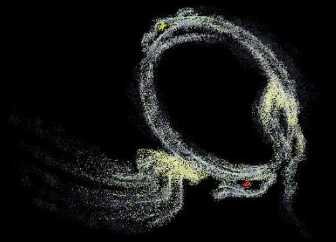
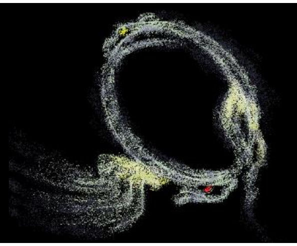


BIF 0442 / 5721 – FUNDAMENTOS DE TD

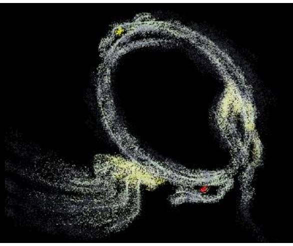
Volume de Controle

Volume de Controle



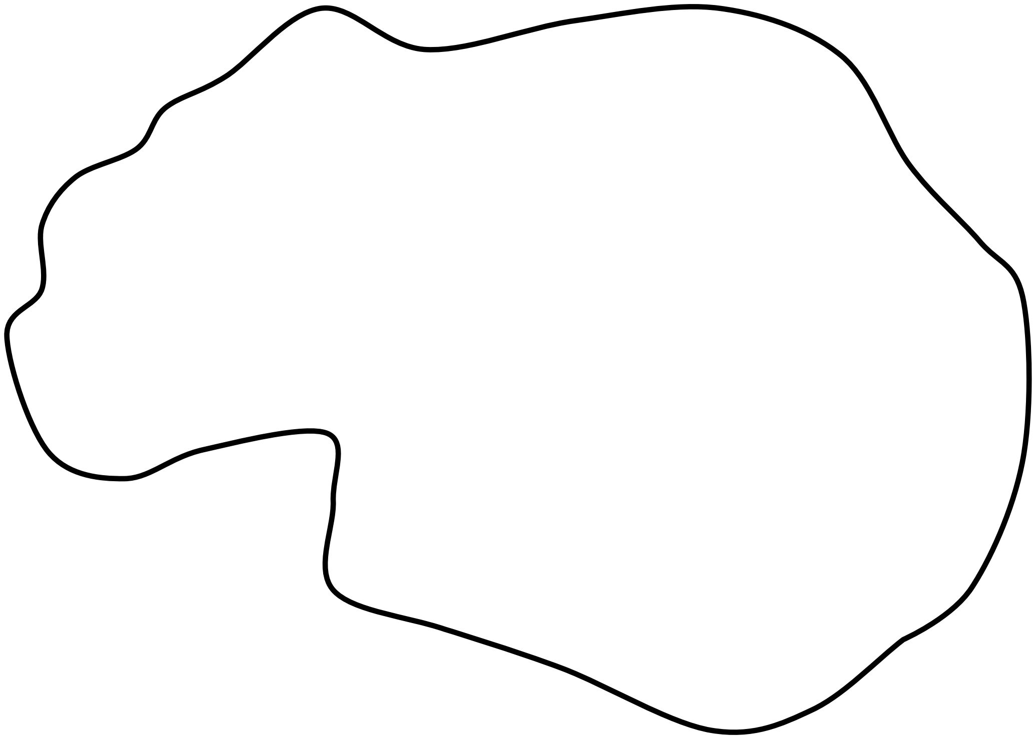
- Um volume de controle é uma região do espaço na qual os processos de interesse ocorrem.
- Esta região pode, ou não, coincidir com as barreiras físicas reais dos sistemas.

Volume de Controle

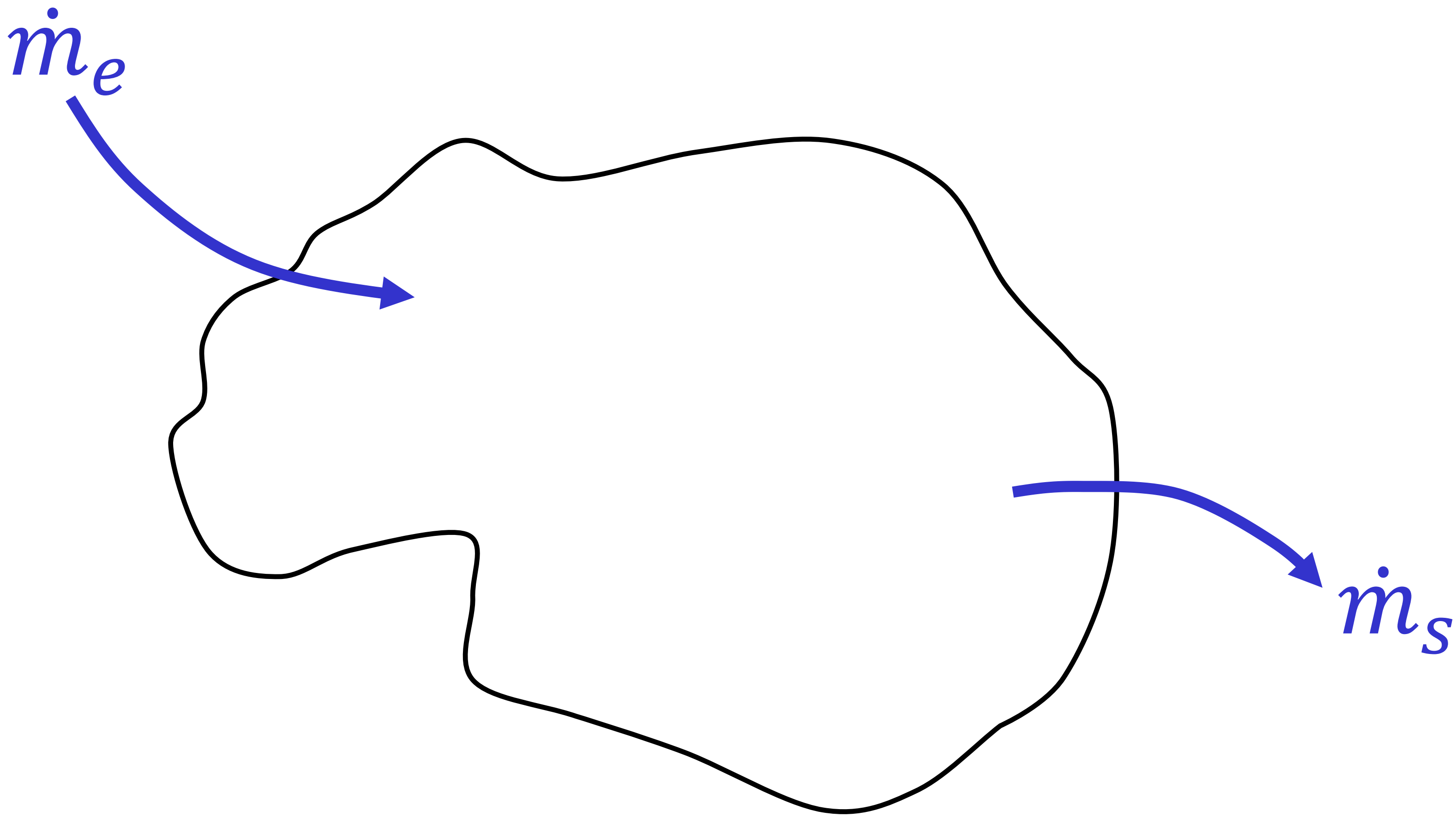


- Um volume de controle é uma região do espaço na qual os processos de interesse ocorrem.
- Esta região pode, ou não, coincidir com as barreiras físicas reais dos sistemas.
- Existem fluxos de matéria e energia entrando e saindo do volume de controle
- Assim, **volume de controle = sistema aberto**

