

Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo



PME 3344

Termodinâmica Aplicada

- 1) Introdução
- 2) Conceitos Fundamentais



Objetivo

- Apresentar os conceitos relacionados à Termodinâmica, aplicados a situações de interesse nos campos da Engenharia Elétrica e Engenharia de Minas.

Programa

1. Substância pura
2. Trabalho e calor
3. 1^a e 2^a Leis da Termodinâmica para sistemas e volumes de controle
4. Conversão de energia por processos e ciclos termodinâmicos

Cronograma de atividades



Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

AULA	DATA	TÓPICO DO PROGRAMA	LISTA DE EXERCÍCIOS
01	07/08	Introdução / Conceitos termodinâmicos iniciais	
02	14/08	Substância Pura / Trabalho e Calor	
03	21/08	Primeira Lei da Termodinâmica para Sistemas	LISTA 01 (13/08 A 19/08)
04	28/08	Primeira Lei da Termodinâmica para Sistemas	LISTA 02 (20/08 A 26/08)
05	11/09	Primeira Lei da Termodinâmica para Volume de Controle	LISTA 03 (27/08 A 02/09)
06	18/09	Segunda Lei da Termodinâmica para Sistemas	
07	25/09	Conceito de Entropia	LISTA 04 (17/09 A 23/09)
08	02/10	1ª. Prova	
10	09/10	Segunda Lei da Termodinâmica para Volume de Controle	
11	16/10	Segunda Lei da Termodinâmica para Volume de Controle	LISTA 05 (15/10 A 21/10)
12	23/10	Ciclos Motores a Vapor	LISTA 06 (22/10 A 28/10)
13	30/10	Ciclos Motores a Vapor	
14	06/11	Ciclos Motores a Ar	LISTA 07 (05/11 A 11/11)
15	13/11	Ciclos de Refrigeração	LISTA 08 (19/11 A 25/11)
16	27/11	2ª. Prova	
18	11/12	Prova substitutiva	



★ Critério de aproveitamento:

- $MF = (2 \cdot A + 3 \cdot P1 + 3 \cdot P2) / 8$ onde:
- MF= média final;
- A= média aritmética de avaliações realizadas ao longo do semestre;
- P1= nota da 1ª prova;
- P2= nota da 2ª prova.

★ Prova substitutiva contemplará todo o conteúdo da disciplina

★ Prova substitutiva será realizada somente nos casos de impossibilidade de comparecimento do aluno com comprovação mediante apresentação de atestado médico fornecido pelo Hospital Universitário.

★ Duas provas com consulta a apenas uma folha de formulário, de tamanho A4, preparada pelo aluno, a ser recolhida ao final, e a um extrato das Tabelas Termodinâmicas. É vedado o empréstimo de material;



Professor	Sala	Horário de atendimento
Alberto	TS-21	3 ^a feira das 13:00 às 14:00
Jurandir	TS-29	4 ^a feira das 11:00 às 12:00
Fiorelli	TS-23	2 ^a feira das 14:00 às 15:00



Livros sugeridos:

- ◆ Moran, M.J. Shapiro, H.N. Munson, B.R. DeWitt, D.P. Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos, LTC, 2005.
- ◆ Van Wylen, G.J. Borgnakke, C. Sonntag, R.E. Fundamentos da Termodinâmica, 7ª ed., Edgard Blücher, 2009.
- ◆ Moran, M.J. Shapiro, H.N. Princípios de Termodinâmica Para Engenharia. LTC, 6ª ed., 2009.
- ◆ Çengel, Y. A.; Boles, M. A. Termodinâmica. McGraw-Hill, 5ª ed., 2006.



Do grego

Termhe (calor) + Dynamis (potência) = Termodinâmica

"Termodinâmica é a ciência da energia e da entropia"

O objeto de estudo é a energia, suas transformações e seu aproveitamento.



- ❖ **Sistema termodinâmico** – quantidade de matéria com massa e identidade fixas sobre a qual nossa atenção é dirigida.
- ❖ **Volume de controle** – região do espaço sobre a qual nossa atenção é dirigida.
- ❖ **Vizinhança** – tudo que é externo ao sistema ou volume de controle.
- ❖ **Fronteira** – superfície real ou imaginária que separa o sistema da vizinhança. A fronteira não tem espessura, volume ou massa.

