

**USP**



**Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de Lorena**

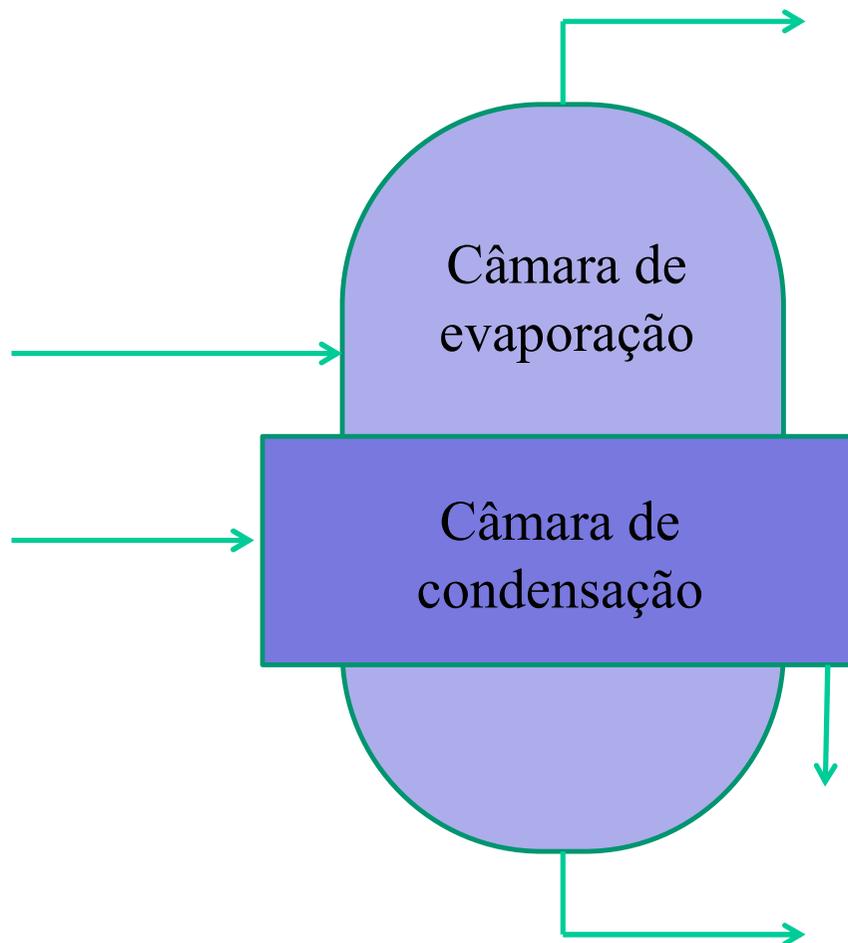
**OPERAÇÕES UNITÁRIAS II**  
**LOQ4086 – Turma 20201N1 – Engenharia Química**