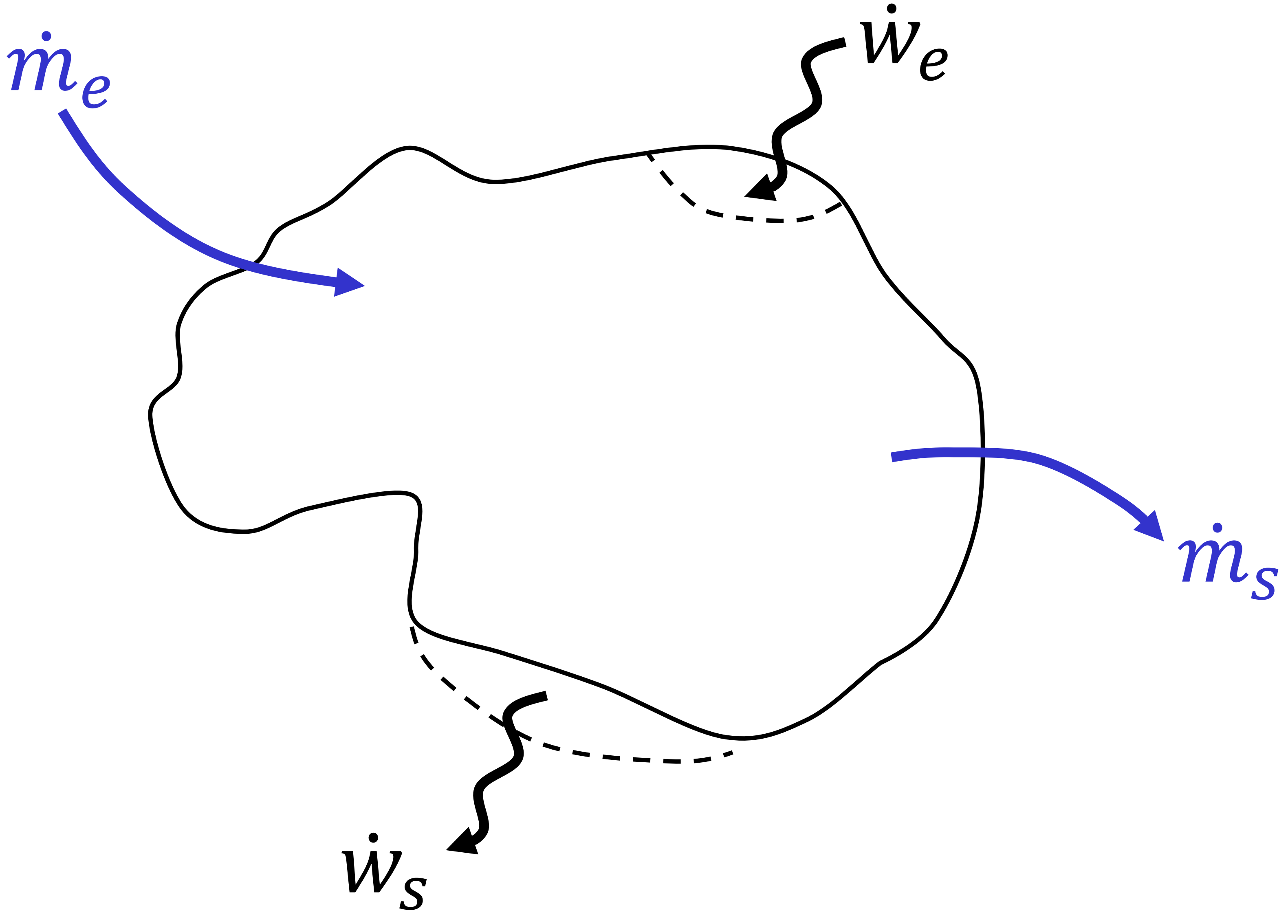
VC



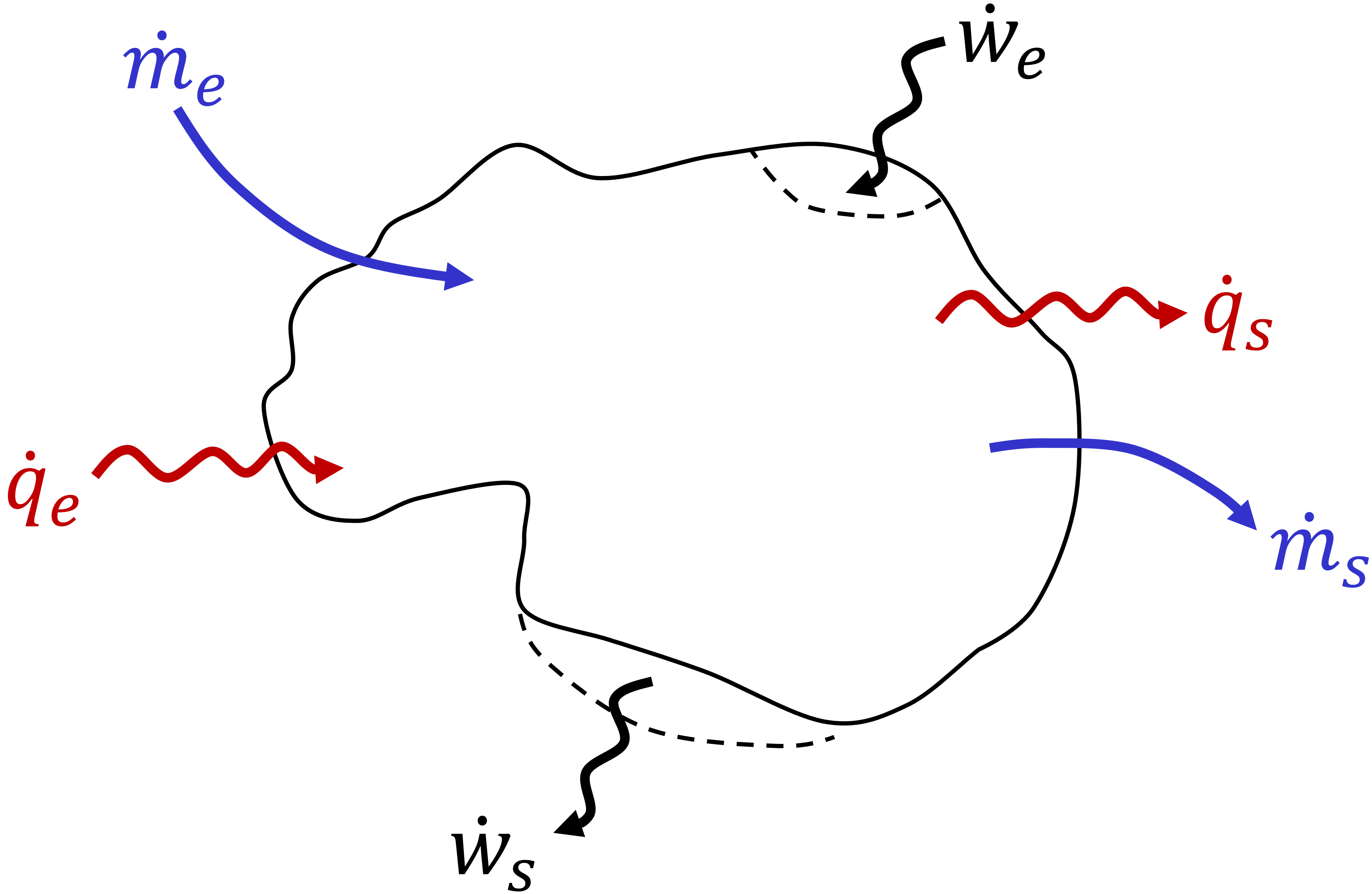
VC



VC



VC



As equações diferenciais descritivas

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s$$

variação de matéria no VC

As equações diferenciais descritivas

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s$$

variação de matéria no VC

variação de energia no VC

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}_e \cdot \left(u'_e + \frac{P_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} + \vec{g} \cdot z_e \right) + \dot{q}_e + \dot{w}_e - \dot{m}_s \cdot \left(u'_s + \frac{P_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot z_s \right) - \dot{q}_s - \dot{w}_s$$

As equações diferenciais descritivas

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s$$

variação de matéria no VC

variação de energia no VC

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}_e \cdot \left(u'_e + \frac{P_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} + \vec{g} \cdot z_e \right) + \dot{q}_e + \dot{w}_e - \dot{m}_s \cdot \left(u'_s + \frac{P_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot z_s \right) - \dot{q}_s - \dot{w}_s$$

entalpia por unidade de massa (h'_i)

As equações diferenciais descritivas

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s$$

variação de matéria no VC

variação de energia no VC

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}_e \cdot \left({u'}_e + \frac{P_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} + \vec{g} \cdot z_e \right) + \dot{q}_e + \dot{w}_e - \dot{m}_s \cdot \left({u'}_s + \frac{P_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot z_s \right) - \dot{q}_s - \dot{w}_s$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

variação de entropia no VC

As equações diferenciais descritivas

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s$$

variação de matéria no VC

variação de energia no VC

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}_e \cdot \left({u'}_e + \frac{P_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} + \vec{g} \cdot z_e \right) + \dot{q}_e + \dot{w}_e - \dot{m}_s \cdot \left({u'}_s + \frac{P_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot z_s \right) - \dot{q}_s - \dot{w}_s$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s \quad ?$$

vamos mostrar que falta um termo nesta equação para se poder fechar a condição de RP

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s = 0 \vdash \dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}_e \cdot \left(u'_e + \frac{P_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} + \vec{g} \cdot z_e \right) + \dot{q}_e + \dot{w}_e - \dot{m}_s \cdot \left(u'_s + \frac{P_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot z_s \right) - \dot{q}_s - \dot{w}_s$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s = 0 \vdash \dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot \left(u'_e - u'_s + \frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s) \right) + \dot{q}_e - \dot{q}_s + \dot{w}_e - \dot{w}_s$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O SISTEMA EM REGIME PERMANENTE

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s = 0 \vdash \dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

considere $\Delta\varepsilon_{\text{mecânica}} = 0$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot \left(u'_e - u'_s + \frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s) \right) + \dot{q}_e - \dot{q}_s + \cancelto{0}{\dot{w}_e - \dot{w}_s}$$

e que a variação de potência mecânica também é nula

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s = 0 \vdash \dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

