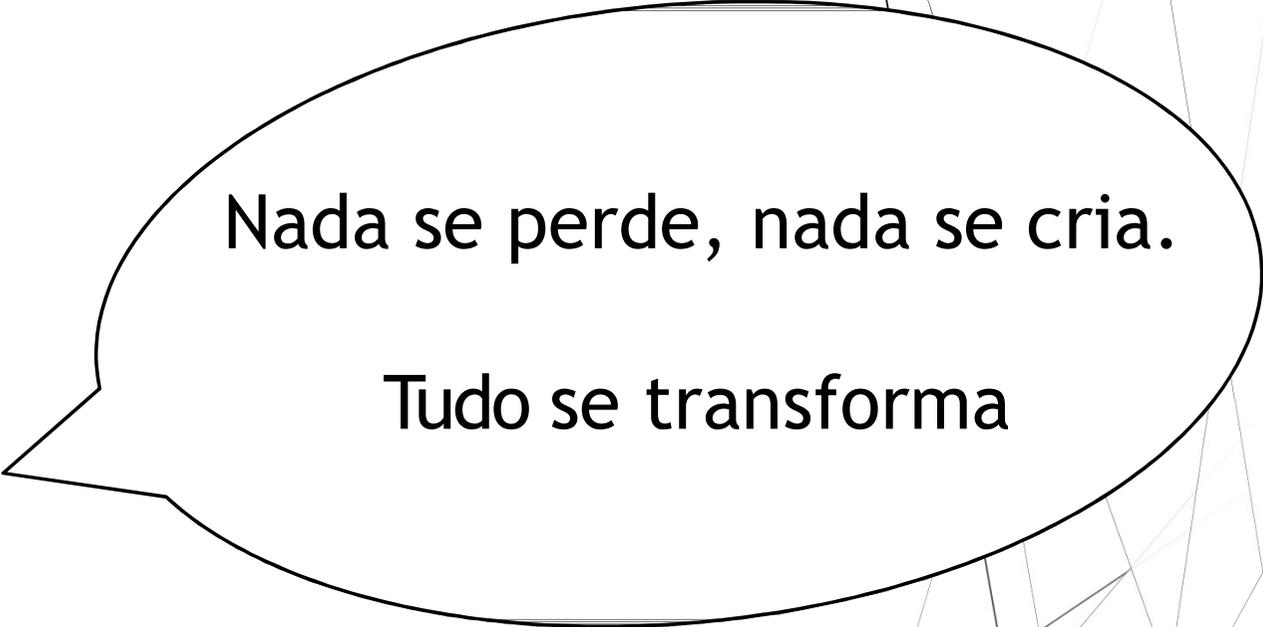


# PHA 3513 - Balanço de massa e energia

Prof. Mierzwa



Nada se perde, nada se cria.

Tudo se transforma

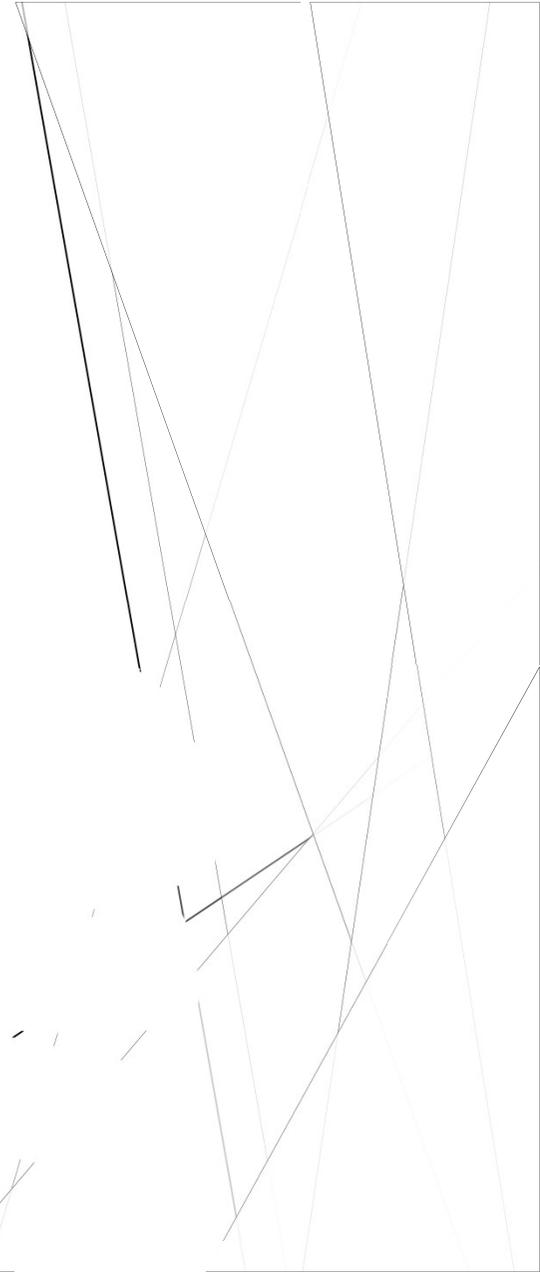
Antoine Lavoisier (1743 - 1794)

