

Sistemas, estados,  
transformações

# O ar desta sala

- O que é?
  - $N_2$  (ca. 78% do volume),  $O_2$  (ca. 21%), argônio (ca. 1%),  $CO_2$  (0,03%), neônio (0,005%), hélio, metano, hidrogênio, ozônio ( $O_3$ ), CO,  $SO_2$ , criptônio,  $NO_x$ .
- Como pode ser descrito?
- Quanto?
  - Volume e massa
- Temperatura?
- Pressão?
- Está em equilíbrio?
- Se abrir a porta, o que acontece?

# O ar pode ser liquefeito

- Temperaturas de liquefação:
  - $\text{N}_2$  a 1 bar: 77K ou  $-195,8\text{ }^\circ\text{C}$
  - $\text{O}_2$  a 1 bar: 90,2K ou  $-183\text{ }^\circ\text{C}$
  - A mais baixa: He: 4K ou  $-269\text{C}$
  - Temperatura mais baixa já registrada na Terra:  $-89\text{ }^\circ\text{C}$ , portanto a atmosfera da Terra não se liquefaz naturalmente.
- Gases puros ( $\text{N}_2, \text{O}_2$ ) são obtidos por destilação do ar.



[http://lindeengineering.com/images/LE000719\\_456px\\_000.jpg](http://lindeengineering.com/images/LE000719_456px_000.jpg)

# Separação de gases

- **Cryogenic air separation system with multi-pressure air liquefaction**
- **USPTO Application #:** 20070157664  
**Title:** Cryogenic air separation system with multi-pressure air liquefaction  
**Abstract:** A method for carrying out cryogenic air separation wherein feed air is processed in three streams which are at different pressures, wherein one stream is turboexpanded to generate refrigeration and the other two streams are condensed to effect pressurized product vaporization. (end of abstract)
- **Agent:** [Praxair, Inc. Law Department - M1 557 - Danbury, CT, US](#)  
**Inventor:** [Henry Edward Howard](#)
- Vídeos de experimentos com nitrogênio líquido:  
<http://www.youtube.com/watch?v=w2mj-Sq2oeo&feature=related>  
<http://www.youtube.com/watch?v=BTqXcJC-b44&NR=1>

# Sistema

- Parte do Universo que decidimos estudar.
  - **Ambiente**: o resto do Universo
  - **Limite, fronteira**: a superfície que divide Sistema do Ambiente.
- Três tipos:
  - **Aberto**: massa e energia podem ser transferidos, entre o Sistema e o Ambiente
  - **Fechado**: energia pode ser transferida, massa não pode
  - **Isolado**: nem energia nem massa podem ser transferidos entre o Sistema e o Ambiente.

# O que é necessário para descrevermos um sistema

- Algumas propriedades macroscópicas:  $p$ ,  $T$ ,  $V$ ,  $n_i$ ,  $m$ ,...
- O sistema é homogêneo ou heterogêneo?
- O sistema está em equilíbrio, ou não?
- Quantos e quais componentes tem o sistema?

# O ar desta sala

- *Componentes?*
  - $N_2$  (ca. 78% do volume),  $O_2$  (ca. 21%), argônio (ca. 1%),  $CO_2$  (0,03%), neônio (0,005%), hélio, metano, hidrogênio, ozônio ( $O_3$ ), CO,  $SO_2$ , criptônio,  $NO_x$ .
- Homogêneo
- Não está em equilíbrio. Estaria mais próximo de equilíbrio na sala vazia e fechada, sem ligar o condicionador de ar
- Volume: aprox.  $10 \times 5 \times 3 = 50 \text{ m}^3$
- Temperatura:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Pressão = 710 torr =                      bar =                      Pa

# Propriedades Macroscópicas

- Extensivas

- Dependem do tamanho do sistema

- Dadas as condições de  $p$  e  $T$ , aumentam linearmente com a massa

- $n$ ,  $m$ ,  $V$ , ...