$$\boxed{\vdash \frac{dV}{dt} = 0}$$

considere $\Delta\varepsilon_{\text{mecânica}} = 0$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot \left(u'_e - u'_s + \frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s) \right) + \dot{q}_e - \dot{q}_s + \cancelto{0}{\dot{w}_e - \dot{w}_s}$$

e que a variação de potência mecânica também é nula

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

e isto vale, também, para o entorno

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s = 0 \vdash \dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

$$\boxed{\vdash \frac{dV}{dt} = 0}$$

considere $\Delta\varepsilon_{\text{mecânica}} = 0$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot \left(u'_e - u'_s \cancel{+ \frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s)} \right) + \dot{q}_e - \dot{q}_s \cancelto{0}{+ \dot{w}_e - \dot{w}_s}$$

e que a variação de potência mecânica também é nula

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$dS_{vc} = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dV}{V} \right)$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot ({u'}_e - {u'}_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$dS_{vc} = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \cancelto{0}{\frac{dV}{V}} \right)$$

$$dS_{vc} = n \cdot c_v \cdot \frac{dT}{T}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta \dot{q} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

$$dS_{vc} = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \underbrace{\cancel{\frac{dV}{V}}}_{0} \right)$$

$$dS_{vc} = n \cdot c_v \cdot \frac{dT}{T}$$

$$\Downarrow \quad \text{derivando no tempo}$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = \frac{dn}{dt} \cdot c_v \cdot \frac{dT}{T} + n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

$$dS_{vc} = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \cancelto{0}{\frac{dV}{V}} \right)$$

$$dS_{vc} = n \cdot c_v \cdot \frac{dT}{T}$$

$\Downarrow$ derivando no tempo

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = \cancel{\frac{dn}{dt}} \cdot c_v \cdot \frac{dT}{T} + n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

$$dS_{vc} = n \cdot \left(c_v \cdot \frac{dT}{T} + \cancelto{0}{R \cdot \frac{dV}{V}} \right)$$

$$dS_{vc} = n \cdot c_v \cdot \frac{dT}{T}$$

$$\Downarrow$$

derivando no tempo

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

Vamos considerar, agora, que $u'_s > u'_e$.

Sendo assim, o que sabemos?

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

Vamos considerar, agora, que $u'_s > u'_e$.

Sendo assim, o que sabemos?

$$u'_e - u'_s = \frac{-\Delta\dot{q}}{\dot{m}} = -\Delta Q = \Delta u'$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O SISTEMA EM REGIME PERMANENTE

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

Vamos considerar, agora, que $u'_s > u'_e$.

Sendo assim, o que sabemos?

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

variação da energia interna no VC

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

Vamos considerar, agora, que $u'_s > u'_e$.

Sendo assim, o que sabemos?

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

calor que deixa o VC

variação da energia interna no VC

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

Vamos considerar, agora, que $u'_s > u'_e$.

Sendo assim, o que sabemos?

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

calor que deixa o VC

variação da energia interna no VC

$$T_{VC} > T_{entorno}$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

Vamos considerar, agora, que $u'_s > u'_e$.

Sendo assim, o que sabemos?