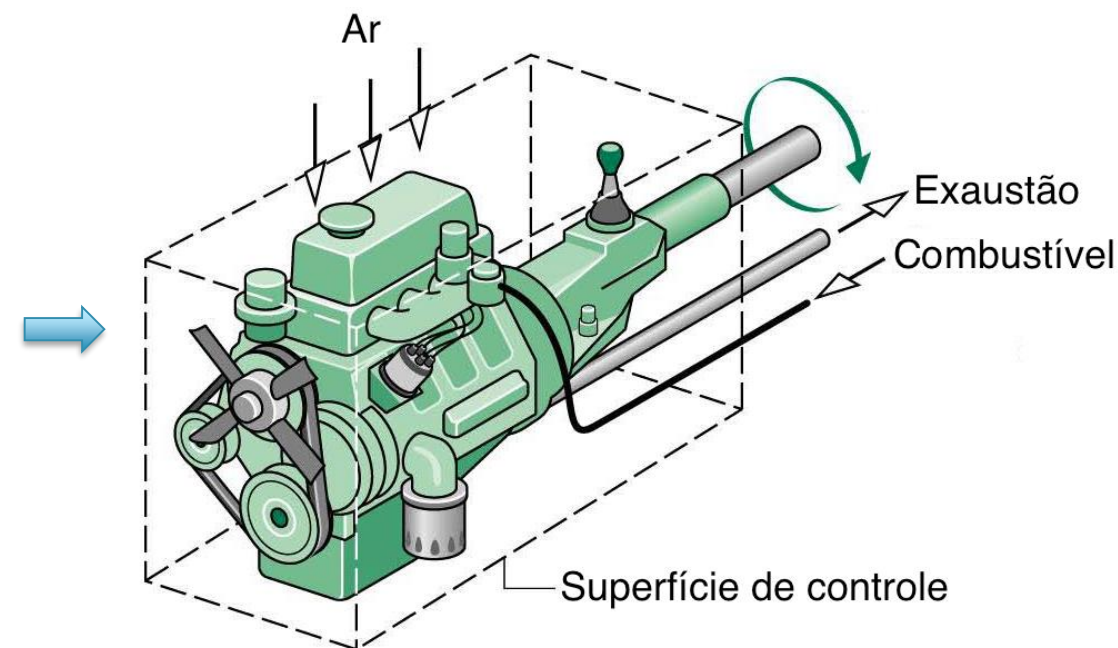
Fronteira

{
Fixa
Móvel

É importante reconhecer o tipo de sistema e indicá-lo no início da análise, pois as expressões dos princípios termodinâmicos são diferentes para sistemas e volumes de controle.

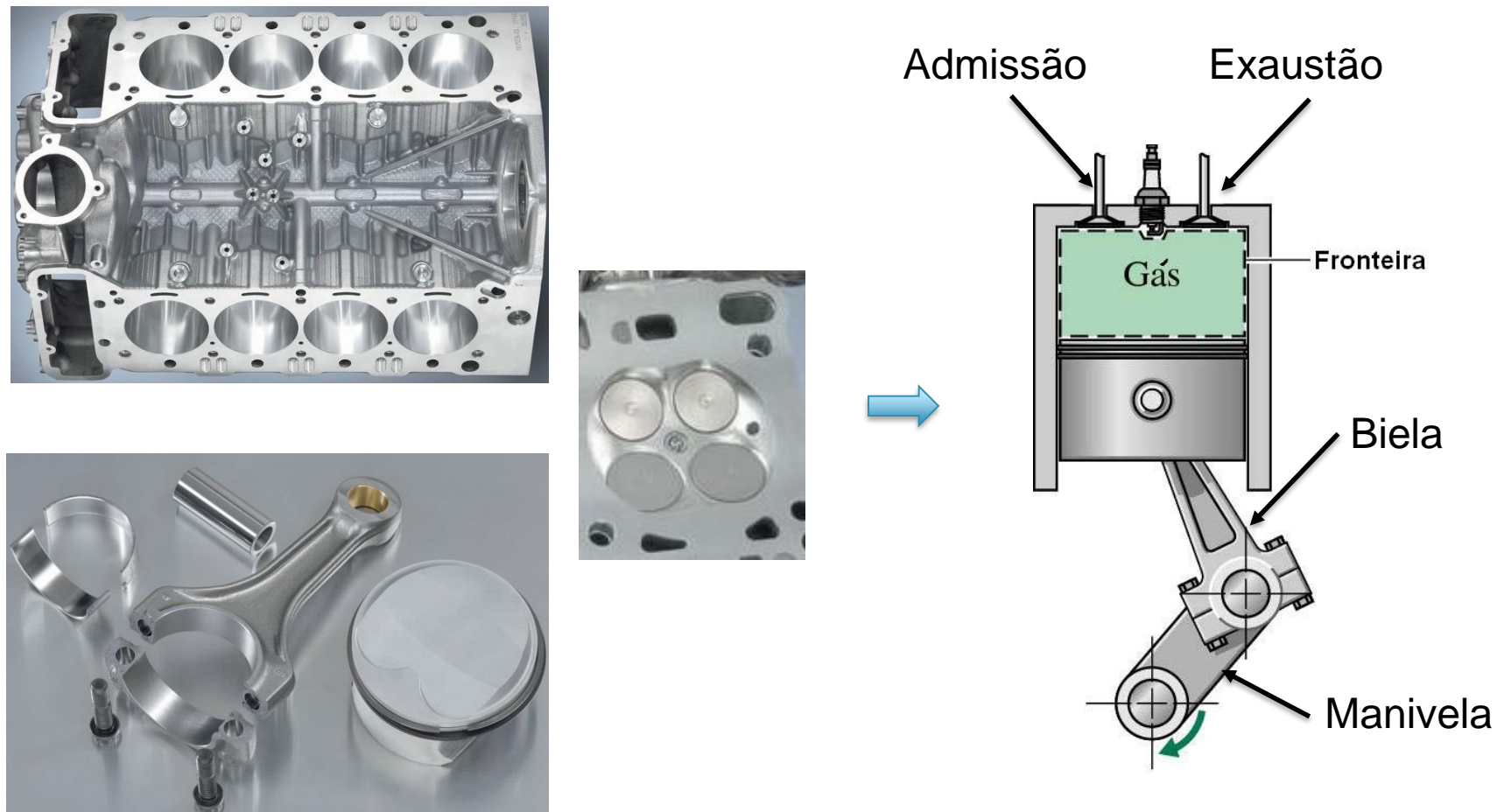
❖ Identificação sistema / volume de controle, exemplos:

(a) Motor de combustão interna;