- Intensivas

- Independem do tamanho do sistema

- Os mesmos valores podem ser obtidos, para qualquer massa

- $T$ ,  $p$ ,  $V_m = V/n$ , ...

# O Estado de um Sistema em Equilíbrio

- Definido pelo conjunto das propriedades macroscópicas que são descritas pelas *variáveis de estado*.
  - $P, n, T, V$
  - As variáveis são características do estado em que o sistema se ache, independem da *história* do sistema.
  - *Analogia: altitude de um local.*
- Um sistema de um componente é completamente definido por  $n$ , mais duas variáveis de estado
  - $V = f(n, p, T)$       ou       $p = g(n, V, T)$

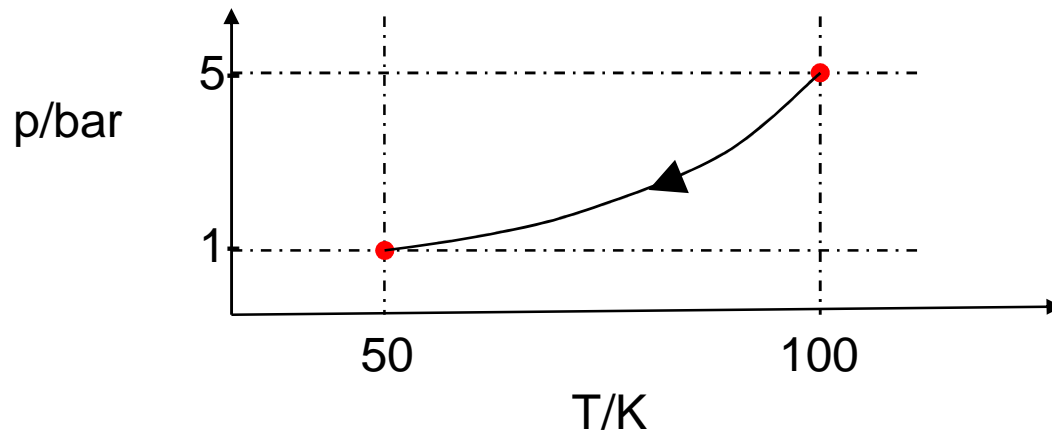
# Exemplos

- Um sistema de um componente é completamente definido por  $n$ , mais duas variáveis de estado
  - $V = f(n, p, T)$  ou  $p = g(n, V, T)$
  - 3  $\text{H}_2$  (g, 1 bar, 100 °C): 3 moles de hidrogênio, na pressão de 1 bar e temperatura de 100 °C.
  - 2  $\text{Cl}_2$  (g, 5 L, 50 °C)
  - 5 Ar (s, 5 bar, 50K)

# Transformações

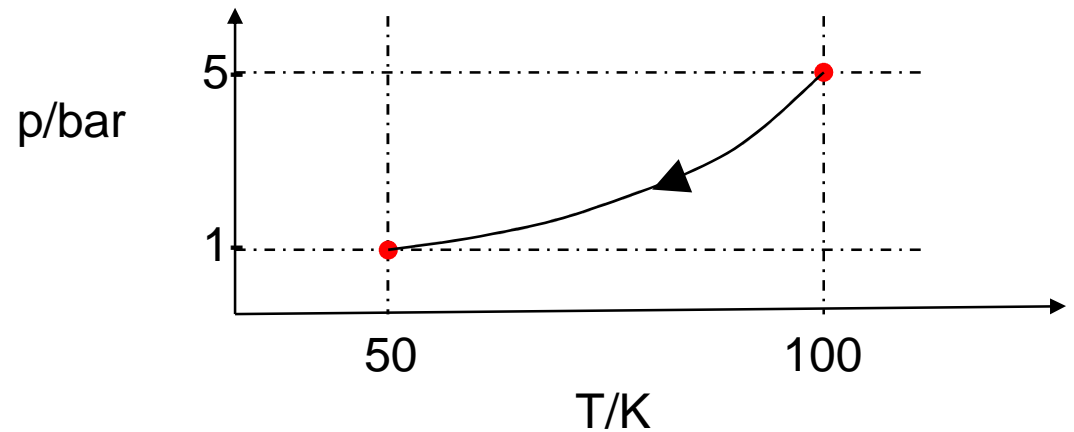
- Notação
  - $3 \text{ H}_2 (\text{g}, 5 \text{ bar}, 100 \text{ }^\circ\text{C}) = 3 \text{ H}_2 (\text{g}, 1 \text{ bar}, 50 \text{ }^\circ\text{C})$   
estado inicial estado final