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

pode ter atingido um
valor fixo ou não ← $T_{VC} > T_{entorno}$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

Assim, este termo vale zero ou é positivo

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot ({u'}_e - {u'}_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

pode ter atingido um valor fixo ou não $\leftarrow$ $T_{VC} > T_{entorno}$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

>0

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0 \qquad \frac{d(dS_{vc})}{dt} > 0$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot ({u'}_e - {u'}_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O SISTEMA EM REGIME PERMANENTE

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

>0

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot ({u'}_e - {u'}_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} > 0$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

O que concluirmos para o caso =0 vale para o caso >0, que é durante o transiente

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0 \vdash S_{vc} > S_{inicial}$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot ({u'}_e - {u'}_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0 \vdash S_{vc} > S_{inicial}$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

d() / dt

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s = \frac{-\Delta\dot{Q}}{T_{vc}}$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0 \vdash S_{vc} > S_{inicial}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

d() / dt

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s = \frac{-\Delta\dot{Q}}{T_{vc}} \rightarrow \dot{S}_s - \dot{S}_e > 0$$

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0 \vdash S_{vc} > S_{inicial}$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

d() / dt

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s = \frac{-\Delta\dot{Q}}{T_{vc}} \rightarrow \dot{S}_s - \dot{S}_e > 0$$

A entropia que sai do VC é maior que a que entra no VC.
Assim, $dS_{VC}/dt < 0$.

O sistema em Regime Permanente

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0 \vdash S_{vc} > S_{inicial}$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

d() / dt

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s = \frac{-\Delta\dot{Q}}{T_{vc}} \rightarrow \dot{S}_s - \dot{S}_e > 0$$

A entropia que sai do VC é maior que a que entra no VC.
Assim, $dS_{VC}/dt < 0$.
Mas, acima, foi dito que $d(dS_{vc})/dt = 0$. Logo, não pode haver variação de entropia no VC.

O SISTEMA EM REGIME PERMANENTE

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0 \vdash S_{vc} > S_{inicial}$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

O QUE SE CONCLUI DISTO TUDO?

d() / dt

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s = \frac{-\Delta\dot{Q}}{T_{vc}} \rightarrow \dot{S}_s - \dot{S}_e > 0$$

A entropia que sai do VC é maior que a que entra no VC.
Assim, $dS_{VC}/dt < 0$.
Mas, acima, foi dito que $d(dS_{vc})/dt = 0$. Logo, não pode haver variação de entropia no VC.

O SISTEMA EM REGIME PERMANENTE

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot (u'_e - u'_s) + \Delta \dot{q} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0 \vdash S_{vc} > S_{inicial}$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

O QUE SE CONCLUI DISTO TUDO?

d() / dt

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s = \frac{-\Delta \dot{Q}}{T_{vc}} \rightarrow \dot{S}_s - \dot{S}_e > 0$$

Que existem processos internos ao VC que criam o aumento de temperatura (com aumento de energia interna).

O SISTEMA EM REGIME PERMANENTE

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = n \cdot c_v \cdot \frac{d\left(\frac{dT}{T}\right)}{dt}$$

0

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot ({u'}_e - {u'}_s) + \Delta\dot{q} = 0$$

$$\frac{d(dS_{vc})}{dt} = 0 \vdash S_{vc} > S_{inicial}$$

$$-\Delta Q = \Delta u'$$

O QUE SE CONCLUI DISTO TUDO?

d() / dt

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s = \frac{-\Delta\dot{Q}}{T_{vc}} \rightarrow \dot{S}_s - \dot{S}_e > 0$$

Que existem processos internos ao VC que criam o aumento de temperatura (com aumento de energia interna).

ESTES PROCESSO SÃO DENOMINADOS POR σ ➔ GERAÇÃO DE ENTROPIA

As equações diferenciais descritivas

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s$$

variação de matéria no VC

variação de energia no VC

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}_e \cdot \left(u'_e + \frac{P_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} + \vec{g} \cdot z_e \right) + \dot{q}_e + \dot{w}_e - \dot{m}_s \cdot \left(u'_s + \frac{P_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot z_s \right) - \dot{q}_s - \dot{w}_s$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s \quad ?$$