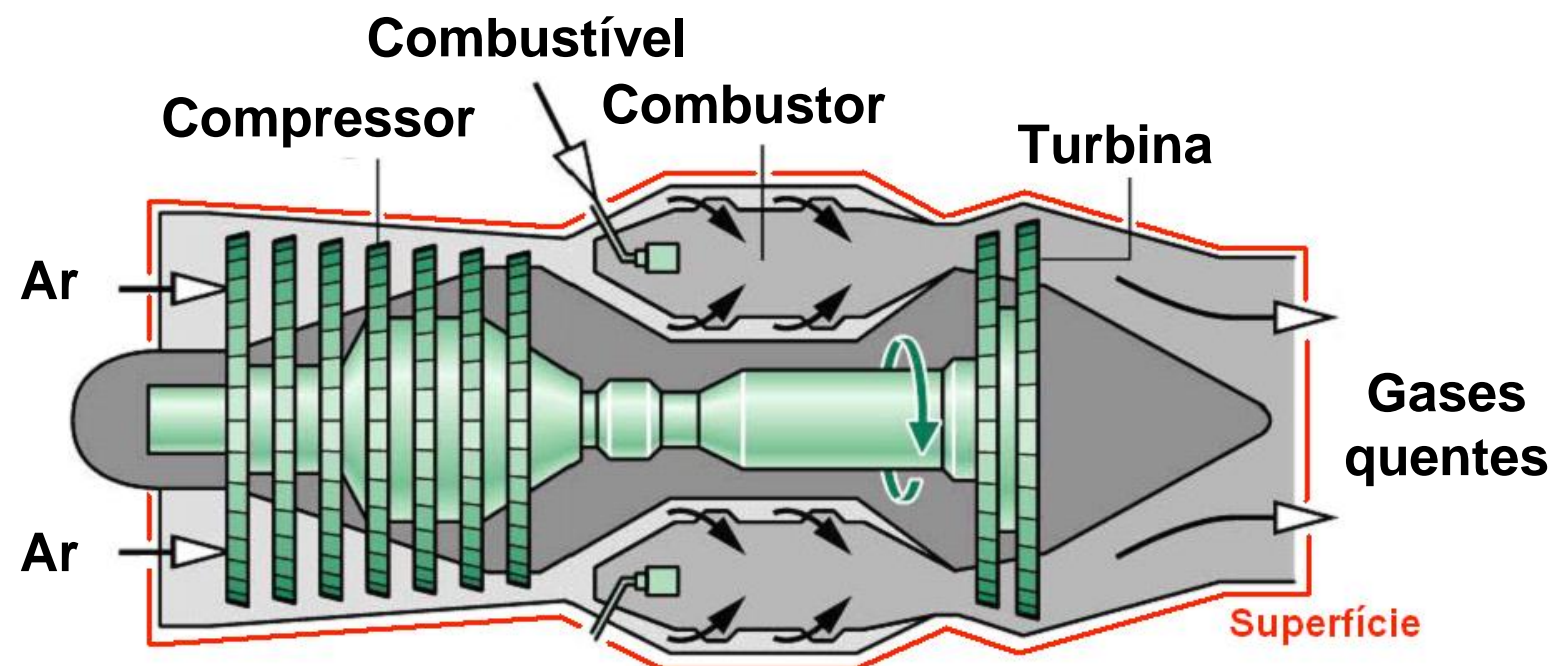
Resp. - Volume de controle.

(b) Cilindro de MCI (motor de combustão de interna);



Resp. - Sistema (válvulas fechadas) ou VC com pelo menos uma válvula aberta.

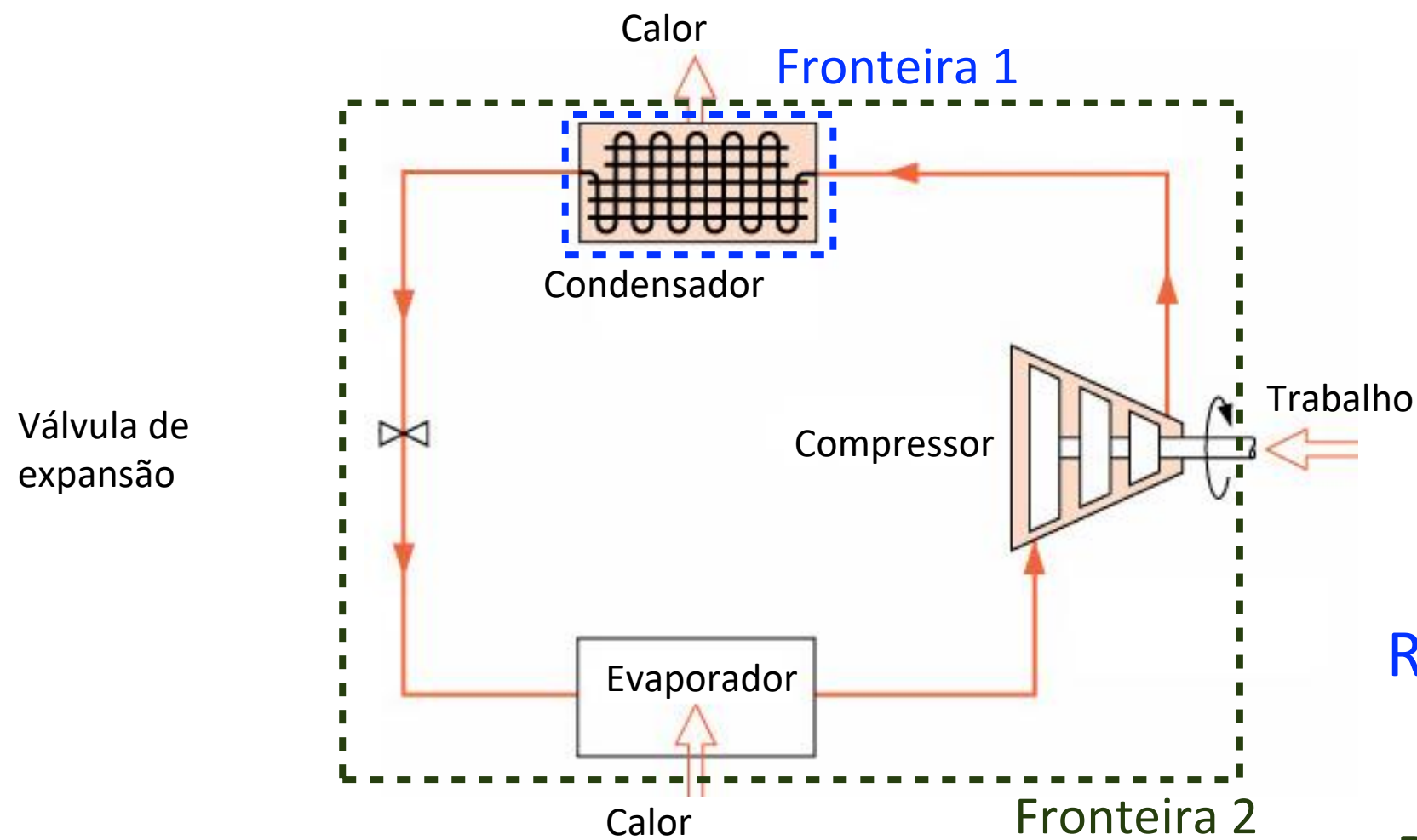
(c) Motor a jato;



