemos dizer que as propriedades do sistema são as propriedades das substâncias ou substâncias que o compõe. Isso implica necessariamente que o valor da propriedade vale para todo o sistema. Quando um sistema esta em equilíbrio, em relação a todas possíveis mudanças de estado, diz-se que o sistema está em equilíbrio termodinâmico.



# A LEI ZERO DA TERMODINÂMICA.

Quando dois corpos têm igualdade de temperatura com um terceiro corpo, eles estão em equilíbrio térmico entre si. Essa conclusão não é dedutível de outras proposições e recebe a denominação da lei zero da termodinâmica.



E10. Para medir a temperatura de um corpo coloca-se um termômetro em contato com esse corpo e espera-se algum tempo até que não se observe a variação do nível do mercúrio. Nesse instante dizemos que a temperatura do corpo é o valor determinado na escala do termômetro. Com base em que princípio nós podemos dizer que a temperatura do mercúrio é a mesma temperatura do corpo?



# EQUILÍBRIOS

**EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO:** implica em equilíbrios mecânico, térmico, de fases e químico.

**UNIFORMIDADE DE PROPRIEDADES NO EQUILÍBRIO:** não variam de um ponto para outro. Exemplo: temperatura.

**PROCESSO QUASE-ESTÁTICO:** processo idealizado composto de uma sucessão de estados de equilíbrio, representando cada processo um desvio infinitesimal da condição de equilíbrio anterior.



# UNIDADES, DEFINIÇÕES E CONVERSÕES

## Comprimento L

$$1 \text{ ft} = 12 \text{ in (polegadas)} = 12 \times 0,0254 \text{ m} = 0,3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ milha} = 1,6093 \text{ km}$$

## Área L<sup>2</sup>

$$1 \text{ m}^2 = 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 10^4 \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ ft}^2 = 0,092903 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ in}^2 = 0,000645 \text{ m}^2$$

## Volume L<sup>3</sup>

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$$

$$1 \text{ m}^3 = 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 10^6 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ l} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ ml}$$

$$1 \text{ ft}^3 = 0,028373 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 35,2452 \text{ ft}^3$$

$$1 \text{ in}^3 = (0,0254)^3 = 1,64 \text{ e-}05 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 6,100 \text{ E}04 \text{ in}^3$$



## Massa e massa específica M; M/L<sup>3</sup>

$$1 \text{ lbm} = 0,45359237 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 2,05 \text{ lbm}$$

$$1 \text{ slug} = 14,594 \text{ kg}$$

$$\text{lb/ft}^3 = 16,019 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{lbm/in}^3 = (1 \text{ kg} / 0,4536 \text{ lbm}) * \text{lb} * (\text{in}^3 / \text{m}^3) * \text{in}^3 = 16,0 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{lb/in}^3 = 27680 \text{ kg/m}^3 = 27680 \text{ g/l} = 27,68 \text{ g/cm}^3$$

## Temperatura

°C	°F
100	212
C	F
0	32

$$\frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180} \Rightarrow C = \frac{F - 32}{1,8}$$

$$K = C + 273,15$$

$$\Delta C \Rightarrow \Delta F ? \Rightarrow \Delta 1C = \Delta 1,8F$$

$$\frac{\Delta C}{100} = \frac{\Delta F}{180} \Rightarrow \Delta C = \frac{\Delta F}{1,8}$$



**Força .       $F = ma$**

$$1 \text{ N} = 1 \text{ (kg)} \times 1 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} * 9,806 \text{ m/s}^2 = \mathbf{9,806 \text{ N}}$$

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ (lbm)} \times 32,174 \text{ (ft/s}^2\text{)} = 32,174 \text{ lbm} \cdot \text{ft/s}^2$$

$$1 \text{ lbf} = 32,174 \times 0,45349 * 0,3048 \text{ N} = \mathbf{4,448215 \text{ N}}$$

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ slug} * 1 \text{ (ft/s}^2\text{)}$$

$$4,448215 \text{ N} = 1 \text{ slug} * 1 * 0,3048 * \text{ (m/s}^2\text{)} \Rightarrow 1 \text{ slug} = \mathbf{4,448215 \text{ N} / (*0,3048 * \text{ (m/s}^2\text{)})}$$

$$1 \text{ slug} = \mathbf{14,594 \text{ kg}}$$

$$1 \text{ poundal} = \mathbf{1 \text{ lb} * \text{ft/s}^2}$$

**Pressão.     $F/A$**

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 9,806 \text{ N} * 10^4 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = 98,06 \text{ kPa} = 0,09806 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ lbf/ft}^2 = 4,448215 \text{ N} * 1 \text{ ft}^2 / (0,3048)^2 \text{ m}^2 = 47,88 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ lbf/in}^2 = 1 \text{ psi} = 4,448215 * \text{in}^2 / (0,0254)^2 \text{ m}^2 = 6894,76 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = \text{Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 101,32 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$