**FLUXOGRAMAS  
PROCESSOS DE PRODUÇÃO  
DERIVADOS INORGÂNICOS  
DO NITROGÊNIO**

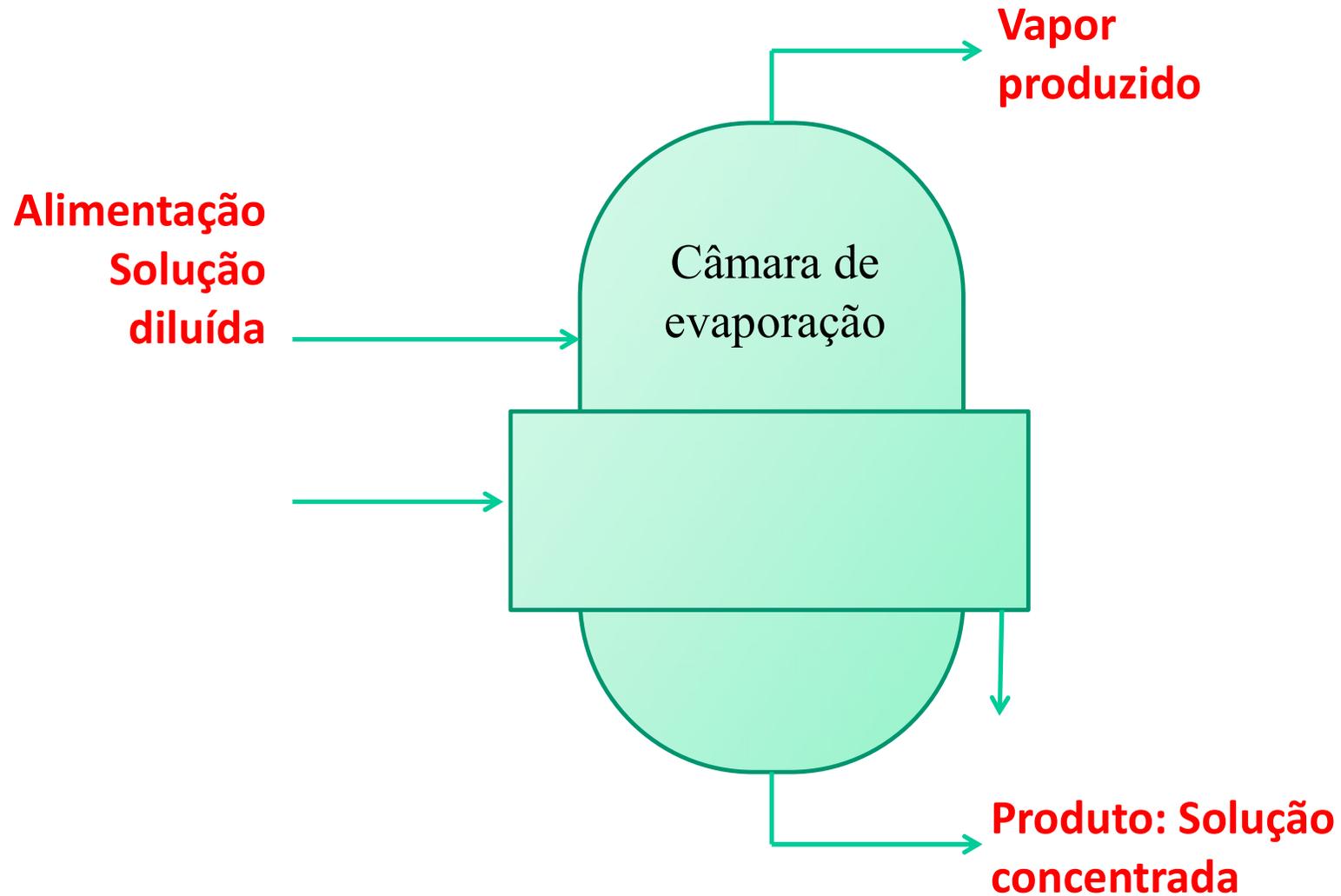
**PROF. ANTONIO CARLOS DA SILVA**



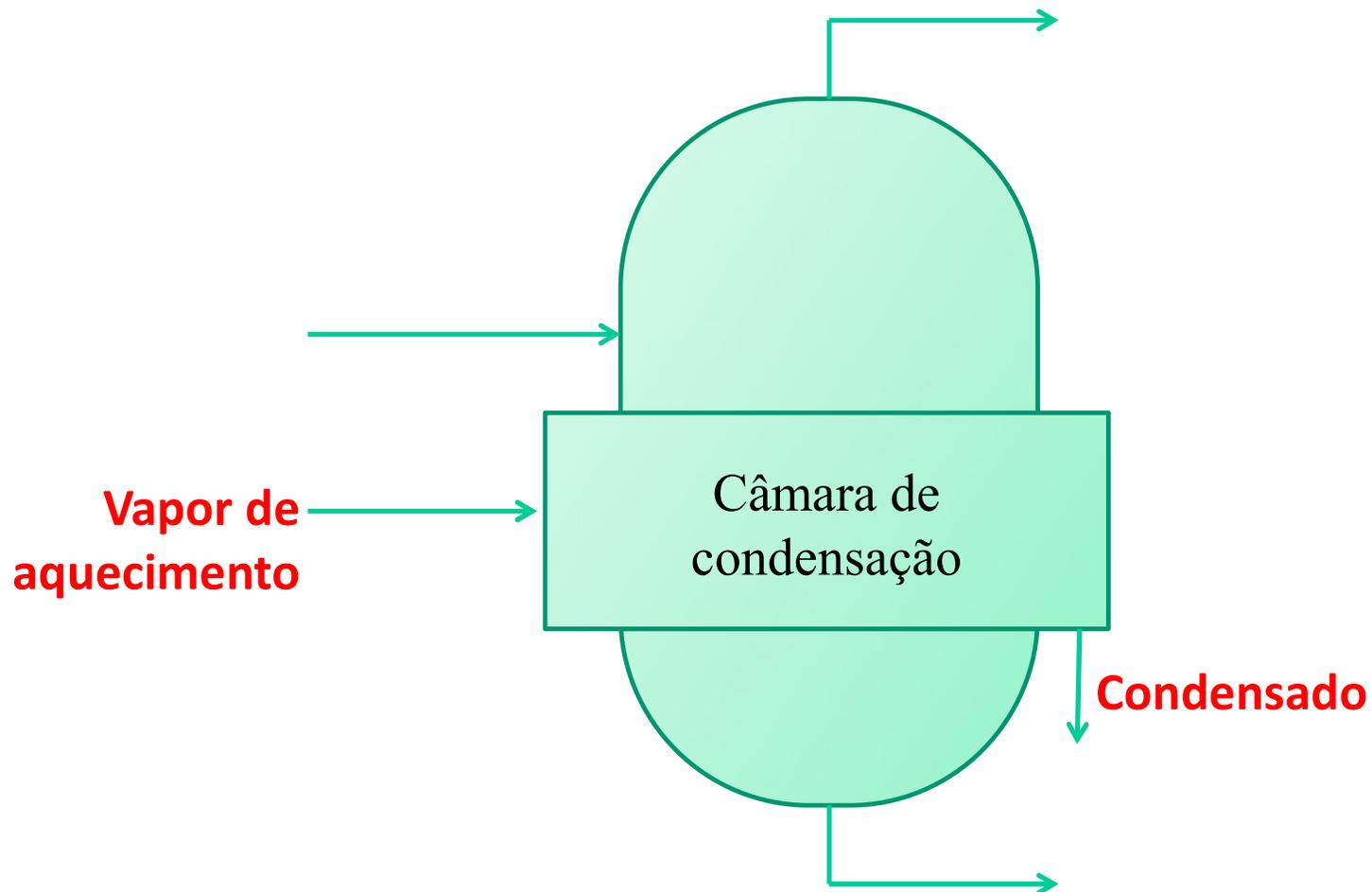
# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



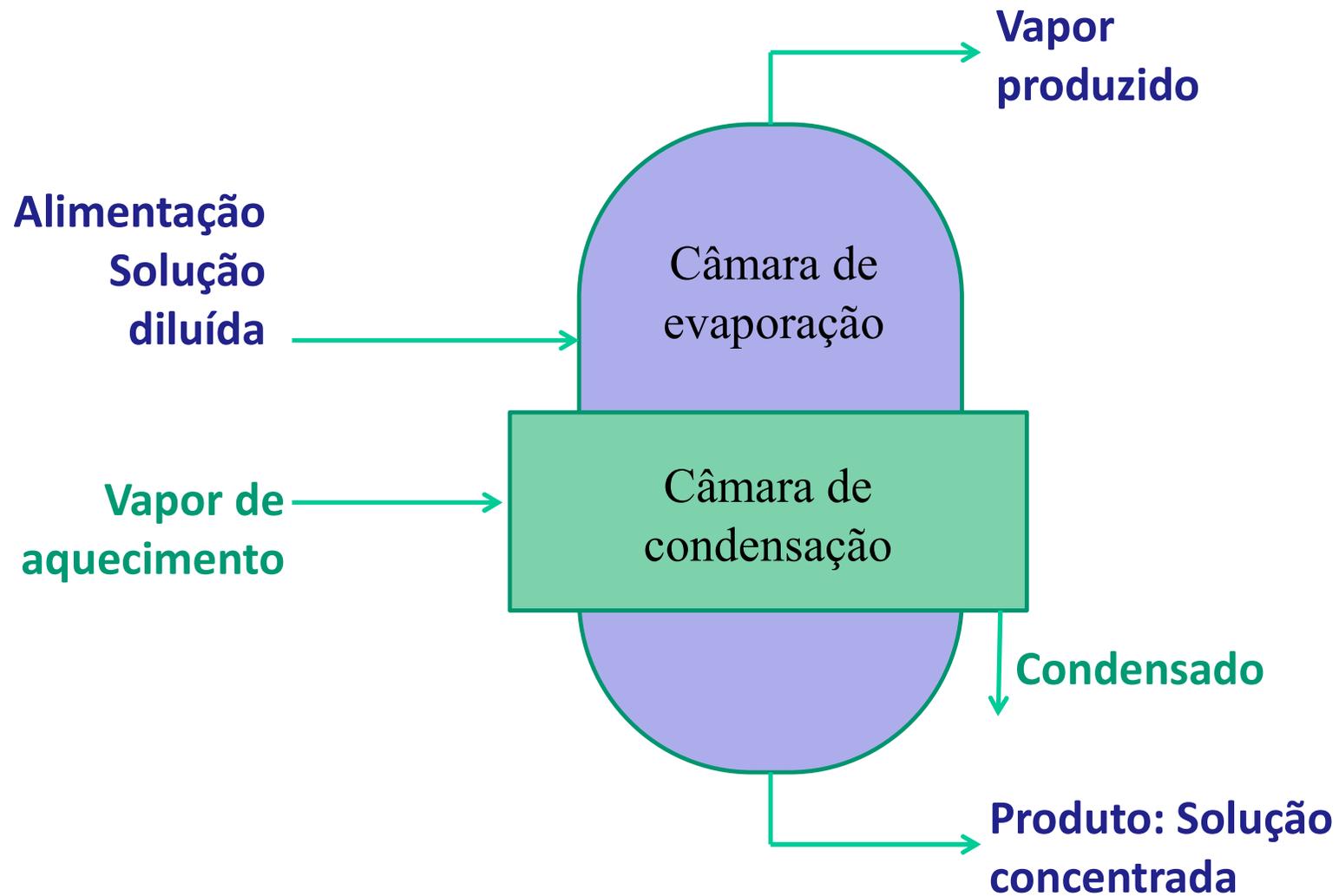
# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