Resp. - Volume de controle.



(d) Ciclo de refrigeração por compressor de vapor;



Resp. 1 - Volume de controle.

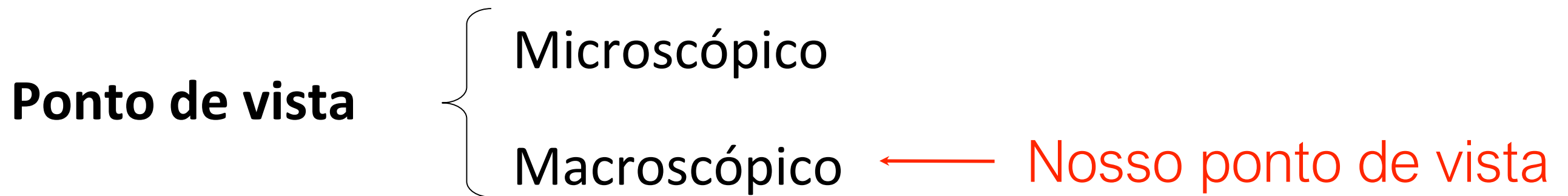
Resp. 2 - Sistema.



(e) Ciclo motor a vapor;



Devemos apenas observar o que acontece na fronteira!

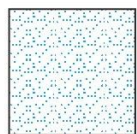
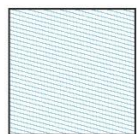
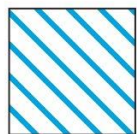
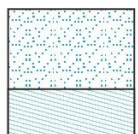
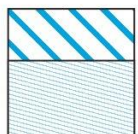
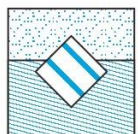
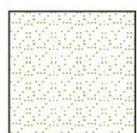
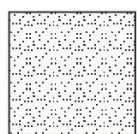
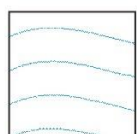
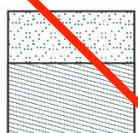
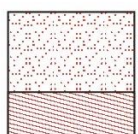
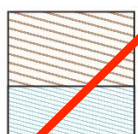


❖ **Ponto de vista microscópico** – ocupa-se da estrutura da matéria (Termodinâmica Estatística).

❖ **Ponto de vista macroscópico** – ocupa-se com o comportamento geral ou global (Termodinâmica Clássica).



Fase: Quantidade de matéria totalmente homogênea em composição química e em estrutura física. Em uma fase todas as propriedades são uniformes.

	Homogênea (fase única)	Heterogênea (várias fases)
Componente único	 Vapor  Água  Gelo	 Vapor e água  Gelo e água  Vapor, água e gelo
Vários componentes	 Ar  Gases de combustão  Água do mar	 Ar e ar líquido  Vapor de combustível, ar e combustível líquido  Água e óleo

Fora do nosso escopo





Substância pura: Composição química homogênea e invariável. Ela pode existir em mais de uma fase, porém sua composição química deve ser a mesma em cada fase.

Exemplos:

- ❖ Água;
- ❖ Fluidos refrigerantes (R12, R22, R134a, R410A, R404A);
- ❖ Gás Oxigênio;
- ❖ Gás Nitrogênio.

Contra-exemplo:

- ❖ Ar e "ar-líquido", duas fases com composição química diferente.



Cada fase pode existir a várias pressões e temperaturas (propriedades macroscópicas mensuráveis) ou, melhor, em vários estados.

Cada estado termodinâmico pode ser identificado ou descrito por certas propriedades macroscópicas como, por exemplo, pressão e temperatura.

As propriedades termodinâmicas podem ser divididas em duas classes, as intensivas e as extensivas.