- Caminho

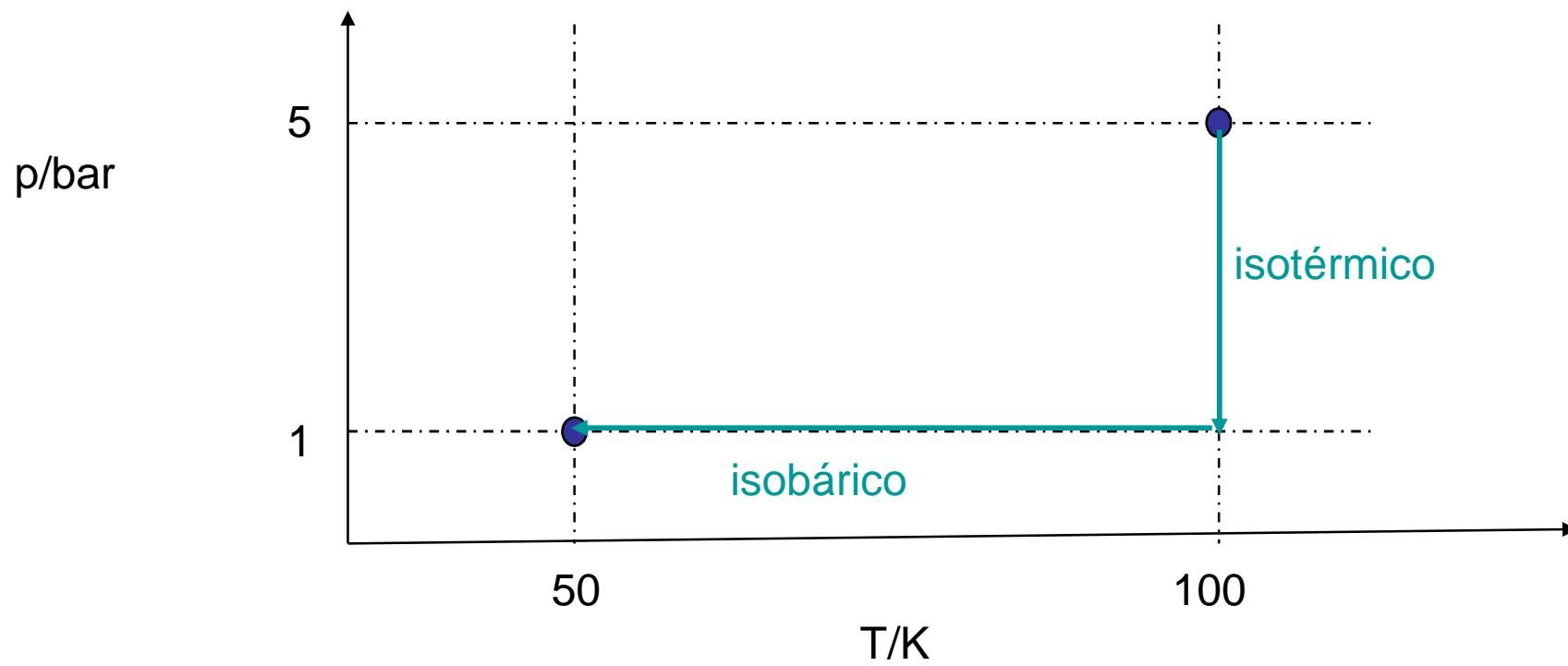


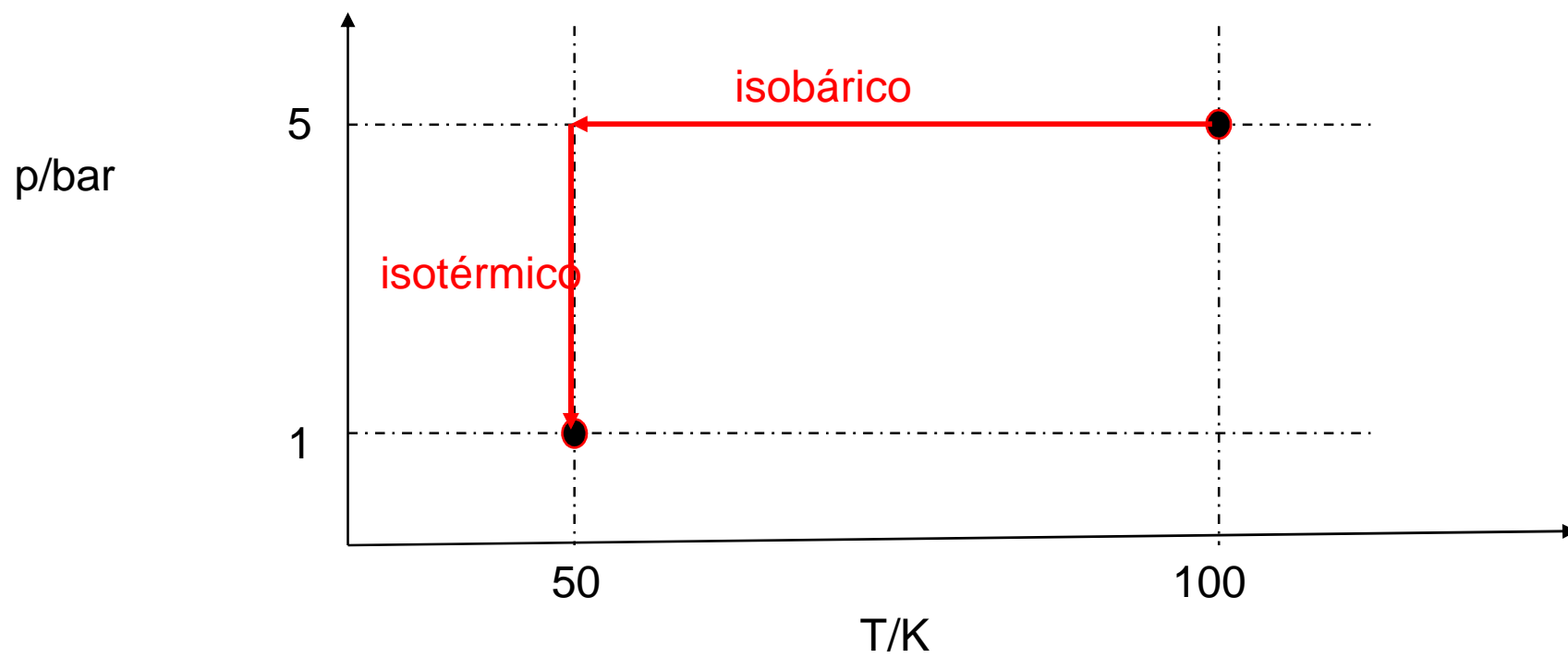
- Pode haver muitos caminhos diferentes, para a mesma transformação.