As equações diferenciais descritivas

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s$$

variação de matéria no VC

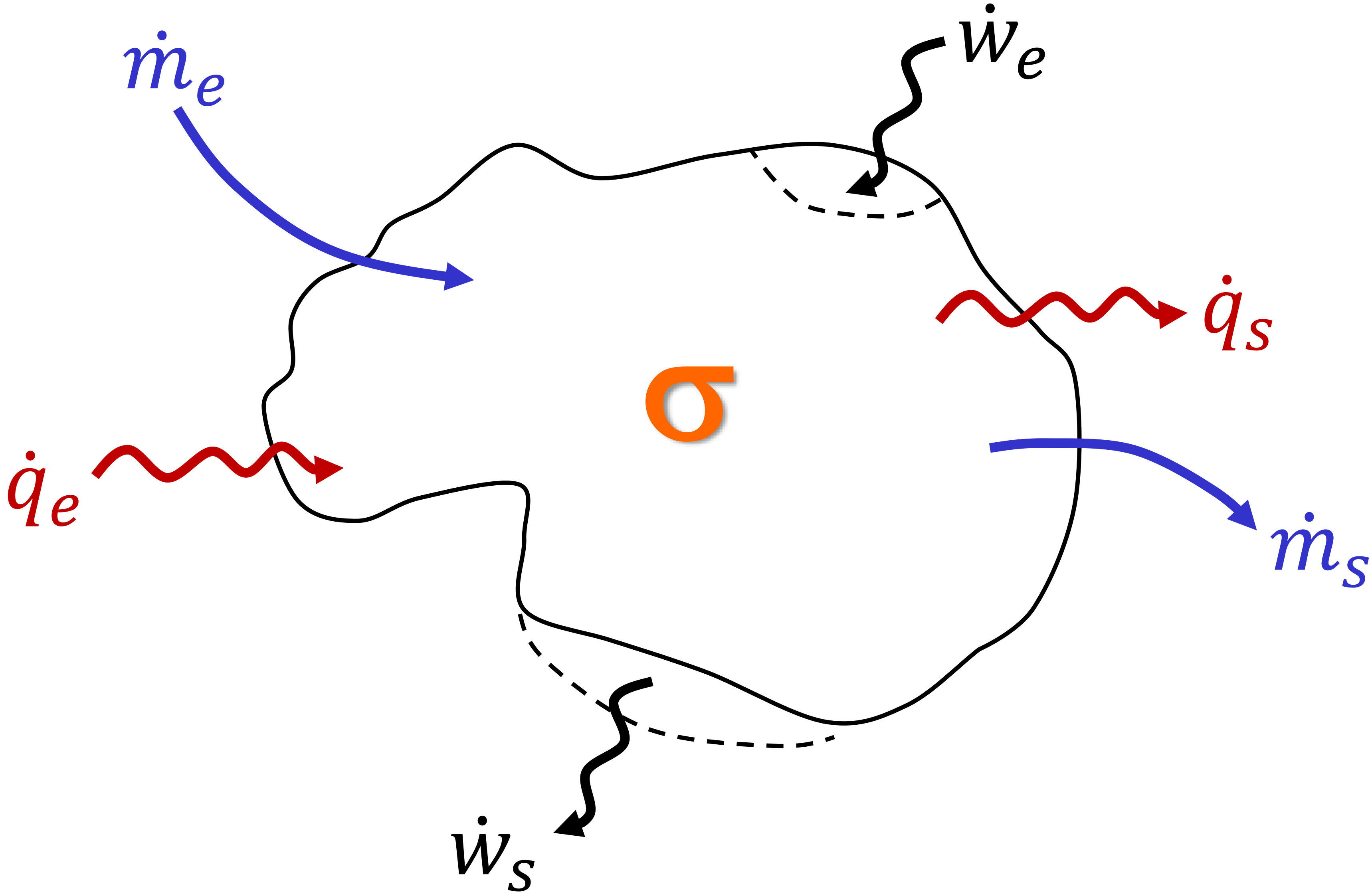
variação de energia no VC

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}_e \cdot \left(u'_e + \frac{P_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} + \vec{g} \cdot z_e \right) + \dot{q}_e + \dot{w}_e - \dot{m}_s \cdot \left(u'_s + \frac{P_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot z_s \right) - \dot{q}_s - \dot{w}_s$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s + \dot{\sigma}$$

$$\boxed{\sigma \geq 0}$$

VC



Comentários

- Já havíamos desenvolvido o racional para σ no contexto de processos com dissipação.
- O ganho de se colocar a geração de entropia nesta nova perspectiva é que, agora, podemos escrever um balanço de entropia e trabalhar-se com este em RP, com processos isentrópicos sendo aqueles nos quais $\sigma = 0$.
- Podemos escrever os fluxos de entropia através dos fluxos de calor:

$$\dot{S}_e = \frac{\dot{q}_e}{T} \quad , \qquad \dot{S}_s = \frac{\dot{q}_s}{T} \quad , \qquad T \cdot \dot{\sigma} = \text{"}\dot{q}_{int}\text{"}$$

PROBLEMA

- Desenvolva a condição isentrópica em RP do VC

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m}_e \cdot \left(u'_e + \frac{P_e}{\rho_e} + \frac{v_e^2}{2} + \vec{g} \cdot z_e \right) + \dot{q}_e + \dot{w}_e - \dot{m}_s \cdot \left(u'_s + \frac{P_s}{\rho_s} + \frac{v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot z_s \right) - \dot{q}_s - \dot{w}_s$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s + \dot{\sigma}$$

Sendo isentrópica, temos:

$$\dot{S}_e = \frac{\dot{q}_e}{T} = \dot{S}_s = \frac{\dot{q}_s}{T} \;, \qquad T \cdot \dot{\sigma} = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S}_e - \dot{S}_s + \dot{\sigma} = 0$$

Sendo isentrópica, temos:

$$\dot{S}_e = \frac{\dot{q}_e}{T} = \dot{S}_s = \frac{\dot{q}_s}{T} \;, \qquad T \cdot \dot{\sigma} = 0$$

Logo:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot \left(u'_e - u'_s + \frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s) \right) + \cancelto{0}{\dot{q}_e - \dot{q}_s} + \dot{w}_e - \dot{w}_s$$

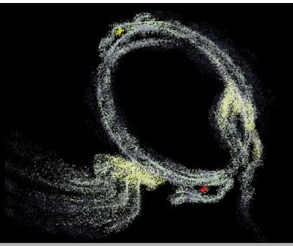
Sendo isentrópica, temos:

$$\dot{S}_e = \frac{\dot{q}_e}{T} = \dot{S}_s = \frac{\dot{q}_s}{T}\ , \qquad T \cdot \dot{\sigma} = 0$$

E, como vimos:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot \left(\cancelto{0}{u'_e - u'_s} + \frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s) \right) + \dot{w}_e - \dot{w}_s$$

Sendo isentrópica, temos:



$$\dot{\sigma} = 0$$

Ficando, então:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot \left(\frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s) \right) + \dot{w}_e - \dot{w}_s$$

Sendo isentrópica, temos:

$$\dot{\sigma} = 0$$

Como não há rejeito térmico (líquido) nem do sistema no entorno nem do entorno no sistema, não pode haver realização de trabalho útil. Assim:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot \left(\frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s) \right) \cancelto{0}{+ \dot{w}_e - \dot{w}_s}$$

Sendo isentrópica, temos:

$$\dot{\sigma} = 0$$

Condição de RP de energia no VC:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{m} \cdot \left(\frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s) \right) = 0$$

Condição isentrópica

$$\dot{\sigma} = 0$$

$$\left(\frac{P_e - P_s}{\rho} + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2} + \vec{g} \cdot (z_e - z_s)\right) = 0$$

Condição isentrópica

$$\dot{\sigma} = 0$$

Tomando-se por diferenciais e fazendo a integração:

$$\int \left(\frac{dP}{\rho} + \frac{dv^2}{2} + \vec{g} \cdot dz \right) = \int 0$$

Condição isentrópica

$$\dot{\sigma} = 0$$

Equação de Bernoulle

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + \vec{g} \cdot \Delta z = K$$

Condição isentrópica

$\dot{\sigma} = 0$

Equação de Bernouille

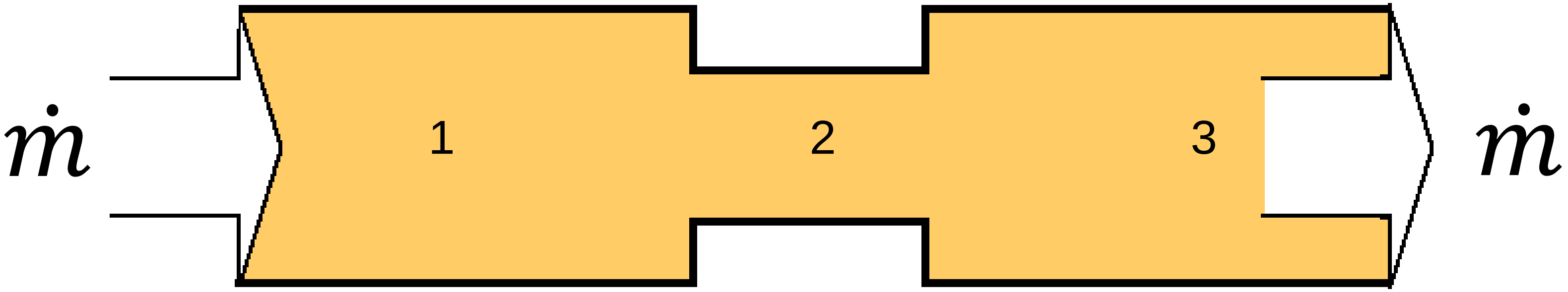
$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + \vec{g} \cdot \Delta z = K$$

Conservação de energia mecânica em fluidos (ou seja, corpos que sofrem alterações de pressão internas)