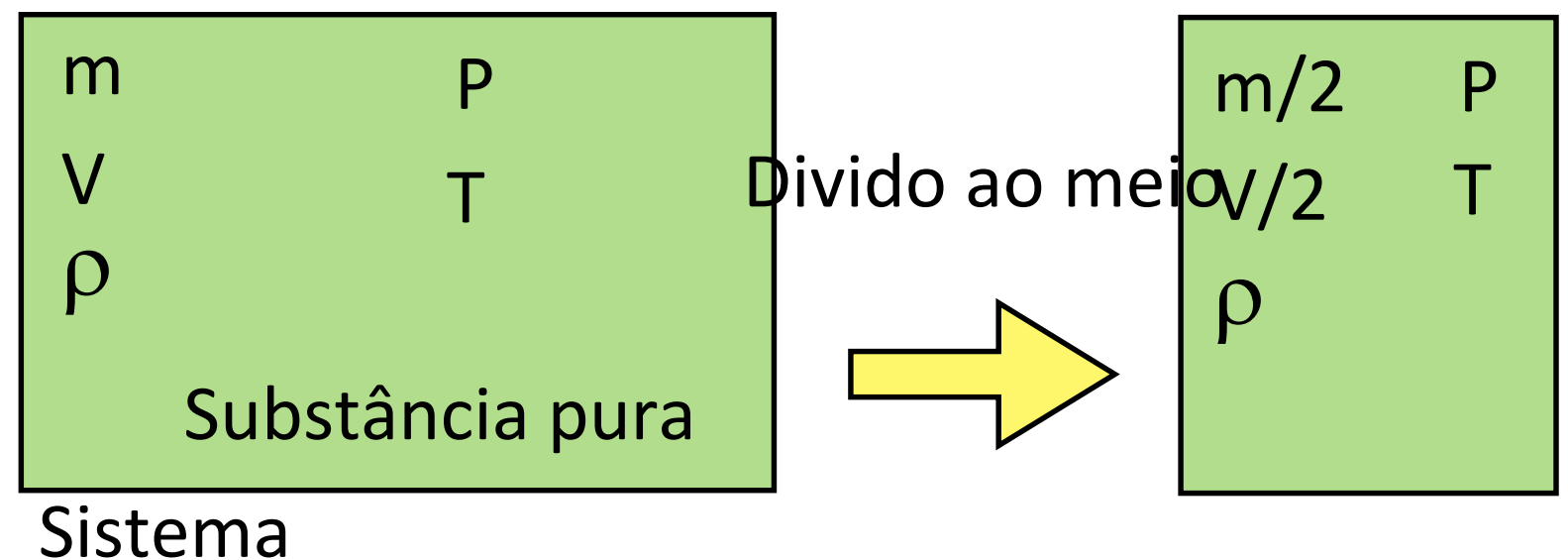
Propriedade intensiva: seu valor é independente da massa.

Propriedade extensivas: seu valor é dependente da massa.



Intensivas ou extensivas?

- massa (m);
- volume (V);
- massa específica (ρ);
- pressão (P);
- temperatura (T).



Intensivas:

Pressão;

Temperatura;

Massa específica;

Energia interna específica (u);

Entalpia específica (h);

Entropia específica (s).

Extensivas:

Massa (m);

Volume (V);

Energia interna (U);

Entalpia (H);

Entropia (S).



Conceitos fundamentais

Freqüentemente nos referimos não apenas às propriedades de uma substância, mas também às propriedades de um sistema.