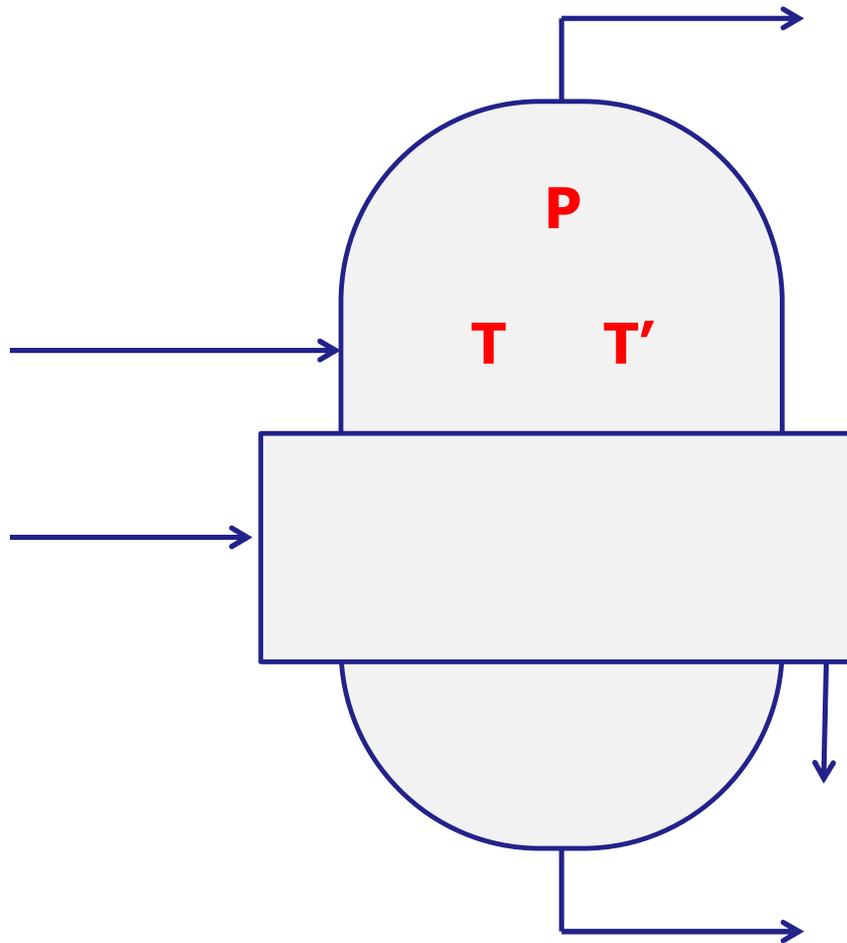
# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO

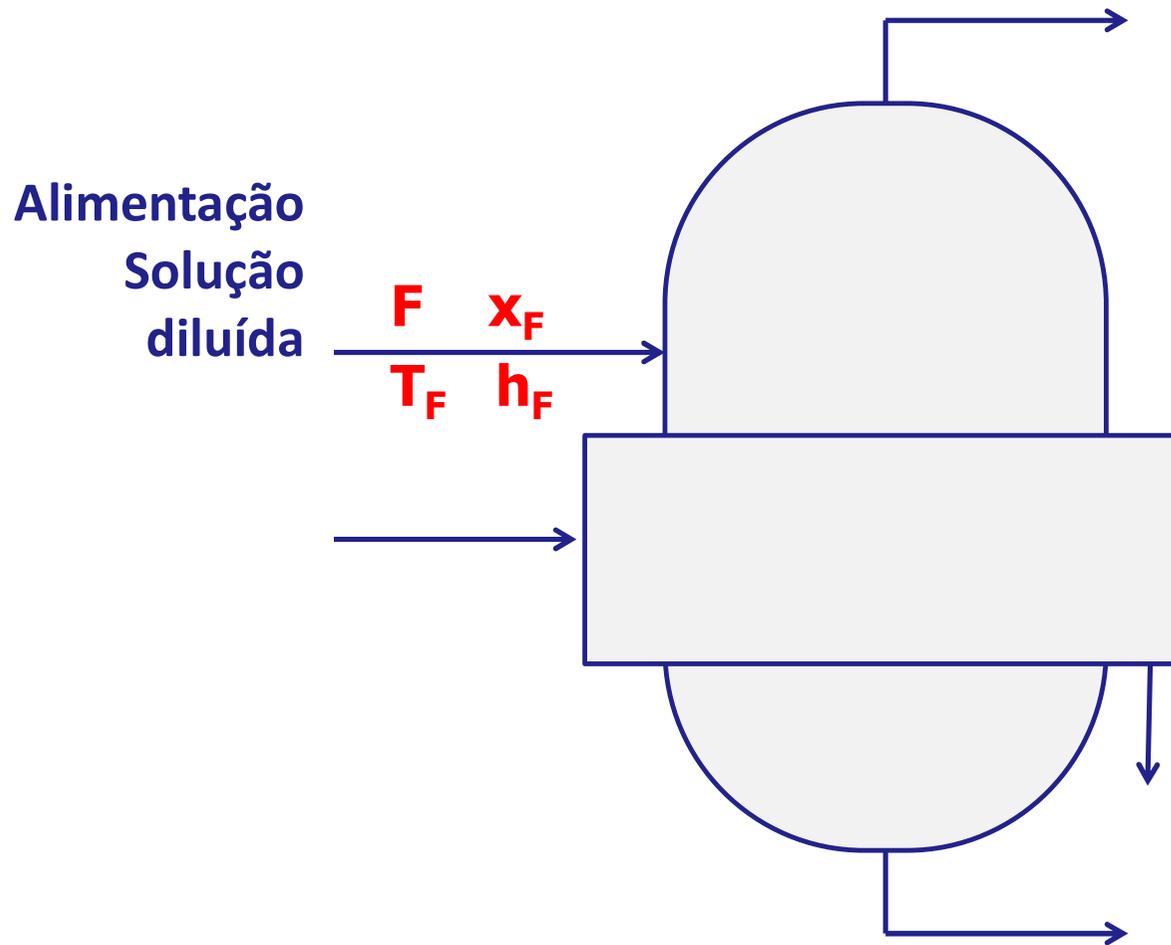


# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



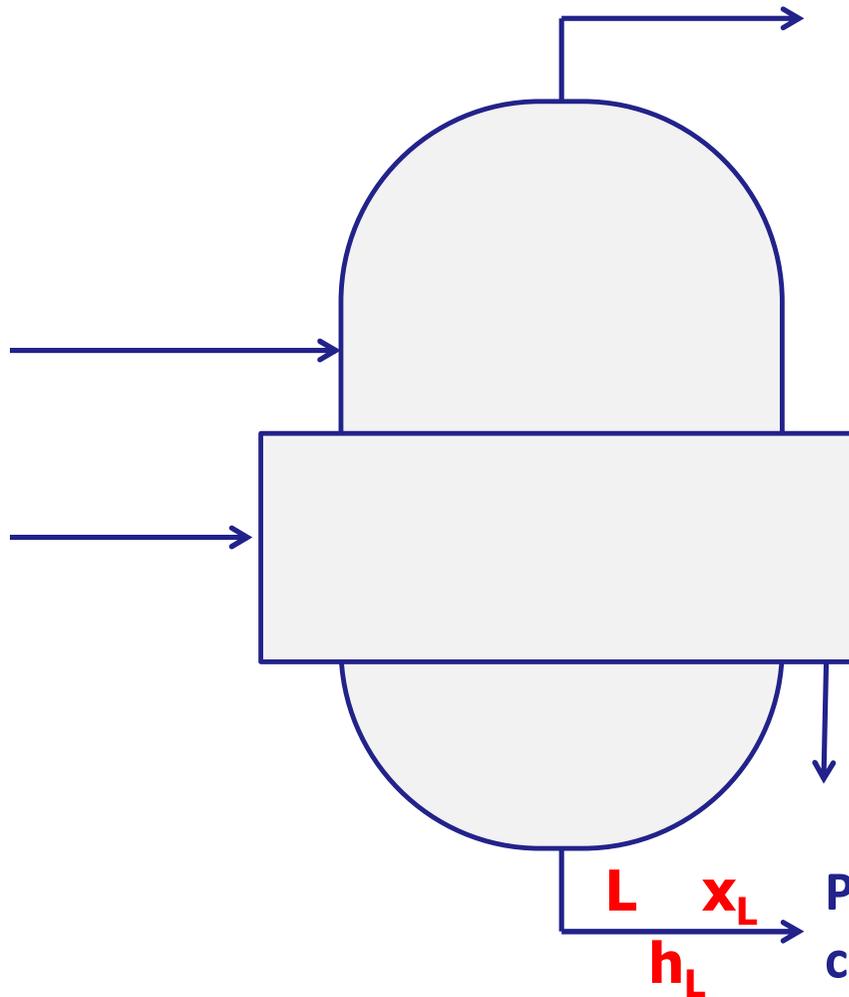
- $p$  ... Pressão na câmara de evaporação
- $T$  ... Temperatura de evaporação do solvente puro na pressão  $p$
- $T'$  ... Temperatura de evaporação da solução na pressão  $p$

# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



- $F$  ... Fluxo de alimentação (vazão mássica)
- $x_F$  ... Fração mássica de soluto na alimentação
- $T_F$  ... Temperatura da solução de alimentação
- $h_F$  ... Entalpia específica da solução de alimentação

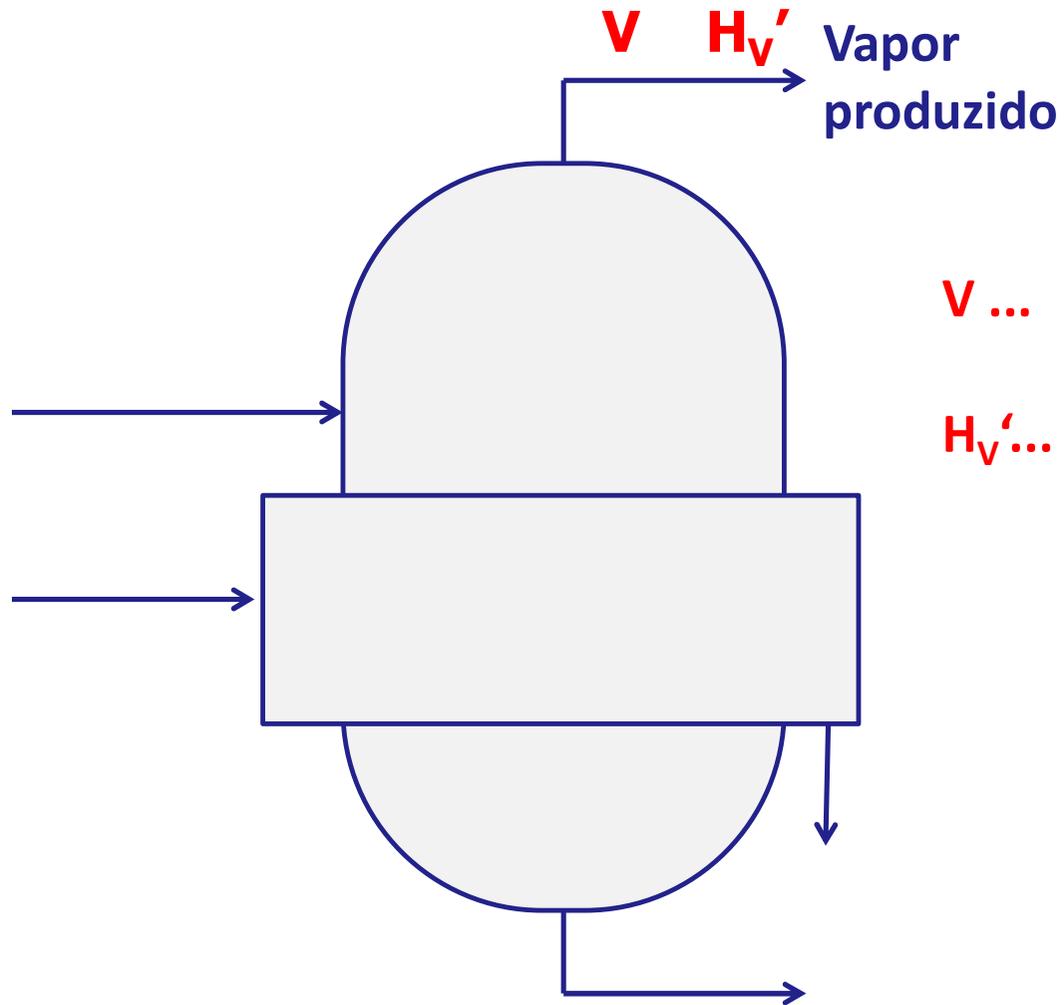
# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