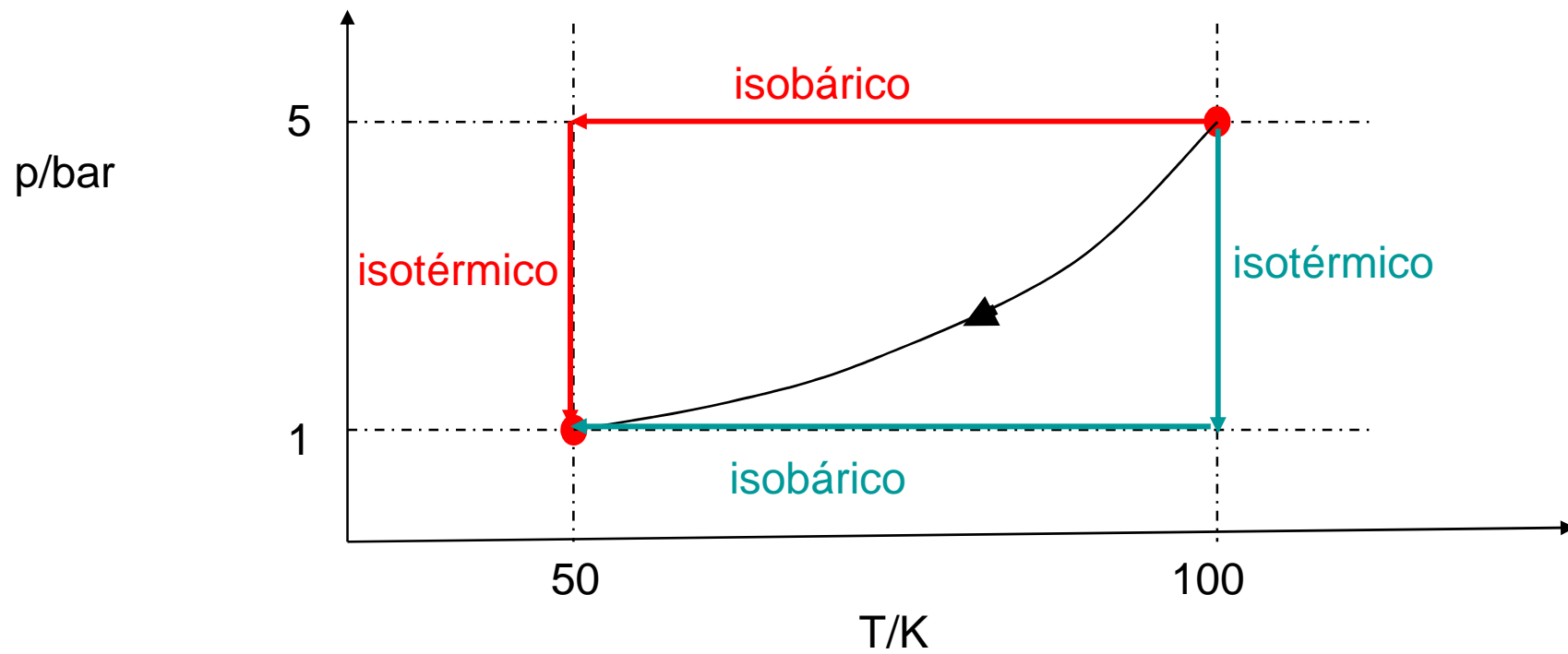
# Tipos de processos



- **Reversível**: sempre em equilíbrio
- **Irreversível**: define o sentido do tempo
- **Adiabático**: não ocorre a transferência de calor entre o sistema e o ambiente
- **Isobárico**: pressão constante
- **Isotérmico**: temperatura constante
- **Isocórico**: volume constante.







# Teste

- Escreva cinco definições que foram apresentadas nesta aula.
- Descreva em detalhe um processo isobárico realizado com nitrogênio gasoso, dando as variáveis de estado iniciais e finais.
- Escreva sete propriedades de um sistema qualquer, separando as intensivas das extensivas.
- Qual é a origem da pressão atmosférica? Justifique o fato de ela ser de aproximadamente 1 bar ao nível do mar.