Uma consequência "curiosa" da condição isentrópica

$$\dot{\sigma} = 0$$

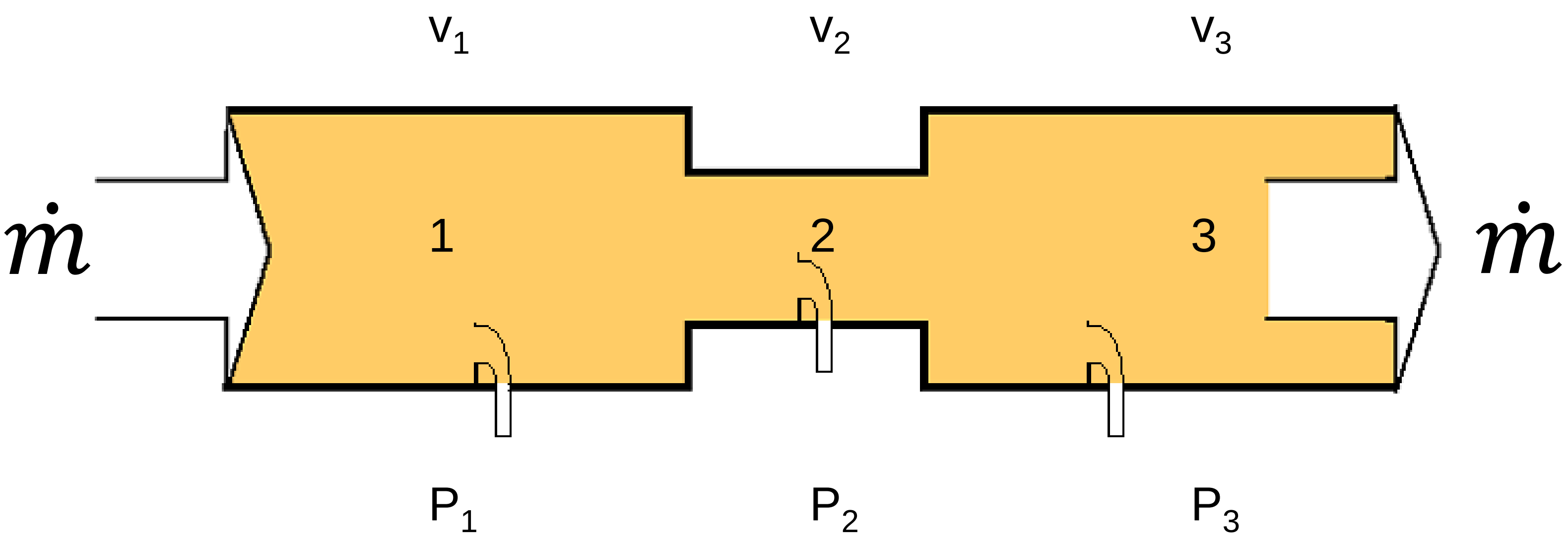
- Considere uma tubulação com fluxo instalado e em RP, como ilustrado:



Uma consequência "curiosa" da condição isentrópica

$$\dot{\sigma} = 0$$

- Medem-se as pressões e as velocidades nas diferentes secções da tubulação:

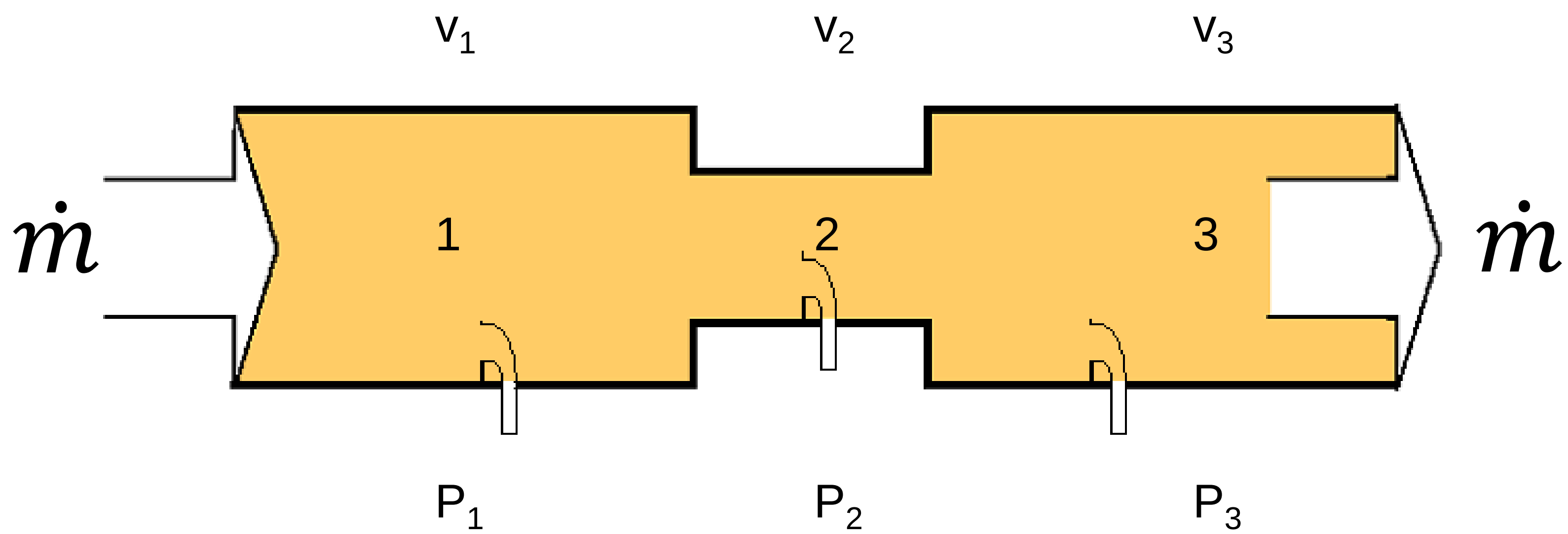


UMA CONSEQUÊNCIA "CURIOSA" DA CONDIÇÃO ISENTRÓPICA

$$\dot{\sigma} = 0$$

- O que você espera encontrar?
- Qual a "curiosidade"?
- Qual é o "truque"?

