



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”**  
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição

**LAN 2662 – OPERAÇÕES UNITÁRIAS NO PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS II**

# **Evaporação**

Profa. Gabriela Feltre



## Roteiro da Aula:

- ✓ Princípios e equipamentos da evaporação;
- ✓ Tipos de soluções a serem evaporadas;
- ✓ Balanço de energia



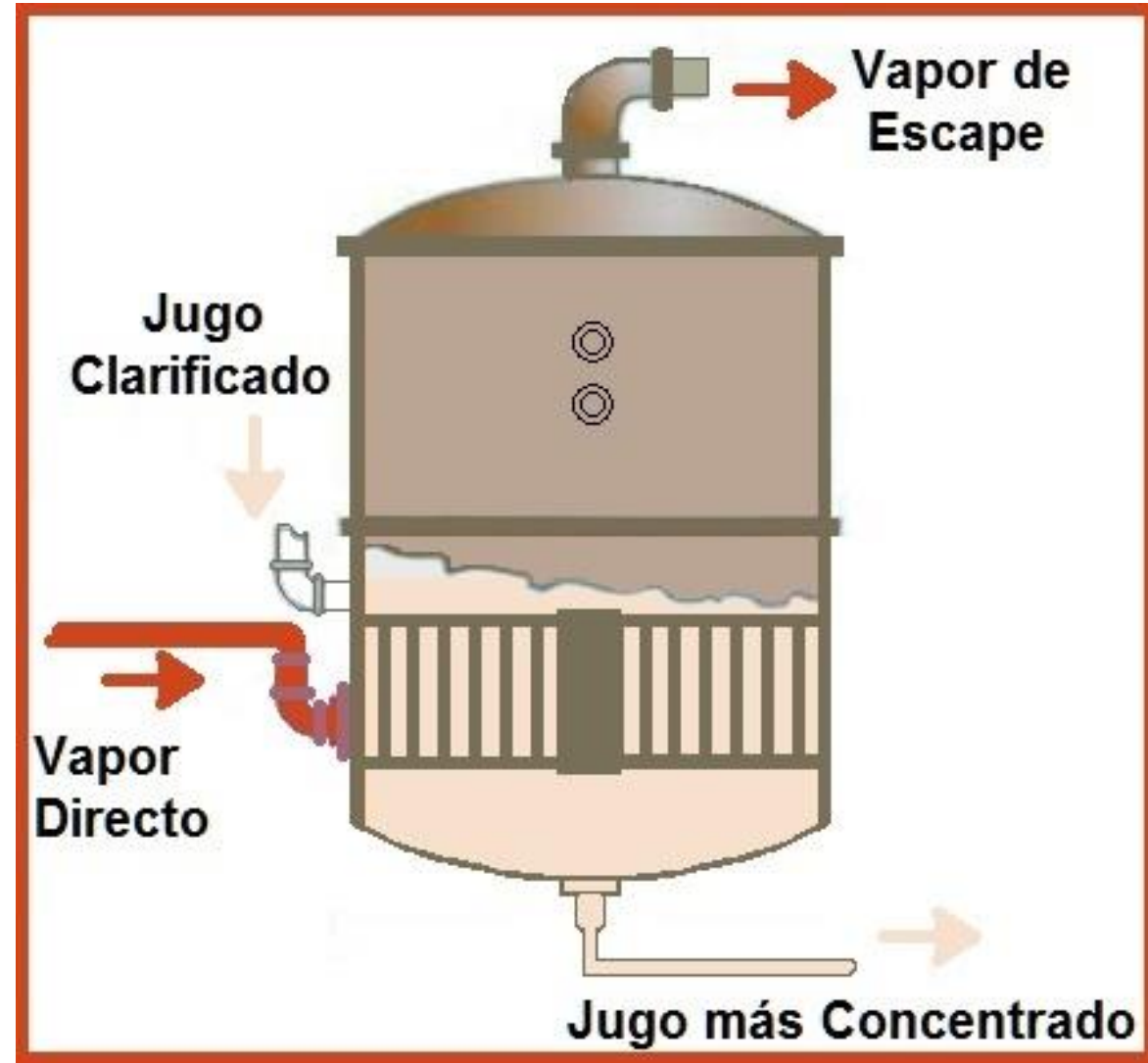
# *Princípios*



# Evaporação

- remoção de solvente da solução ou suspensão;
- objetivo: aumentar o teor de soluto na solução