# Introdução

- Os balanços de massa e de energia são ferramentas essenciais para compreensão de sistemas ambientais
- Permitem uma avaliação quantitativa do fluxo de matéria e energia para o interior ou do exterior desses sistemas
- Exemplo: volumes de escoamento de chuva, balanço de oxigênio na água, eficiência de processos térmicos, geração de resíduos sólidos, mudanças climáticas

# Introdução

- Todo processo de engenharia que busca ser otimizado, aplica princípios de balanço de massa para evitar desperdícios.
- Cortar os desperdícios = poupar recursos = poupar dinheiro!
- Balanço = “F = m.a” da Engenharia Ambiental

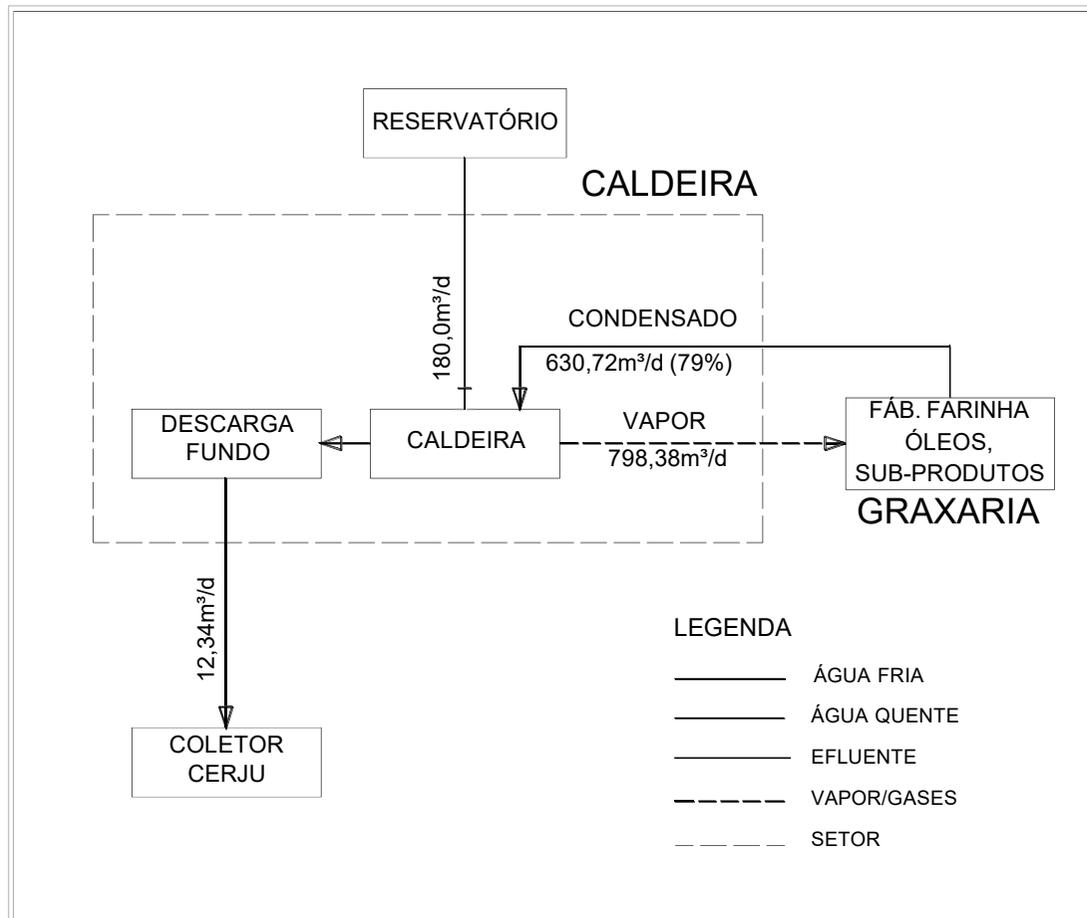


# Balço de Massa

Os balanços de massa nos ajudam a responder a perguntas sobre:

- A taxa de acumulação de poluentes em um sistema;
- A concentração máxima que um poluente pode atingir em um ponto de um rio após um derramamento a montante;
- O tamanho de um reator que temos que construir para alcançar um redução percentual desejada na concentração de um poluente;
- Quanto tempo leva para que uma carga de contaminantes seja reduzida por processos naturais de degradação.