- $L$  ... Fluxo de solução concentrada (produto) – (vazão mássica)
- $x_F$  ... Fração mássica de soluto na solução concentrada (produto)
- $h_L$  ... Entalpia específica da solução diluída (produto)

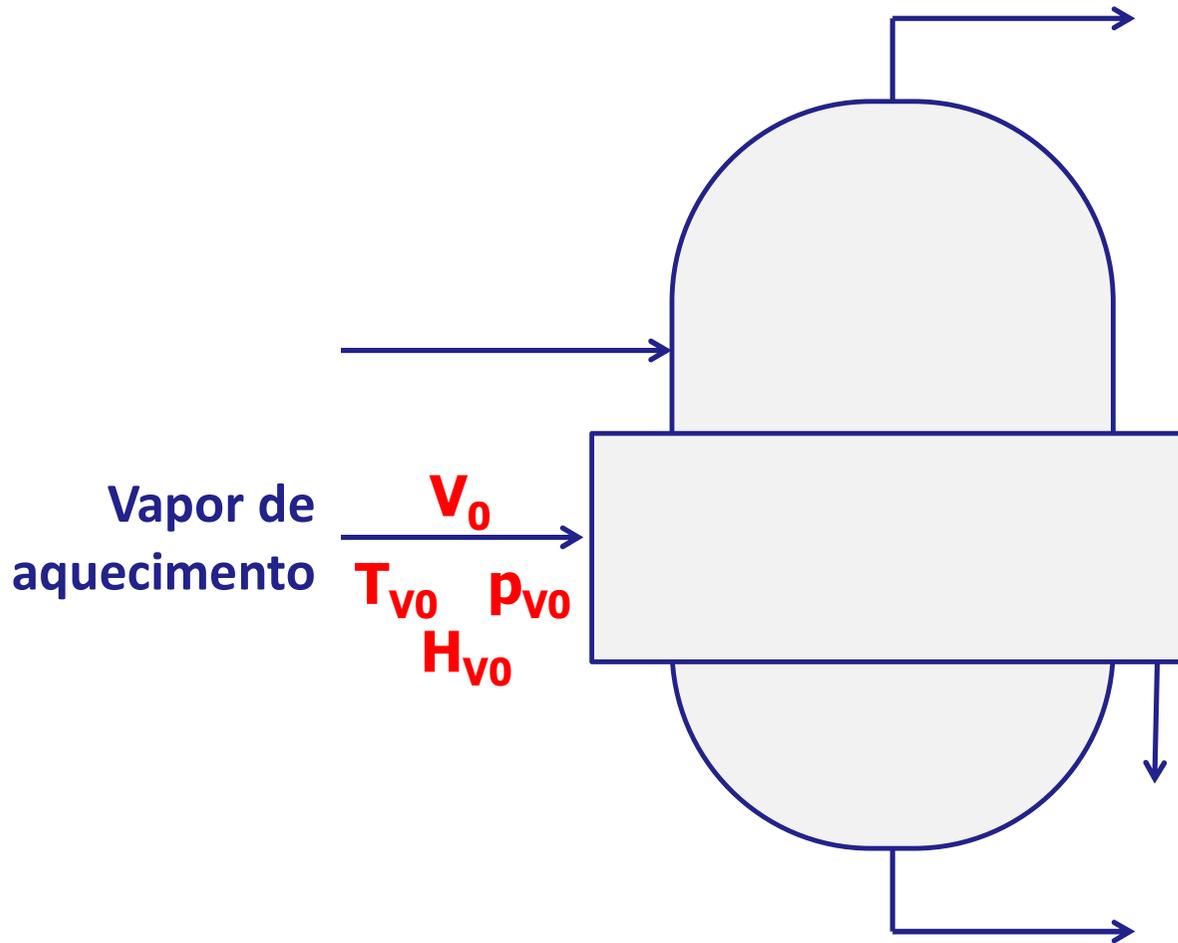
Produto: Solução concentrada

# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



$V$  ... Fluxo de vapor produzido pela evaporação do solvente  
 $H_V'$  ... Entalpia específica do vapor produzido pela evaporação do solvente

# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



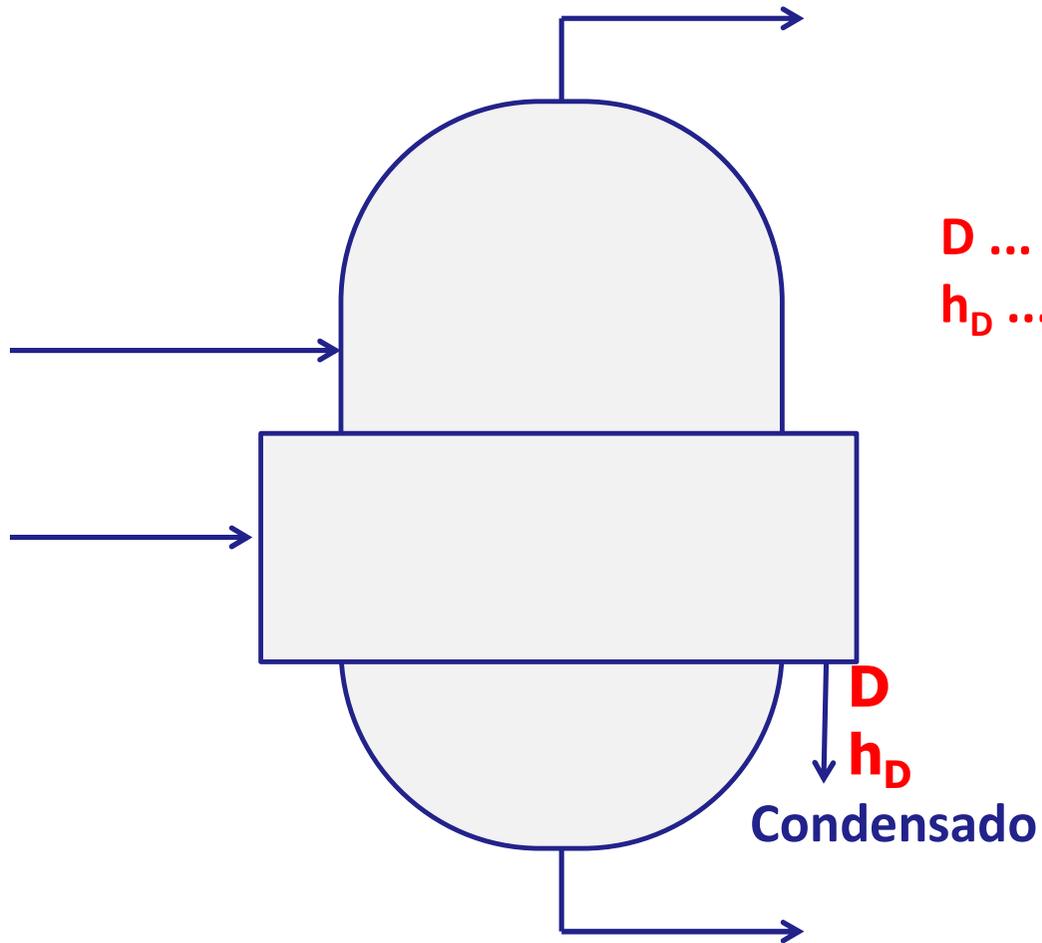
$V_0$  ... Fluxo de vapor de aquecimento alimentado na câmara de condensação

