

A.03.03 – Balanço de Energia (Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



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

Compiled on 2020-04-10 14h45m30s

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.

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 observável:

- Não há processos físicos que criem energia,

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- Não há processos físicos que criem energia,
- Nem processos físicos que destruam energia.

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

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

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- 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;

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- 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 $E_{eq} = c^2m$.

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- 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 $E_{eq} = c^2m$.
- Assim, a quantidade $E_{tot} = c^2m + E_{outras}$ do universo é conservada.

Aplicações

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

Suas aplicações são **vastas** e incluem:

- Princípio em variedade de **deduções**;

Aplicações

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

Suas aplicações são **vastas** e incluem:

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

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.

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”?

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”?

— Jack P. Holman (SMU)

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)

— Jack P. Holman (SMU)

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

— Jack P. Holman (SMU)

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)

Balanço de Energia

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

Balanço de Energia

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

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

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:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Total de energia que} \\ \text{entra no sistema} \end{array} \right) -$$

Balanço de Energia

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

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

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

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:

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

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:

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

Balanço de Energia

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

Em um **processo**, o balanço 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: $E_2 = E_1 + E_{ent} - E_{sai}$.

Balanço de Energia – Formas

Processo

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

Balanço de Energia – Formas

Processo $\xrightarrow{d()}$

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()}$$

Balanço de Energia – Formas

Processo $\xrightarrow{d()}$ Diferencial

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist}$$

Balanço de Energia – Formas

Processo $\xrightarrow{d()}$ Diferencial $\xrightarrow{/dt}$

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \xrightarrow{d()} \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt}$$

Balanço de Energia – Formas

Processo	$\xrightarrow{d()}$	Diferencial	$\xrightarrow{/dt}$	Taxa
$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1$	$\xrightarrow{d()}$	$\delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist}$	$\xrightarrow{/dt}$	$\dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right _{sist}$

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.)	$\downarrow \div m$			

Balço 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.)	$\downarrow \div m$			
$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$				

Balço 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.)	$\downarrow \div m$	$\downarrow \div m$		
$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$	$\xrightarrow{d()}$			

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.) $\downarrow \div m$		$\downarrow \div m$		
$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$	$\xrightarrow{d()}$	$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$		

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.) $\downarrow \div m$		$\downarrow \div m$		$\downarrow \div m$
$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$	$\xrightarrow{d()}$	$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$	$\xrightarrow{/dt}$	

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 – 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.) $\downarrow \div m$		$\downarrow \div m$		$\downarrow \div m$
$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$	$\xrightarrow{d()}$	$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$	$\xrightarrow{/dt}$	$\dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right _{sist}$

Balanço de Energia – E_{ent} , E_{sai}

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

Balanço de Energia – E_{ent} , E_{sai}

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

① **calor** e

Balço de Energia – E_{ent} , E_{sai}

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

- ① calor e
- ② trabalho.

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

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

- ① calor e
- ② trabalho.

Assim, no balanço de energia:

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

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

- ① calor e
- ② trabalho.

Assim, no balanço de energia:

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

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

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

- ① calor e
- ② trabalho.

Assim, no balanço de energia:

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

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

Balanço de Energia – E_{sist}

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

Balanco de Energia – E_{sist}

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

① $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a **energia interna**, em kJ;

Balanco de Energia – E_{sist}

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

- ① $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a **energia interna**, em kJ;
- ② $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias **cinética**, e **potencial**, em kJ, onde:

Balanco de Energia – E_{sist}

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

- ① $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a **energia interna**, em kJ;
- ② $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias **cinética**, e **potencial**, em kJ, onde:
- ③ $E_c = me_c = mV^2/2$, com $[[V]] = \sqrt{\text{kJ/kg}} = \sqrt{1000} \text{ m/s} \approx 31.6 \text{ m/s} \approx 114 \text{ km/h}$, ou

Balanco de Energia – E_{sist}

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

- ① $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a **energia interna**, em kJ;
- ② $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias **cinética**, e **potencial**, em kJ, onde:
- ③ $E_c = me_c = mV^2/2$, com $[[V]] = \sqrt{\text{kJ/kg}} = \sqrt{1000} \text{ m/s} \approx 31.6 \text{ m/s} \approx 114 \text{ km/h}$, ou
- ④ $E_c = me_c = mv^2/2000$, com $[[v]] = \text{m/s} = \sqrt{\text{J/kg}}$;

Balanco de Energia – E_{sist}

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

- ① $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a **energia interna**, em kJ;
- ② $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias **cinética**, e **potencial**, em kJ, onde:
- ③ $E_c = me_c = mV^2/2$, com $[[V]] = \sqrt{\text{kJ/kg}} = \sqrt{1000} \text{ m/s} \approx 31.6 \text{ m/s} \approx 114 \text{ km/h}$, ou
- ④ $E_c = me_c = mV^2/2000$, com $[[v]] = \text{m/s} = \sqrt{\text{J/kg}}$;
- ⑤ $E_p = me_p = mgZ$, com $[[g]] = \text{m/s}^2$, $[[Z]] = \text{km}$ e $[[gZ]] = \text{k(m/s)}^2 = \text{k(J/kg)}$, ou

Balço de Energia – E_{sist}

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

- ① $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a **energia interna**, em kJ;
- ② $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias **cinética**, e **potencial**, em kJ, onde:
- ③ $E_c = me_c = mV^2/2$, com $[[V]] = \sqrt{\text{kJ/kg}} = \sqrt{1000} \text{ m/s} \approx 31.6 \text{ m/s} \approx 114 \text{ km/h}$, ou
- ④ $E_c = me_c = mV^2/2000$, com $[[v]] = \text{m/s} = \sqrt{\text{J/kg}}$;
- ⑤ $E_p = me_p = mgZ$, com $[[g]] = \text{m/s}^2$, $[[Z]] = \text{km}$ e $[[gZ]] = \text{k(m/s)}^2 = \text{k(J/kg)}$, ou
- ⑥ $E_p = me_p = mgZ/1000$, com $[[g]] = \text{m/s}^2$ e $[[z]] = \text{m}$.

Balanço de Energia – Em Processo

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

Balanço de Energia – Em Processo

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

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

Balanco de Energia – Em Processo

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

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

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

Balanço de Energia – Em Processo

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

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

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

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

Balanco de Energia – Em Processo

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

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

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

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

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = m \left[(u_2 - u_1) + (\nabla_2^2 - \nabla_1^2)/2 + g(Z_2 - Z_1) \right]. \quad (\text{expl.})$$

Balanco de Energia – Em Processo

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

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

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

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

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = m \left[(u_2 - u_1) + (\nabla_2^2 - \nabla_1^2)/2 + g(Z_2 - Z_1) \right]. \quad (\text{expl.})$$

$$Q - W = m \left[(u_2 - u_1) + (\nabla_2^2 - \nabla_1^2)/2 + g(Z_2 - Z_1) \right]. \quad (\text{impl.})$$

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.



Image by David Mark from pixabay.com

