

## A.03.03 – Balanço de Energia (Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/AplThermSci>

Compiled on 2020-09-11 01h38m55s UTC



- 1 Balanço de Energia
  - Primeira Lei da Termodinâmica
  - Balanço de Energia

- 2 Tópicos de Leitura



## Enunciado

A 1ª lei da Termodinâmica estabelece que:

- Energia é uma quantidade conservada.

Este princípio da conservação da energia:

- É exhaustivamente confirmado em experimentos.



## Algumas Implicações

Logo, no universo físico:

- Não há processos físicos que criem energia,
- Nem processos físicos que destruam energia.
- Processos físicos podem apenas converter energia de uma forma a outra.

A Relatividade Especial de Einstein:

- Unificou as conservações de massa e de energia;
- Através da equivalência massa-energia expressa por  $E_{eq} = c^2 m$ .
- Assim, a quantidade  $E_{tot} = c^2 m + E_{outras}$  do universo é conservada.



## Aplicações

A 1ª lei é **central** em Termodinâmica.

Suas aplicações são **vastas** e incluem:

- Princípio em variedade de **deduções**;
- Instrumental na **definição** de propriedades.
- Cálculos de **processos** energéticos.

Exemplo: O que é, afinal, “energia”?

- “Energia é uma **quantidade** (escalar)
- que é **conservada** na natureza
- e que possui **unidades** de  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ .”

— Jack P. Holman (SMU)

## Balanco de Energia

A 1ª lei é matematicamente expressa por meio de **balanco de energia**.

Em um **processo**, o balanco de energia é dado por:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Total de energia que} \\ \text{entra no sistema} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Total de energia} \\ \text{que sai do sistema} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Variação líquida de} \\ \text{energia no sistema} \end{array} \right),$$

que matematicamente se escreve:

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1, \quad \text{para um processo 1-2.}$$

Assim, se  $E_1$ ,  $E_{ent}$  e  $E_{sai}$  são conhecidos, então:  $E_2 = E_1 + E_{ent} - E_{sai}$ .

## Balanco de Energia – Formas

Processo	$\xrightarrow{d()}$	Diferencial	$\xrightarrow{/dt}$	Taxa
$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1$	$\xrightarrow{d()}$	$\delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist}$	$\xrightarrow{/dt}$	$\dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right _{sist}$
(int.) $\downarrow \div m$		$\downarrow \div m$		$\downarrow \div m$
$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$	$\xrightarrow{d()}$	$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$	$\xrightarrow{/dt}$	$\dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right _{sist}$

## Balanco de Energia – $E_{ent}$ , $E_{sai}$

Em sistemas compressíveis simples,  $E_{ent}$  e  $E_{sai}$  podem ser apenas nas formas de:

- calor e
- trabalho.

Assim, no balanco de energia:

$$E_{ent} = Q_{ent} + W_{ent}, \quad \text{e}$$

$$E_{sai} = Q_{sai} + W_{sai}.$$

## Balanco de Energia – $E_{sist}$

Em sistemas clássicos (pré-relativísticos) não reativos,  $E_{sist} = E_{micro} + E_{macro}$ :

- $E_{micro} \equiv U_{sist}$ , a energia interna, em kJ;
- $E_{macro} = E_c + E_p$ , a soma das energias cinética, e potencial, em kJ, onde:
- $E_c = me_c = mV^2/2$ , com  $[V] = \sqrt{kJ/kg} = \sqrt{1000} \text{ m/s} \approx 31,6 \text{ m/s} \approx 114 \text{ km/h}$ , ou
- $E_c = me_c = mV^2/2000$ , com  $[V] = \text{m/s} = \sqrt{J/kg}$ ;
- $E_p = me_p = mgZ$ , com  $[g] = \text{m/s}^2$ ,  $[Z] = \text{km}$  e  $[gZ] = \text{k(m/s)}^2 = \text{k(J/kg)}$ , ou
- $E_p = me_p = mgz/1000$ , com  $[g] = \text{m/s}^2$  e  $[z] = \text{m}$ .

## Balanco de Energia – Em Processo

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \rightarrow$$

$$(Q_{ent} + W_{ent}) - (Q_{sai} + W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 + E_{c,2} + E_{p,2}) - (U_1 + E_{c,1} + E_{p,1}) \rightarrow$$

$$(Q_{ent} - Q_{sai}) + (W_{ent} - W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 - U_1) + (E_{c,2} - E_{c,1}) + (E_{p,2} - E_{p,1}) \rightarrow$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = \Delta U_{sist} + \Delta E_{c,sist} + \Delta E_{p,sist} \rightarrow$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = m \left[ (u_2 - u_1) + (V_2^2 - V_1^2)/2 + g(Z_2 - Z_1) \right]. \quad (\text{expl.})$$

$$Q - W = m \left[ (u_2 - u_1) + (V_2^2 - V_1^2)/2 + g(Z_2 - Z_1) \right]. \quad (\text{impl.})$$

## Balanco de Energia – Em Processo (cont.)

$\Delta e_c$ ,  $\Delta e_p$  não-negligíveis em sistemas fechados são de aplicações específicas:

- $\Delta e_c = 1 \text{ kJ/kg}$  implica, p. ex.; em:  $(V_1; V_2) = (0; \sqrt{2}) \sqrt{kJ/kg} \approx (0; 161) \text{ km/h}$ ;
- ...ou em:  $(V_1; V_2) = \dots \approx (110; 195) \text{ km/h}$ ;
- $\Delta e_p = 1 \text{ kJ/kg}$  implica em:  $\Delta Z \approx 0,102 \text{ km} = 102 \text{ m}$  para  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

Assim, nos muitos outros casos, é possível negligenciá-las, simplificando o balanço:

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = U_2 - U_1 = m(u_2 - u_1) \quad \text{ou} \quad Q - W = U_2 - U_1 = m(u_2 - u_1) \rightarrow$$

$$q_{liq,ent} - w_{liq,sai} = u_2 - u_1$$

$$q - w = u_2 - u_1.$$

## Tópicos de Leitura I



Çengel, Y. A. e Boles, M. A.

*Termodinâmica 7ª Edição. Seções 2-6 e 4-2.*

AMGH. Porto Alegre. ISBN 978-85-8055-200-3.