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + \vec{g} \cdot \Delta z = K$$

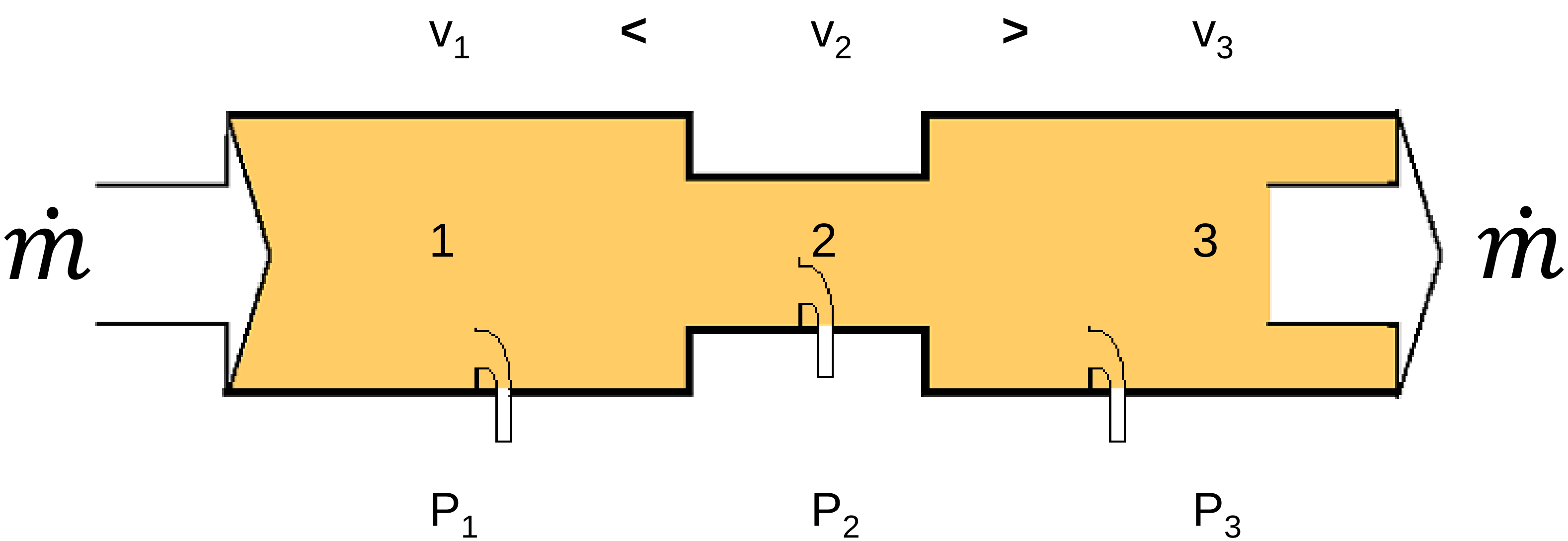


Uma consequência "curiosa" da condição isentrópica

$$\dot{\sigma} = 0$$

- O que você espera encontrar?

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + \vec{g} \cdot \Delta z = K$$

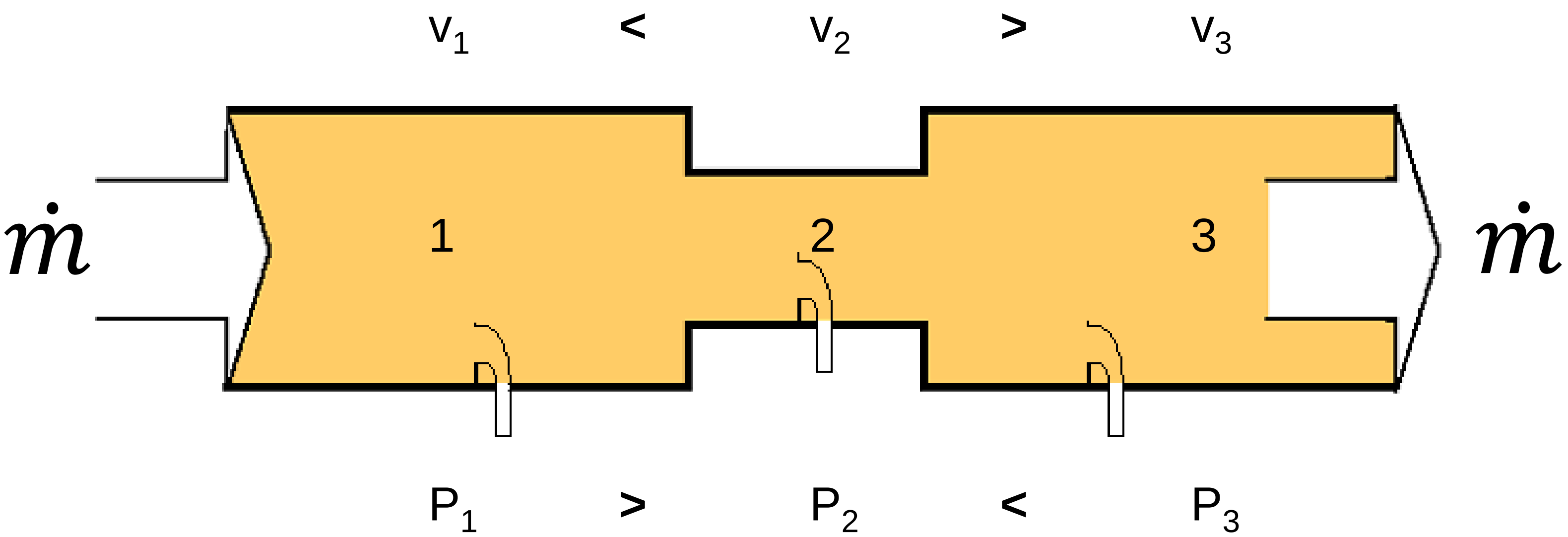


Uma consequência "curiosa" da condição isentrópica

$$\dot{\sigma} = 0$$

- O que você espera encontrar?

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + \vec{g} \cdot \Delta z = K$$