# Evaporação





# Evaporação

- o vapor saturado vai aquecer a solução, leva-la até o ponto de ebulição para produção de vapor;
- O contato entre vapor saturado e solução diluída se dá através de tubos chamado caixa de vapor (semelhante a trocador de calor).



# Evaporação

- Casos em que se deseja uma temperatura de evaporação mais branda, pode-se reduzir a pressão de operação do evaporador.

Exemplo: quando o soluto apresenta sensibilidade e altas temperaturas e pode ter degradação.

# Evaporação

- $P_0$  é a pressão do vapor que chega até o sistema, ou seja a pressão do vapor que vem da caldeira (equipamento usado para produzir o vapor saturado).
- se quero vapor a T muito altas, essa caldeira tem que estar em uma P elevada para o vapor saturado estar em T acima da T ebulição da água.
- $\lambda_0$  : entalpia ou calor latente de evaporação. Quanto de calor por kg de vapor tenho nesse vapor saturado (kJ/kg vapor)



## Caldeira para gerar o vapor

- Primeiro, água recebe calor sensível;
- Quando chega na T ebulição, continuo adicionando calor para gerar o vapor (calor latente)
- o calor sensível se mantem na caldeira. Então a água que condensou no evaporador, posso voltar pra caldeira;
- Como o vapor é saturado, há economia de energia, pois a temperatura desse vapor não muda depois que condensou.



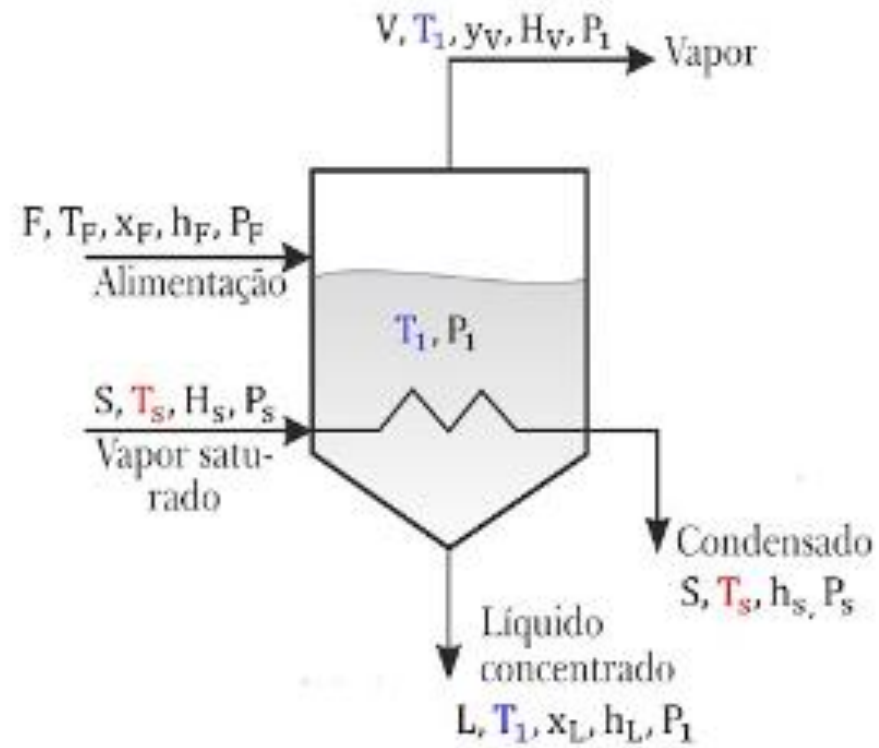
# *Equipamentos*



## Simple efeito

- Capacidade baixa – baixa quantidade de vapor produzida;
- Vapor primário barato – p. ex. vapor reaproveitado de outra etapa da produção;
- Soluções corrosivas – equipamentos que precisam de mais manutenção.