$T_{v0}$  ... Temperatura de saturação do vapor de aquecimento

$p_{v0}$  ... Pressão do vapor de aquecimento

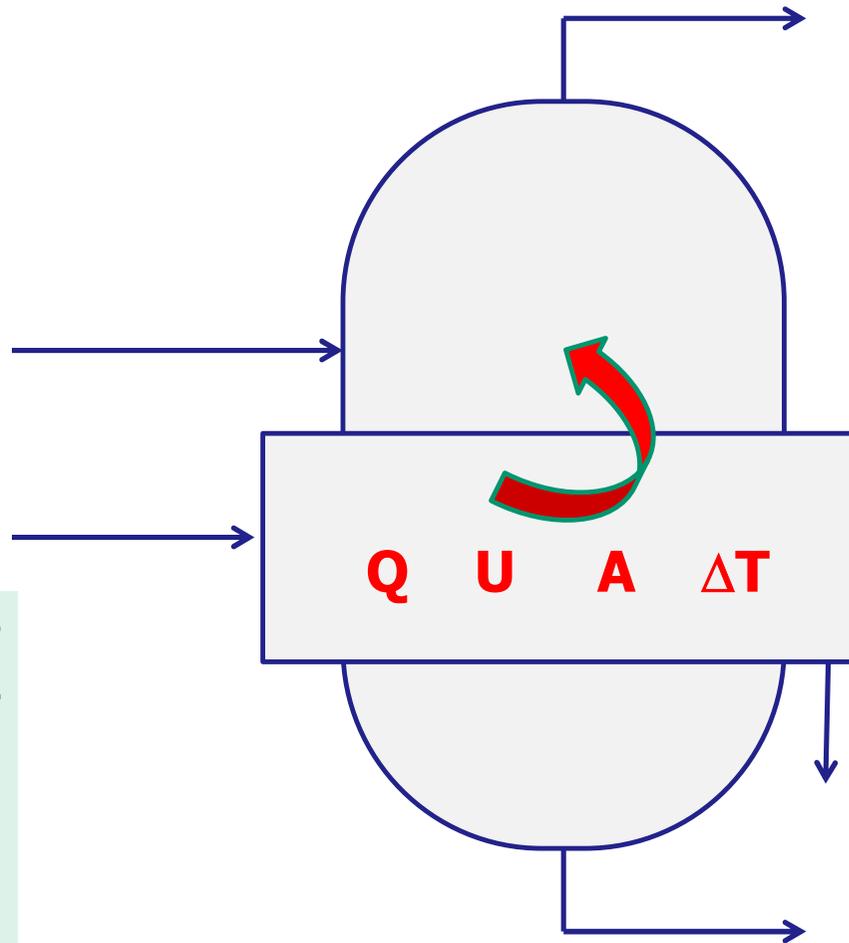
$H_{v0}$  ... Entalpia específica do vapor produzido pela evaporação do solvente

# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



**D ... Fluxo de condensado**  
**h<sub>D</sub> ... Entalpia específica do condensado**

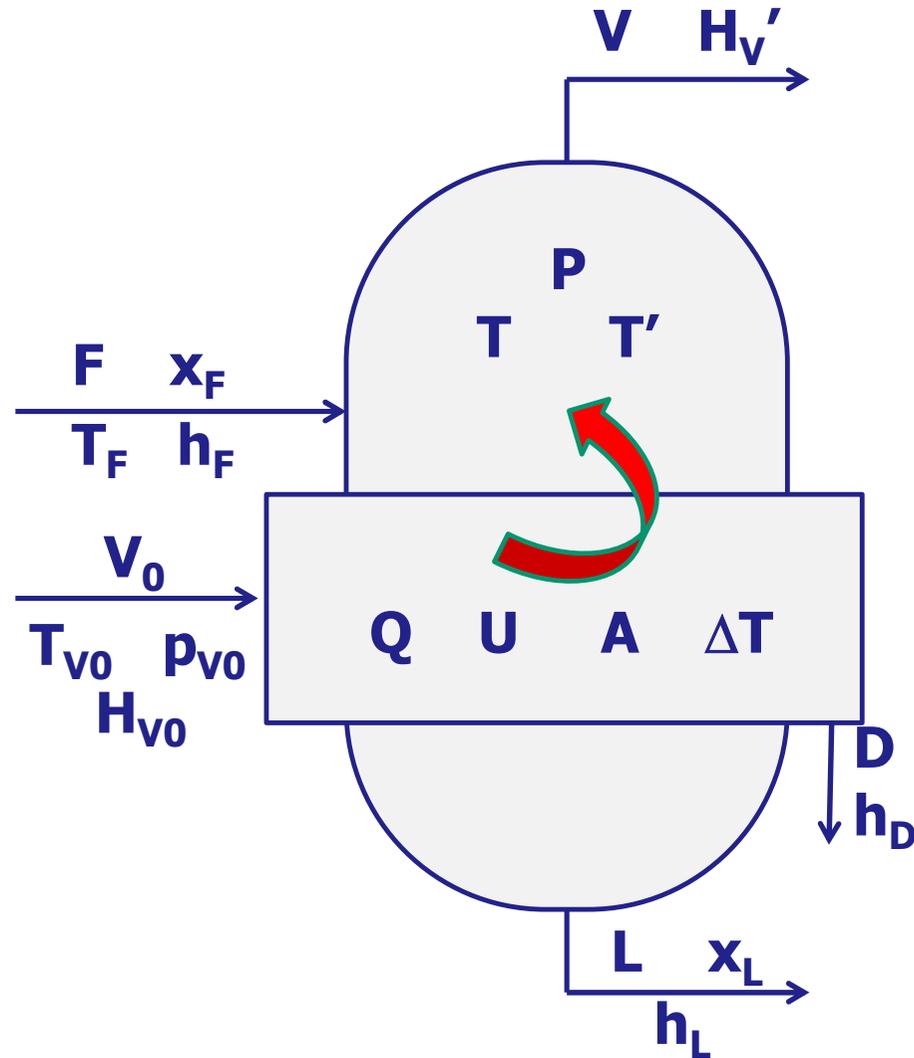
# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