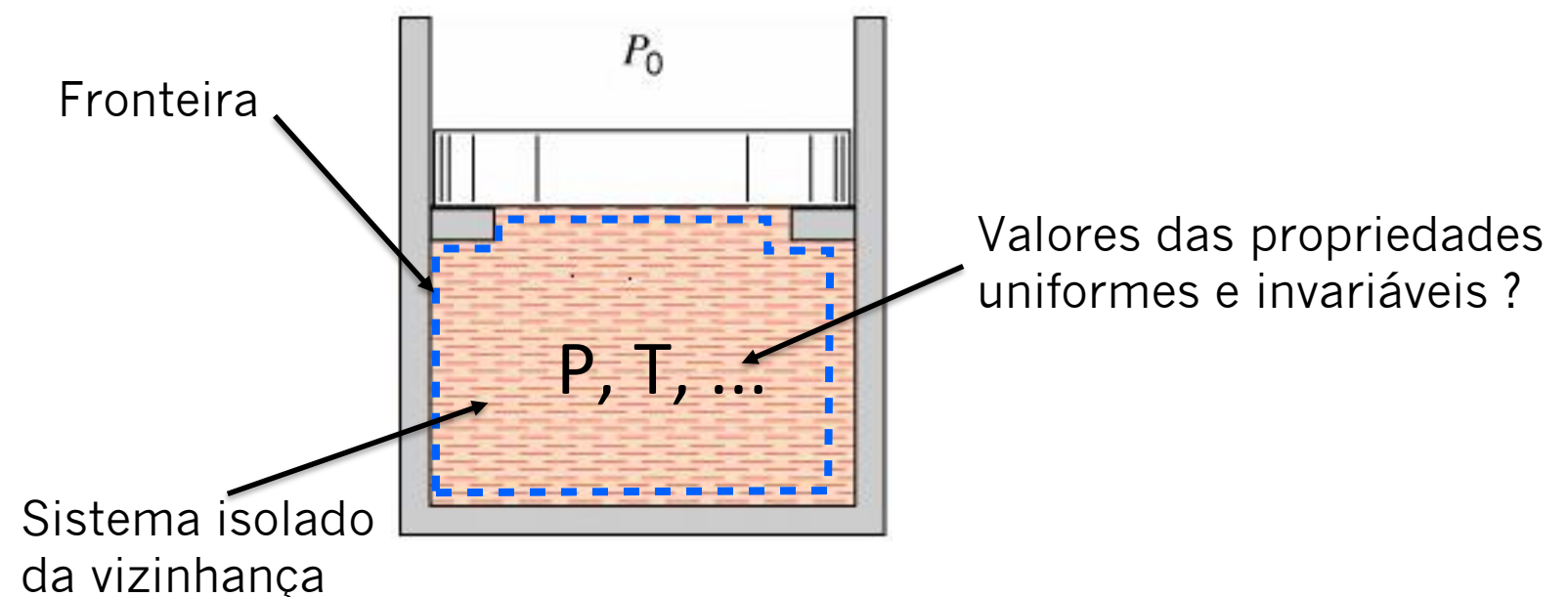


Isso implica que o valor da propriedade tem significância para todo o sistema.



O que por sua vez implica no conceito de equilíbrio.

Exemplo: *verificação do equilíbrio*





Quando o valor de pelo menos uma propriedade do sistema é alterado, ocorreu uma mudança de estado.



O caminho definido pela sucessão de estados que o sistema percorre é chamado de processo.

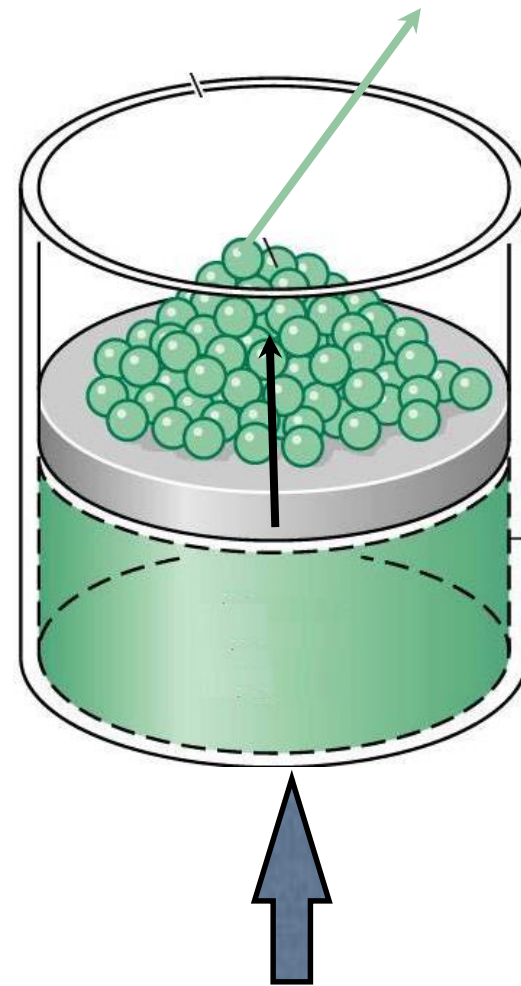


Um ciclo termodinâmico é uma seqüência de processos que se inicia e termina em um mesmo estado.

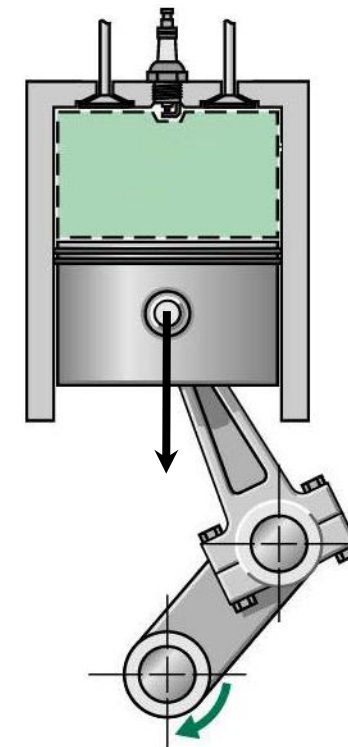


Conceitos fundamentais

Processo de quase - equilíbrio: desvio do equilíbrio termodinâmico infinitesimal. Também chamado de quase-estático. Ausência de gradientes de temperatura, pressão e potencial químico.



?



Quase-equilíbrio



Processo isobárico - pressão constante.

Processo isotérmico - temperatura constante.

Processo isocórico - volume constante.

Processo isentálpico - entalpia constante.

Processo isentrópico - entropia constante.



Unidades no Sistema Internacional

Grandeza	Unidade no SI	Símbolo	Plural
<i>Massa</i>	quilograma	kg	quilogramas
<i>Comprimento</i>	metro	m	metros
<i>Tempo</i>	segundo	s	segundos
<i>Força</i>	newton	N	newtons
<i>Energia</i>	joule	J	joules
<i>Pressão</i>	pascal	Pa	pascals
<i>Temperatura</i>	kelvin	K	kelvins
<i>Quantidade de matéria</i>	mol	mol	mols
<i>Potência</i>	watt	W	watts