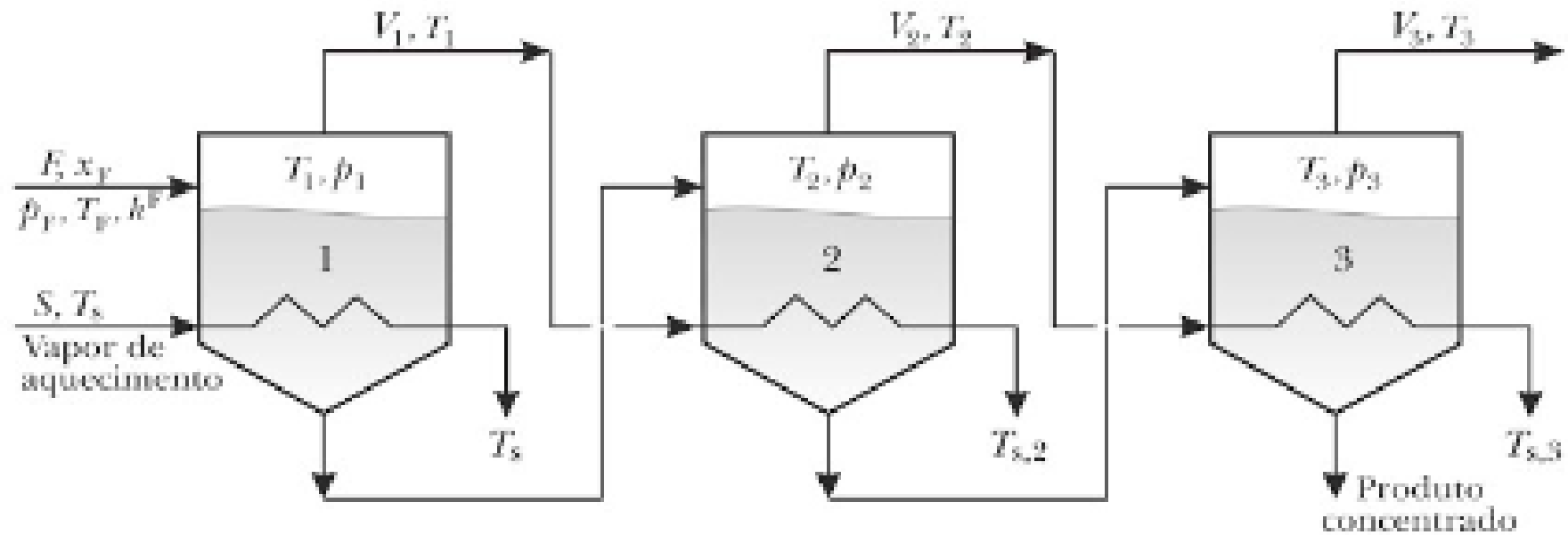
# Simple effect



## Múltiplos efeitos

- Economia de energia;
- Maior superfície de troca térmica;
- Vapor primário usado apenas no primeiro evaporador. Nos outros, serão utilizados os vapores gerados nos evaporadores anteriores (para que isso seja viável, a  $P$  nos evaporadores deve ser menor que no primeiro).
- Maior custo com manutenção e limpeza.

# Múltiplos efeitos





# *Soluções a serem evaporadas*

## Soluções a serem evaporadas

- Solução com elevação do ponto de ebulição (EPE):
  - Presença de soluto pode ou não proporcionar a elevação do ponto de ebulição do solvente.
  - Normalmente, soluções muito diluídas não apresentam EPE.