**Energia = Trabalho = Calor**

**Trabalho = F\*Δl**

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ}$$

**British Thermal Unit (BTU)** - Corresponde à quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma libra massa de água de 39,2 °F a de 40,2 °F à pressão atmosférica

$$1 \text{ BTU} = 1 055,056 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 4 186 \text{ J} \cdot (1 \text{ BTU} / 1 055,056 \text{ J}) = 3,968 \text{ BTU}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ} (1 \text{ BTU} / 1,055056 \text{ kJ}) = 3412,14 \text{ BTU}$$

$$1 \text{ kWh} = 3412,141 \text{ BTU}$$

$$1 \text{ tep} = 41,8 \text{ GJ}$$



## Potência. $F \cdot v$

$$\text{Watt} = \text{N} \cdot \text{m/s} = \text{J/s}$$

$$1 \text{ BTU/h} = 1\,055,056 \text{ J/h} \cdot 1 \text{ h}/3600\text{s} = 0,2931 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 3,4123 \text{ Btu/h}$$

**Obs.** Watt estimou que um cavalo, trabalhando em uma mina de carvão, era capaz de elevar uma cesta de carvão com 330 libras-força de peso (149.7 kgf), a uma altura de 100 pés (30.48 metros), gastando para isso um tempo de 1 minuto, e chamou essa potência de

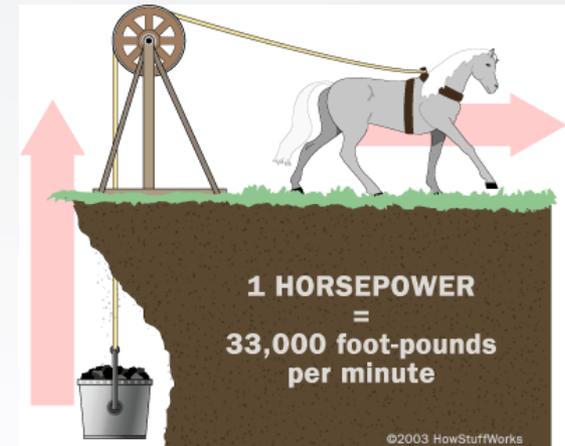
$$1 \text{ horsepower (hp)} = (330 \text{ lbf} \times 100 \text{ ft}) / 1 \text{ min.} = 33000 \text{ lbf. ft/min}$$

$$33000 \text{ lbf.ft/min} \cdot 4,448215(\text{N/ lbf}) \cdot 0,3048(\text{ m/ft}) \cdot (1\text{min}/60 \text{ s}) = 745,67 \text{ W.}$$

$$1 \text{ kW} = 1,341 \text{ hp}$$

**Obs:**  $1 \text{ CV} = 75 \text{ kg} \cdot 9,806 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m/s} \sim 735,75 \text{ W}$

$$1 \text{ kW} = 1,360 \text{ CV}$$





## Viscosidade

$$\begin{aligned} 1 \text{ Pa.s} &= \text{kg/m.s} = 2419,1 \text{ lbm/ft.hr} \\ 1 \text{ lbm/ft.hr} &= 4,134 \cdot 10^{-4} \text{ Pa.s} \end{aligned}$$

## Fluxo de calor

$$\begin{aligned} 1 \text{ W/m}^2 &= 0,3171 \text{ Btu/ft}^2.\text{h} \\ 1 \text{ Btu/ft}^2.\text{h} &= 3,154 \text{ W/m}^2 & 1 \Delta^\circ \text{C} \\ &= 1,8 \Delta^\circ \text{F} \end{aligned}$$

## Calor específico

$$1 \text{ BTU /lbm.oF} = 1 \text{ 055,056 J/BTU} * 1 \text{ lbm}/[0,4536 \text{ kg} * 1,8 \text{ }^\circ\text{F}/^\circ\text{C}] =$$

$$1055,056 / 0,453593 * 1,8 = 4 \text{ 186,8 J/kg.oC}$$

$$1 \text{ BTU /lbm.oF} = 1 \text{ kcal /kg.oC}$$

## Condutividade térmica

$$\begin{aligned} 1 \text{ W/m.oC} &= 1,731 \text{ BTU /hr. ft. }^\circ\text{F} \\ 1 \text{ Btu / h.ft. }^\circ\text{F} &= 0,5778 \text{ W/m.oC} \end{aligned}$$

## Coefficiente de troca térmica

$$1 \text{ BTU / (hr. ft}^2.\text{oF)} = 1 \text{ 055,056 J/BTU} * (\text{h}/3600\text{s}) * (\text{ft}^2/0,3048^2\text{m}^2)**(1,80 \text{ }^\circ\text{F}/^\circ\text{C}) =$$

$$1055,056 / 3600 / 0,0929 * 1,8 = 5,6783 \text{ W/m}^2.\text{oC}$$

$$1 \text{ W/m}^2.\text{oC} = 0,17612 \text{ BTU/h/lbm/oF}$$