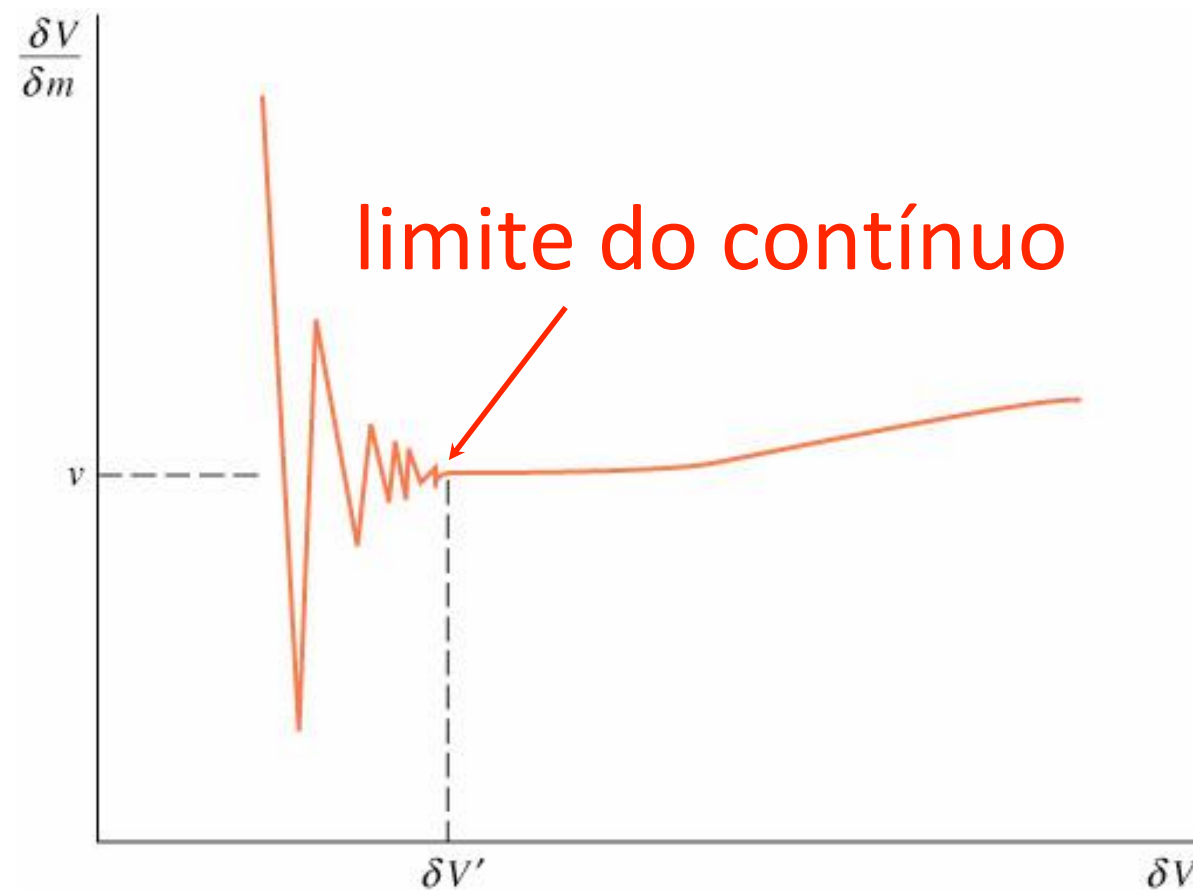
Algumas propriedades importantes

Propriedades	Símbolo	Unidade
<i>Massa específica</i>	ρ	kg/m ³
<i>Volume específico</i>	v	m ³ /kg
<i>Energia interna específica</i>	u	kJ/kg
<i>Energia interna</i>	U	kJ
<i>Entalpia específica</i>	h	kJ/kg
<i>Entalpia</i>	H	kJ
<i>Entropia específica</i>	s	kJ/(kg.K)
<i>Entropia</i>	S	kJ/K



Massa e volume específico

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \quad \nu = \frac{\text{volume}}{\text{massa}} \quad \Rightarrow \quad \nu = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V'} \frac{\delta V}{\delta m}$$