# Soluções a serem evaporadas

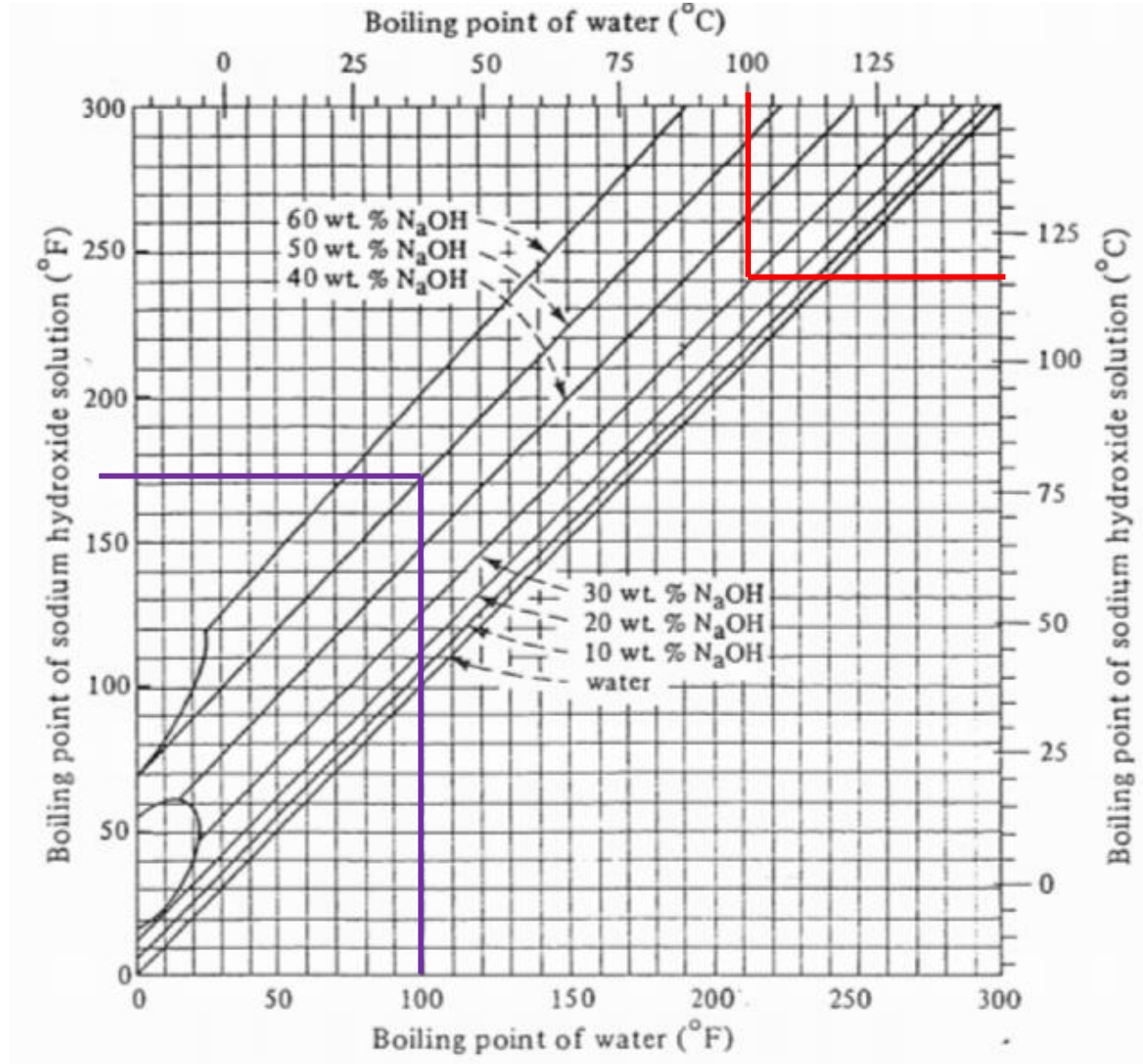
- Solução com elevação do ponto de ebulição (EPE):
  - EPE é uma propriedade coligativa comum em muitas substâncias;
  - Diagramas que mostram qual vai ser o ponto de elevação de ebulição da água de acordo com a concentração do soluto.