# Exemplo: Reúso de Água



Equação Fundamental:

=

-



# Equação Fundamental:

Volume de  
Controle

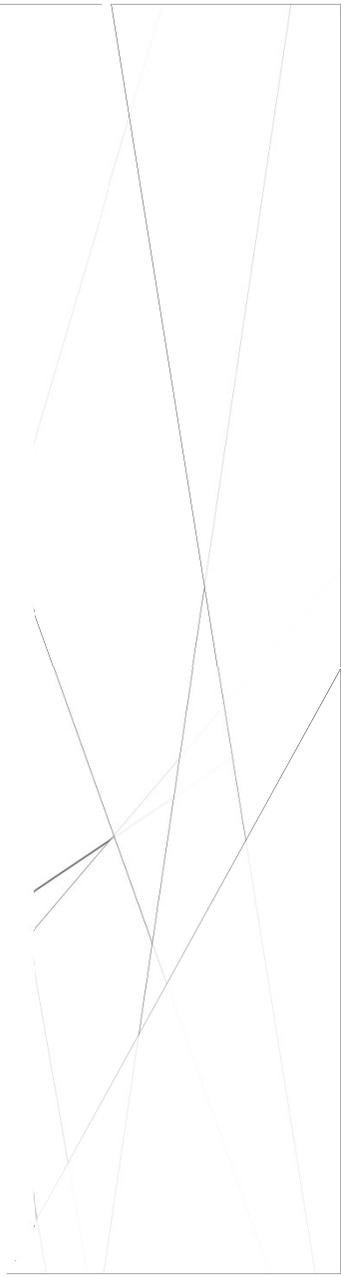


$Q$  = Vazão (volume por unidade de tempo = massa por unidade de tempo, quando se sabe a densidade)

$C_e$  = Concentração de Entrada

$C_s$  = Concentração de Saída

# Exemplos de Volumes de Controle

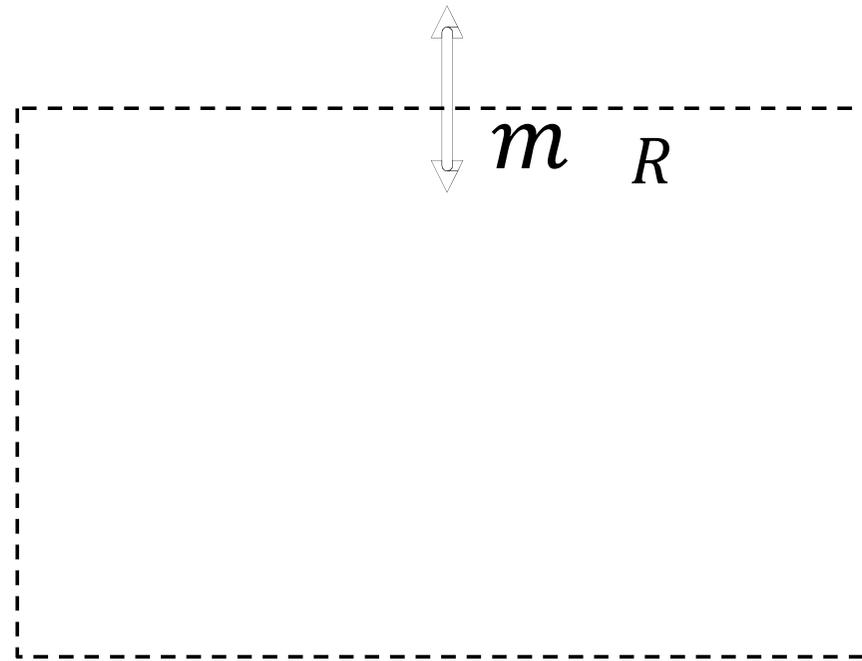


## Equação Fundamental:

$$\frac{dm}{dt} = m_E - m_S + m_R$$

“O acúmulo de massa no sistema em função do tempo é igual à quantidade de massa que entra, menos a quantidade que sai, mais a quantidade que reage dentro do sistema”

Quem é esse  $m_R$ ?