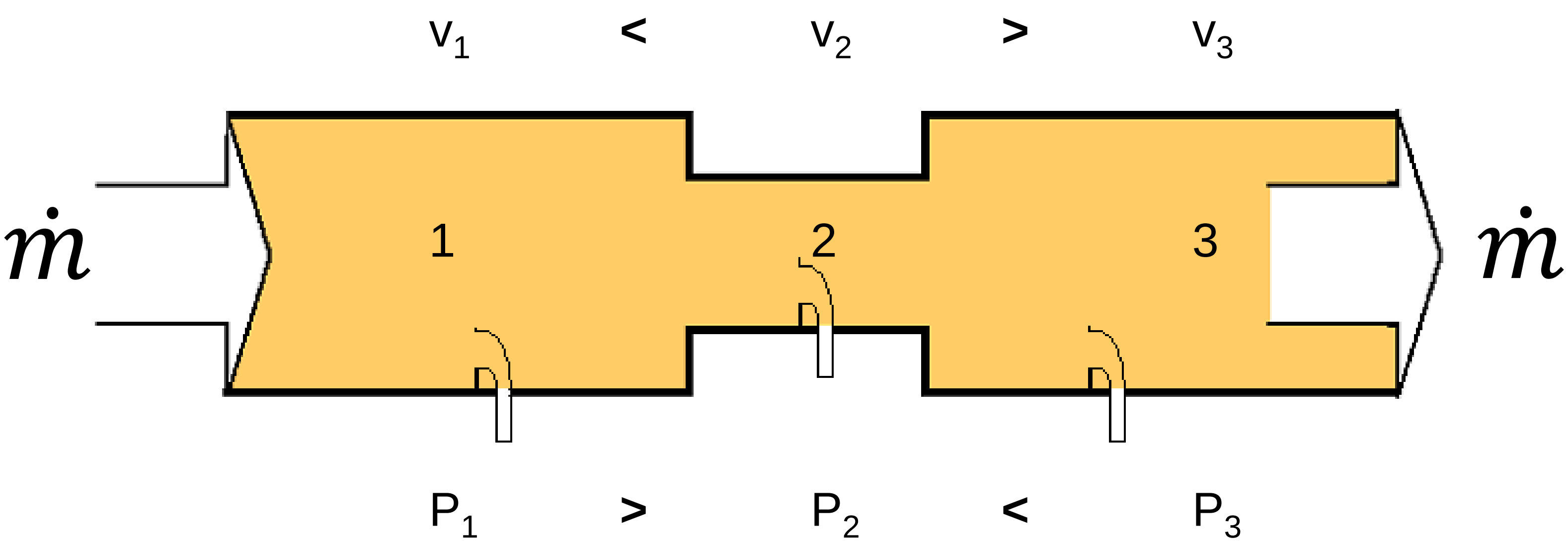


Uma consequência "curiosa" da condição isentrópica

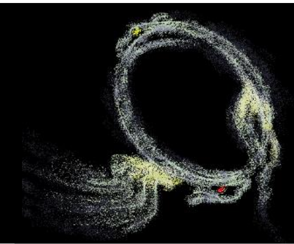
$$\dot{\sigma} = 0$$

- O que você espera encontrar?
- Qual a "curiosidade"?

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + \vec{g} \cdot \Delta z = K$$



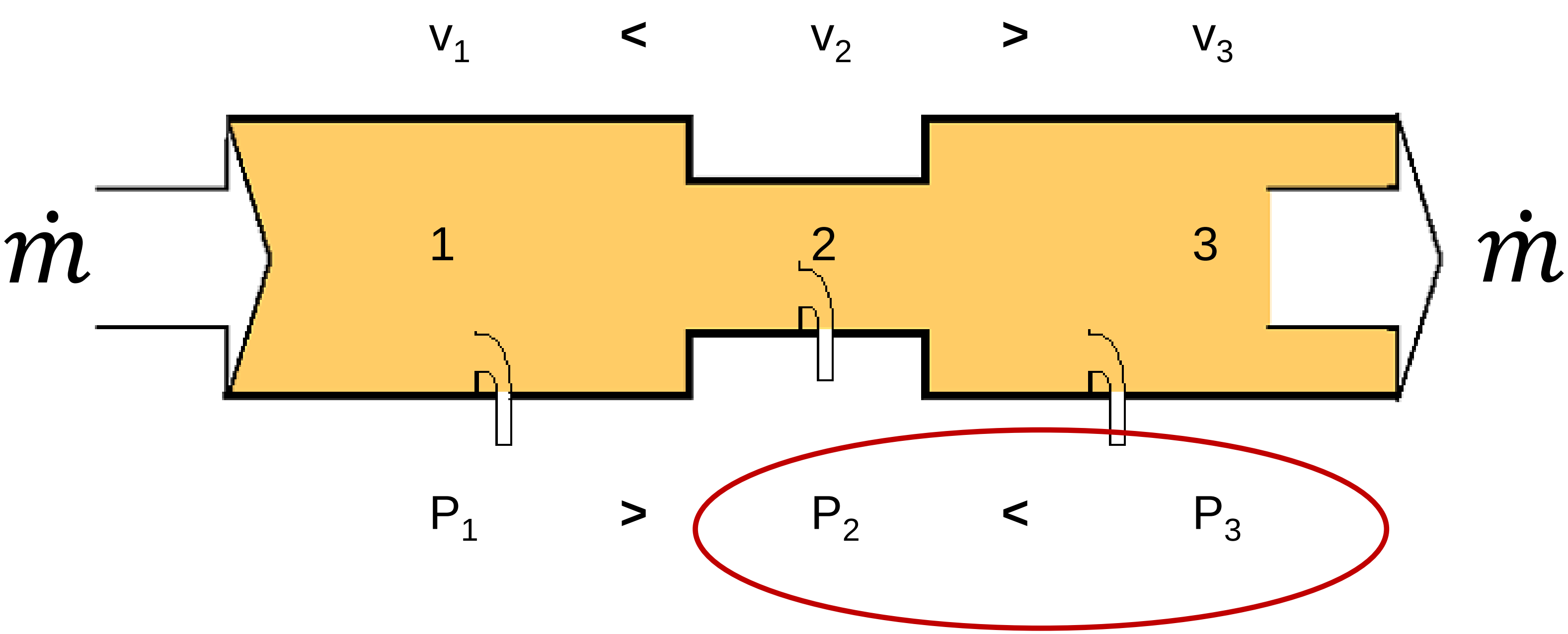
Uma consequência "curiosa" da condição isentrópica



$$\dot{\sigma} = 0$$

- O que você espera encontrar?
- Qual a "curiosidade"?

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + \vec{g} \cdot \Delta z = K$$



fluxo indo de um local de menor pressão para um de maior pressão

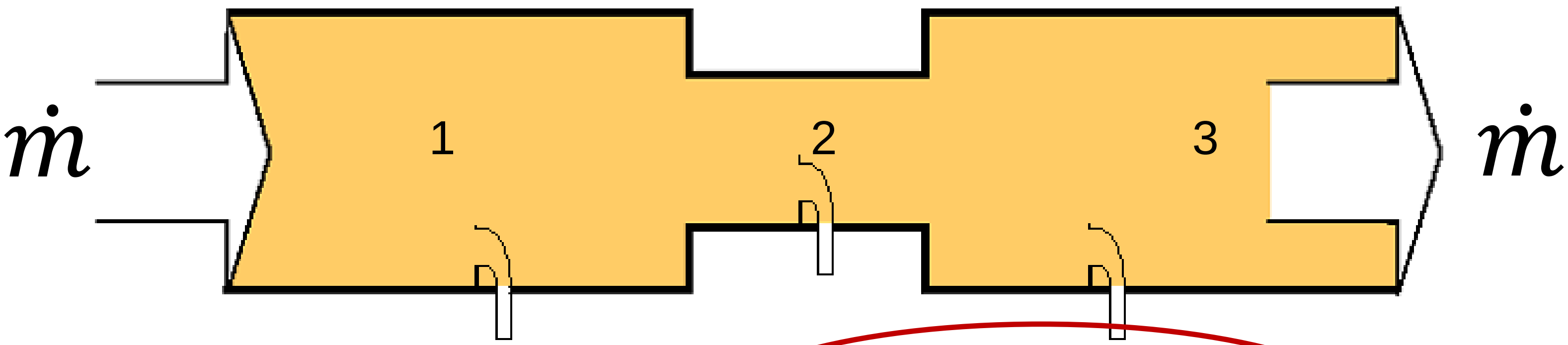
UMA CONSEQUÊNCIA "CURIOSA" DA CONDIÇÃO ISENTRÓPICA

$$\dot{\sigma} = 0$$

- O que você espera encontrar?
- Qual a "curiosidade"?
- Qual o "truque"?

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + \vec{g} \cdot \Delta z = K$$

$v_1 < v_2 > v_3$



$P_1 > P_2 < P_3$

fluxo indo de um local de menor pressão para um de maior pressão

Uma consequência "curiosa" da condição isentrópica

- O que você espera encontrar?
- Qual a "curiosidade"?
- Qual o "truque"?