## Soluções com EPE

- Solução sem EPE: sol. Muito diluídas – tabela vapor saturado
- Solução com EPE: sol. Concentradas – tabela vapor superaquecido  
O vapor que sai dessa solução sai em uma T acima da T de ebulição
- Para uma mesma P, a T de ebulição é maior quando a concentração é maior.

EPE pode ser estimada com base na regra de Duhring (relação entre T ebulição da água pura e T ebulição da água com soluto).

# Diagrama de Dühring



## Soluções a serem evaporadas

- Solução com entalpia de diluição:
  - Algumas soluções apresentam entalpia de diluição, em que a entalpia varia com diferentes concentrações de soluto;
  - Nesses casos, na mesma T e P, mudando a concentração de soluto, há variação da entalpia.
  - Ex: solução de hidróxido de sódio.



## Soluções a serem evaporadas

- Solução com entalpia de diluição:

Ex: Solução de hidróxido de sódio

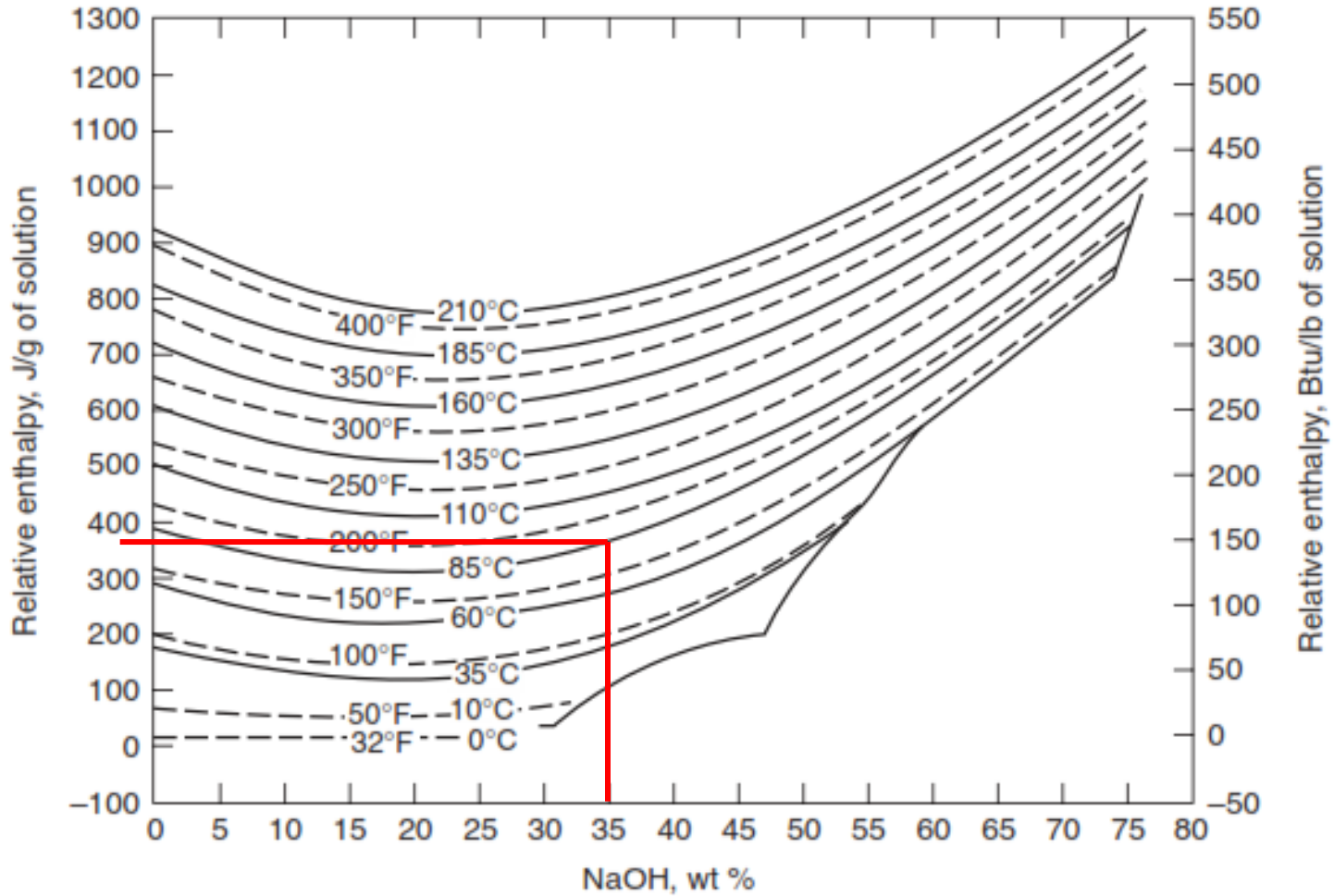
- Concentrado: H elevada
- Diluído: H diminui
- Diluindo NaOH, vai liberando calor e vai ficando com H mais baixa.