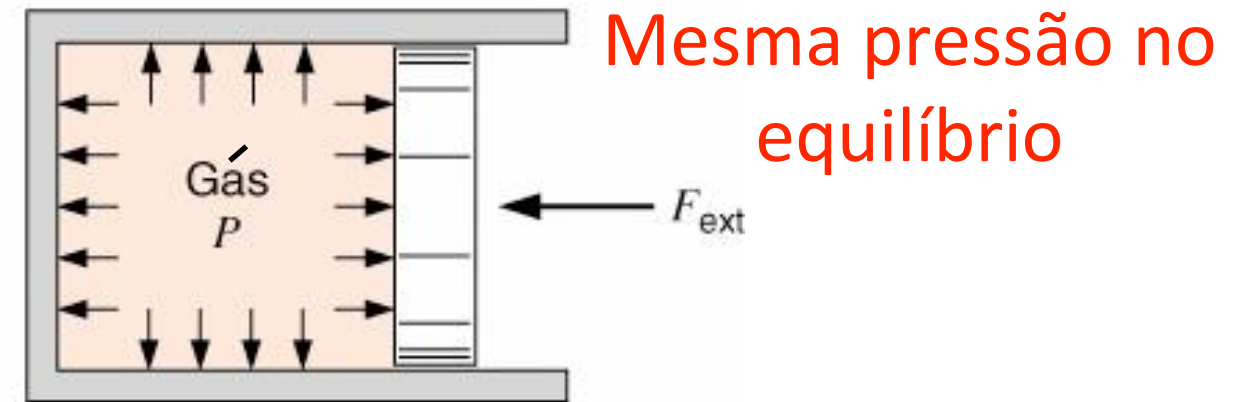


Conceitos fundamentais

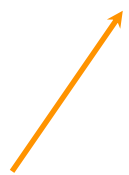
Pressão

$$P = \lim_{\delta A \rightarrow \delta A'} \frac{\delta F_n}{\delta A}$$

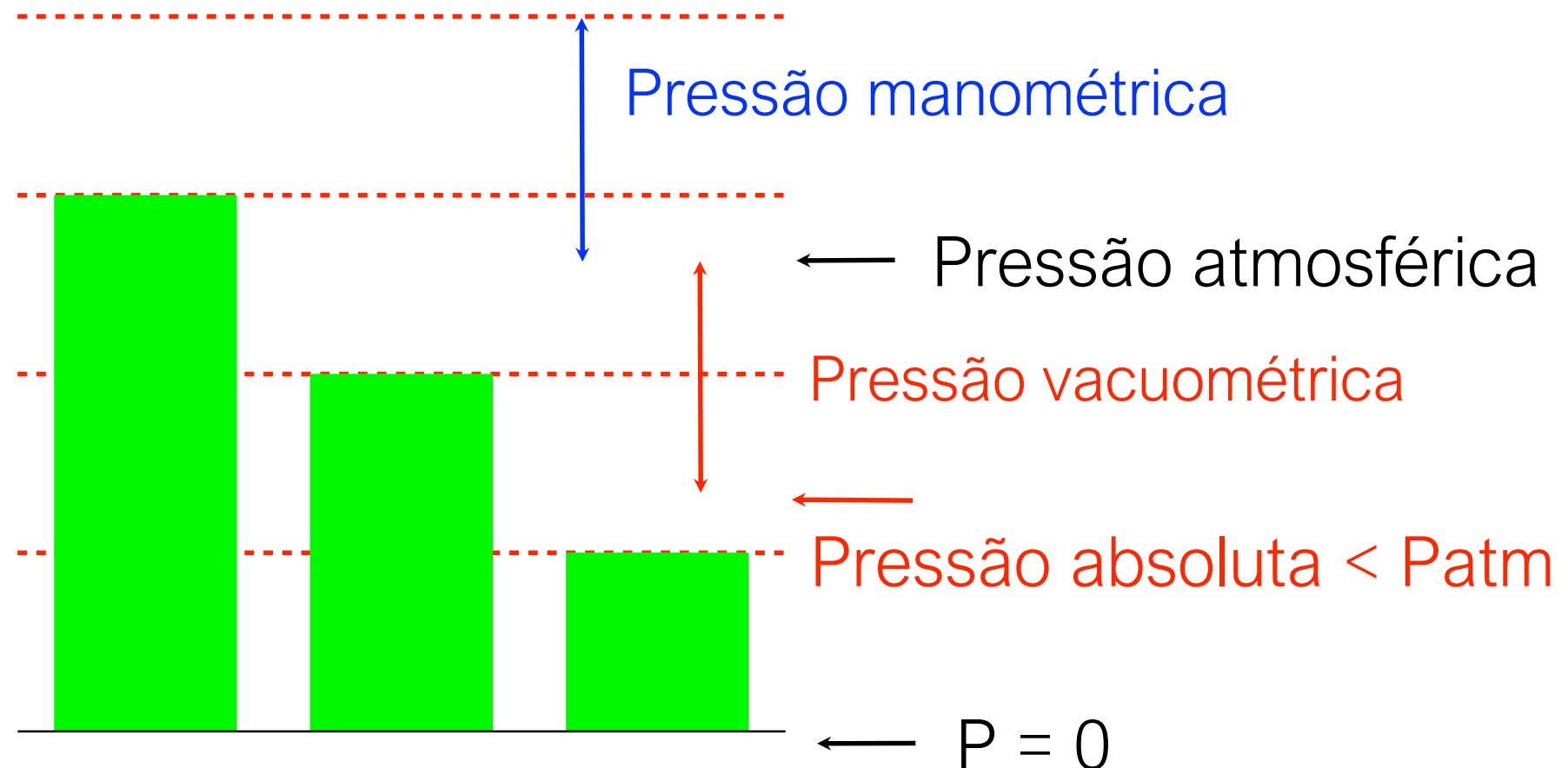
Considere a situação:



Pressão absoluta > Patm



Em Termodinâmica
trabalhamos com





Energia

A energia total (E) de um sistema composto por uma substância compressível simples em um dado estado é:

$$E = U + E_c + E_p$$

interna

cinética

potencial

Determinadas com base no referencial adotado



Conceitos fundamentais

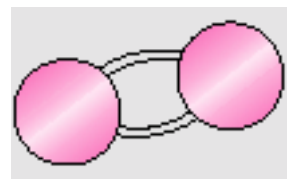
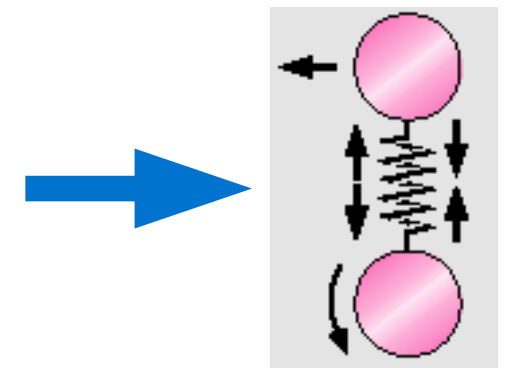
Energia interna

Ponto de vista molecular:

❖ **Energia cinética molecular** - Movimento das moléculas (parcela “sensível”*);

❖ **Energia potencial intermolecular** - Forças entre moléculas (parcela “latente”*);

❖ **Energia potencial intramolecular** - Estrutura molecular e atômica (parcela química e nuclear).



* Não utilizar os termos!