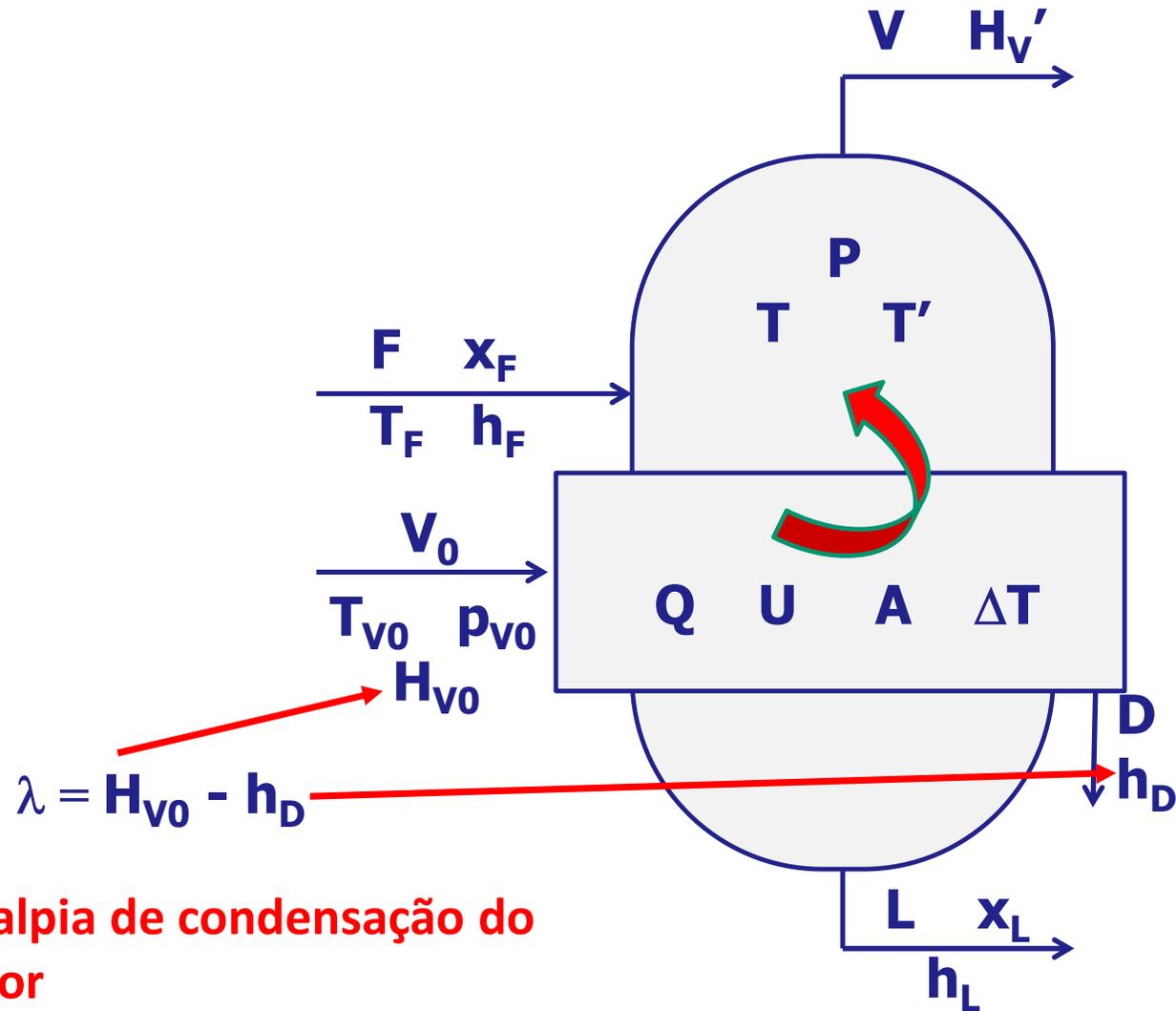
Troca de calor  
entre vapor  
condensando e  
solução em  
evaporação

- Q ...** Carga Térmica ou Fluxo de Calor
- U ...** Coeficiente Global de Troca de Calor
- A ...** Área da Superfície de troca de calor
- $\Delta T$  ...** Diferença de temperatura

# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO

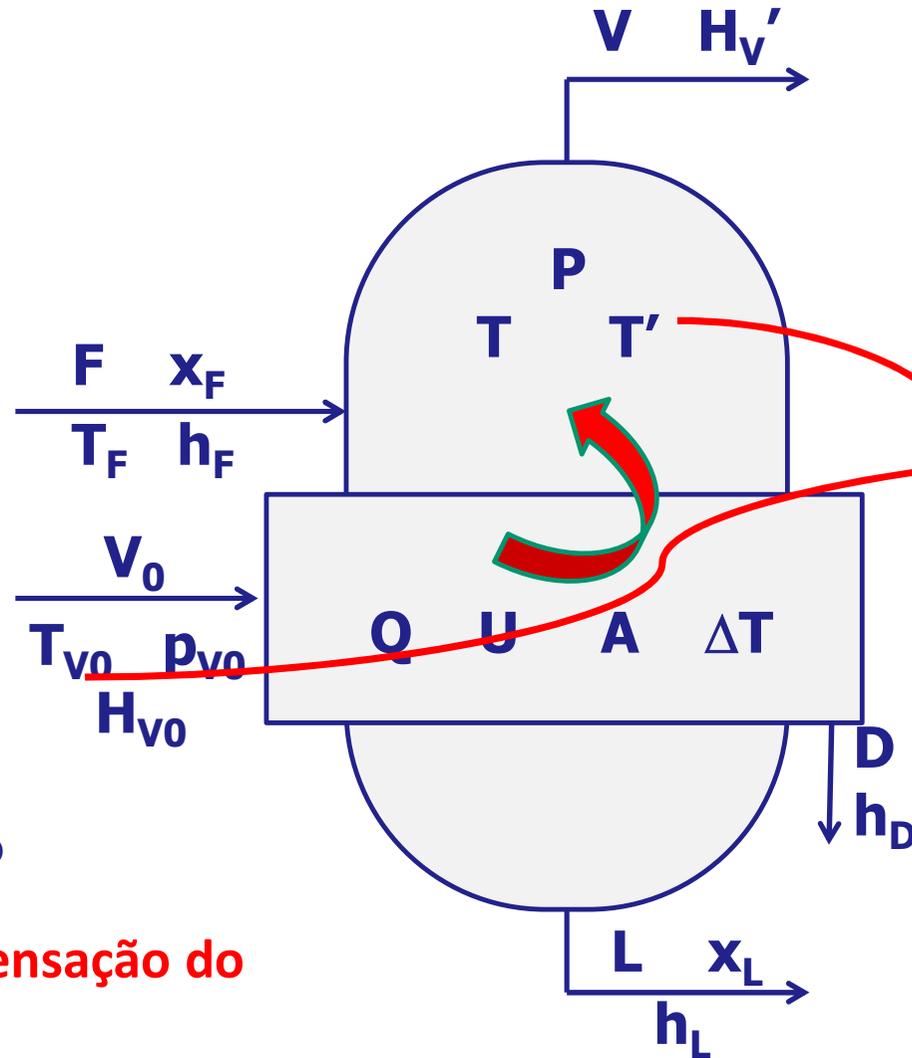


# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO

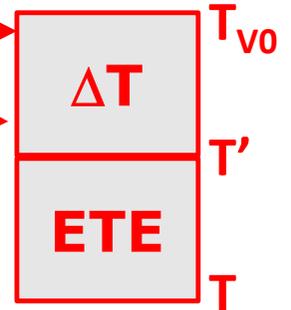


$\lambda$  ... Entalpia de condensação do vapor

# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



Diferenças de Temperatura:

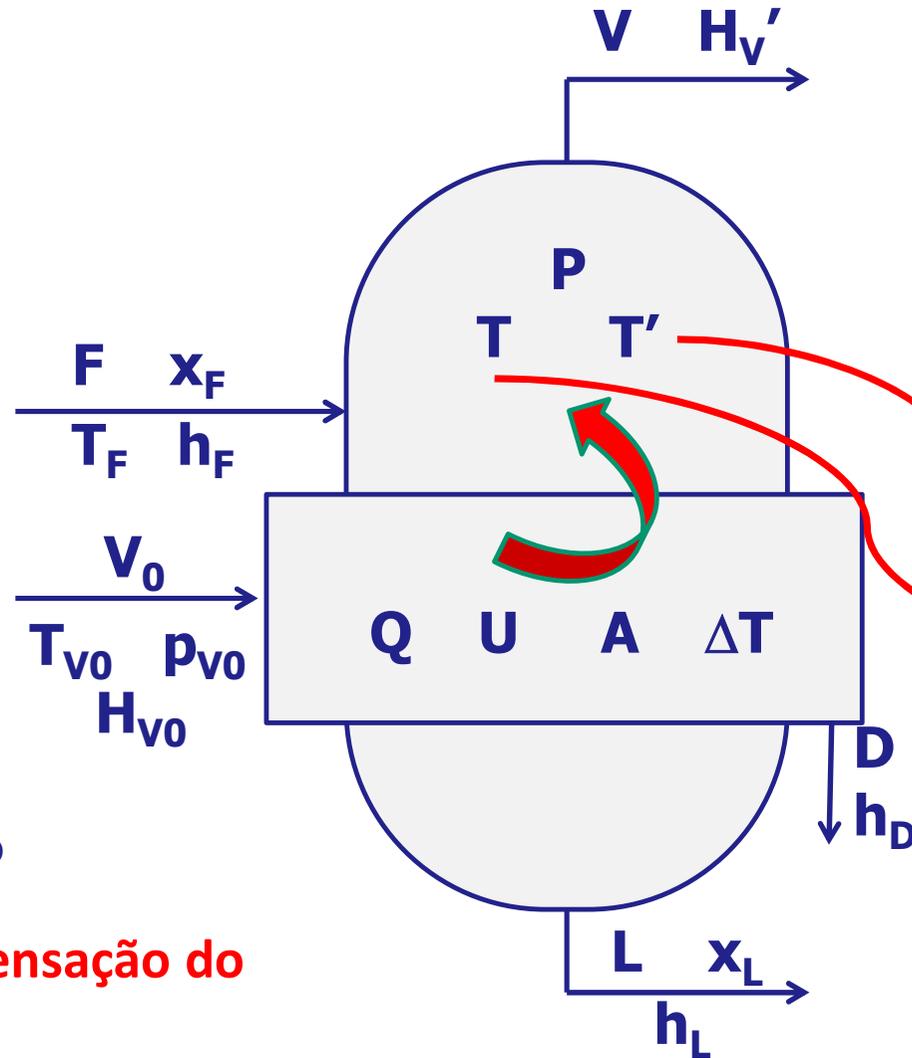


**ETE ...** Elevação da Temperatura de ebulição da solução

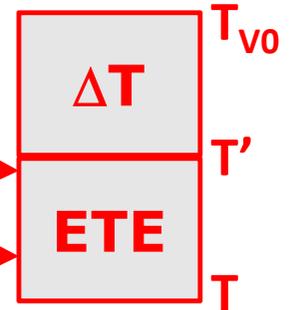
$$\lambda = H_{v0} - h_D$$

$\lambda$  ... Entalpia de condensação do vapor

# EVAPORADOR SIMPLES EFEITO



Diferenças de Temperatura:



**ETE ...** Elevação da Temperatura de ebulição da solução

$$\lambda = H_{v0} - h_D$$

$\lambda$  ... Entalpia de condensação do vapor

# EQUAÇÕES

**BALANÇO DE MASSA:**

$$\Sigma \text{ vazões que entram} = \Sigma \text{ vazões que saem}$$

- **Câmara de evaporação:**

①  $F = L + V$  (balanço das vazões totais)

②  $F \cdot x_F = L \cdot x_L$  (balanço das vazões de soluto)

- **Câmara de condensação:**

③  $V_0 = h_D$

# EQUAÇÕES

**BALANÇO DE ENERGIA:**

$\Sigma$  calor que entra =  $\Sigma$  calor que sai

$$\textcircled{4} \quad F \cdot h_F + V_0 H_{V0} = L \cdot h_L + V \cdot H_V' + D \cdot h_D$$

$$V_0 H_{V0} - D \cdot h_D = L \cdot h_L + V \cdot H_V' - F \cdot h_F$$

$$V_0 \cdot (H_{V0} - h_D) = L \cdot h_L + V \cdot H_V' - F \cdot h_F$$

$$V_0 \cdot \lambda = L \cdot h_L + V \cdot H_V' - F \cdot h_F$$

(da Equação  $\textcircled{3}$ :  $V_0 = h_D$ )

(como:  $\lambda = H_{V0} - h_D$ )

(calor cedido pelo vapor =  
calor recebido pela solução)

$$\textcircled{5} \quad Q = V_0 \cdot \lambda = L \cdot h_L + V \cdot H_V' - F \cdot h_F$$

**CALOR TROCADO:**

$$\textcircled{6} \quad Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_{V0} - T'$$