## Soluções a serem evaporadas

- Solução com entalpia de diluição:
  - Quando a solução a ser concentrada tem entalpia de diluição, temos que saber a entalpia inicial e também a entalpia da solução quando chega na concentração desejada pois o calor que variou também vai contribuir nas quantidades de calor necessária para aquecer e evaporar a solução.

# Soluções com entalpia de diluição



**Fig. 2.** Enthalpy vs concentration of caustic soda solutions.



# *Balanço de Energia*



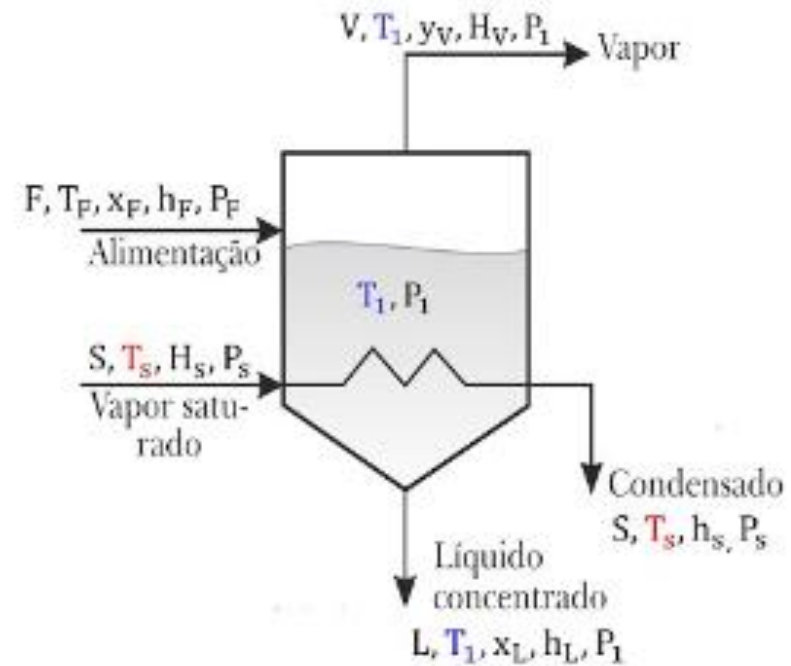


## Balanço de energia

- Devemos analisar o desempenho do evaporador:
  - Qual a quantidade de vapor que devemos mandar para o evaporador para gerar solução concentrada?
  - Quanto de vapor do solvente vai gerar? (ou seja, quanto precisa evaporar de solvente para chegar na concentração desejada?)
  - Qual será a área de troca de calor necessária?

# Balço de energia

- Solução sem EPE e sem entalpia de diluição:
  - Vapor formado é vapor saturado.



# Balanço de energia

- Solução com entalpia de diluição:
  - Vapor formado é vapor superaquecido.