$$m_R = r \cdot V$$

$m_R$  é a massa que reage dentro do volume de controle

# Quem é esse $m_R$ ?

$$m_R = r \cdot V$$

$r$  = equação que descreve a reação que acontece no volume de controle

$r$  pode ser:

$$r = \pm k \text{ (ordem zero)}$$

$$r = \pm kC \text{ (primeira ordem)}$$

$$r = \pm kC^2 \text{ (segunda ordem)}$$

$k$  = coeficiente de decaimento, ou de acréscimo,  $C$  = concentração

**Ou seja, a parte reativa pode significar uma perda OU um acréscimo de massa no sistema.**

# Balanço de Energia

Energia = capacidade de  
Realizar Trabalho Útil

Calor

Energia Cinética

Energia Potencial

Energia Química

# Aplicações

- Trocas Térmicas (aquecimento / resfriamento)
- Fenômenos convectivos
- Energia armazenada em produtos
- Produção de Energia
- Avaliação da Eficiência de Combustíveis

# Equação Fundamental

$$Q = U_2 - U_1 \pm W$$

- O calor absorvido (ou removido) (J) é equivalente à diferença de energia interna nos momentos 1 e 2 e o trabalho realizado para esta transição.
- Esta equação, também conhecida como a primeira lei da Termodinâmica, explica que a energia não pode ser criada ou destruída - apenas transformada entre uma forma e outra.
- Para onde vai a energia não utilizada?

# Equação geral do balanço de energia em processos

- É baseada no balanço do fluxo de calor em um sistema;

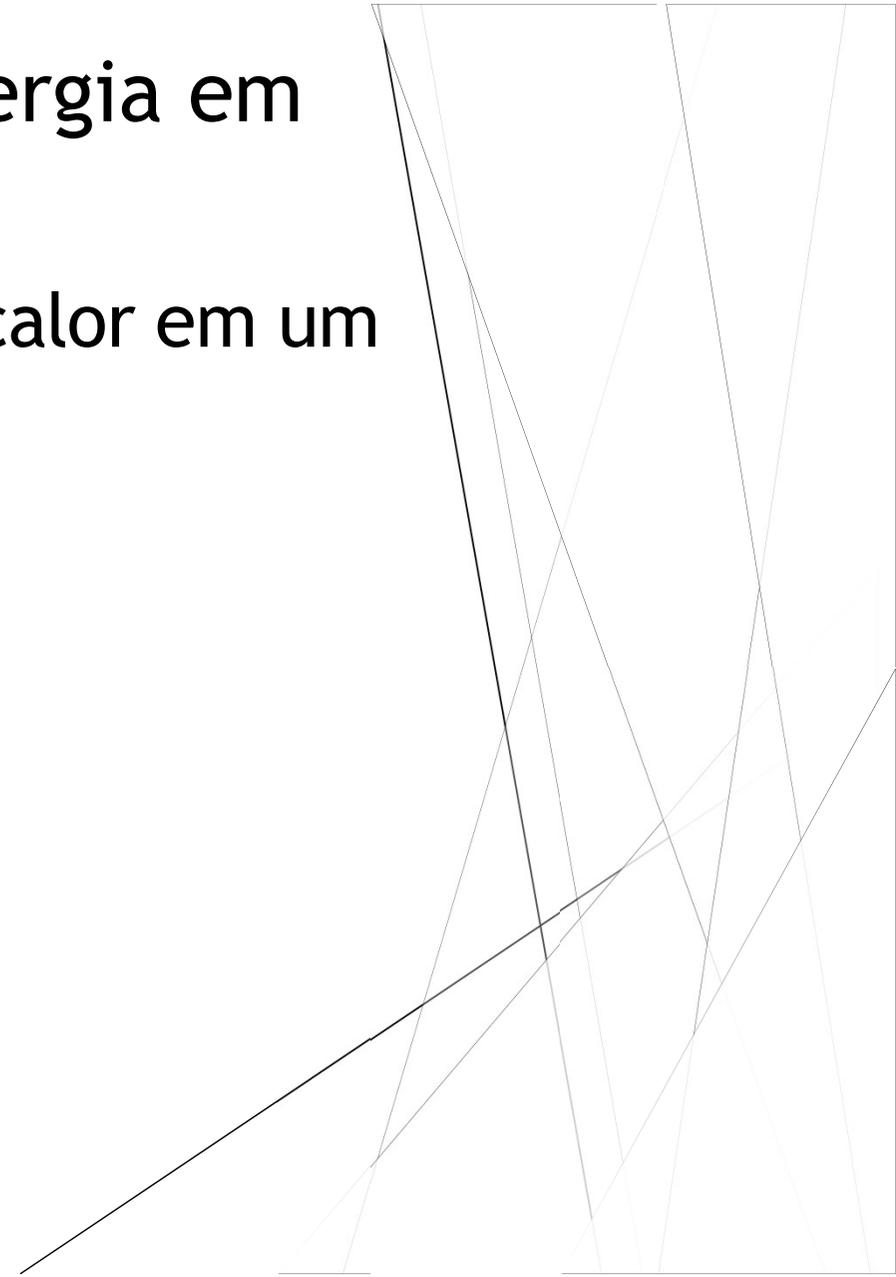
- $\frac{dQ}{dt} = Q_E - Q_S \pm Q_R$

- Na qual:

- $Q_E$  = Calor que entra no sistema

- $Q_S$  = Calor que sai do sistema

- $Q_R$  = Calor de reação



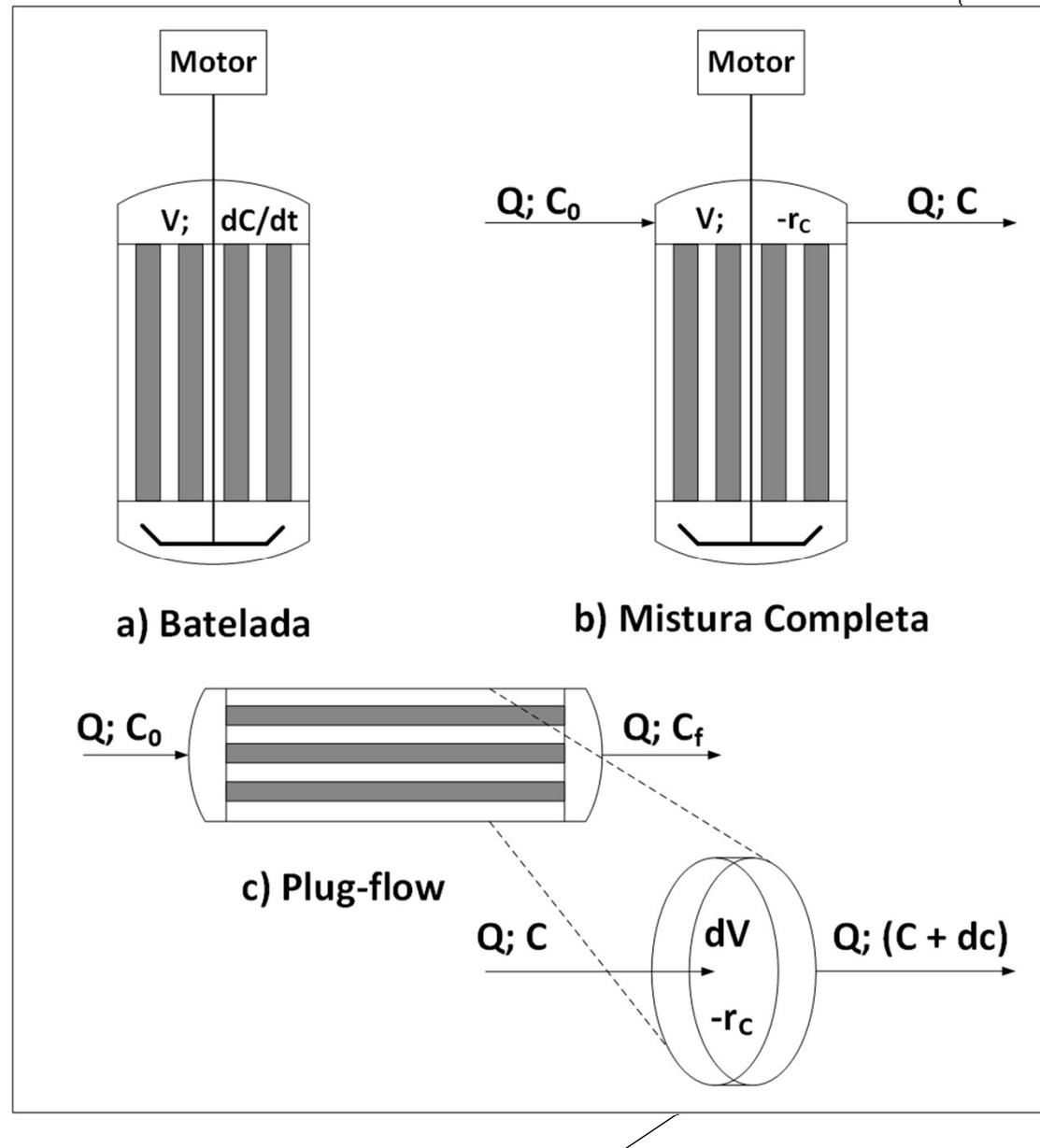
# Em processos básicos

- Os tipos calor envolvidos em processos básicos são:
- Calor sensível, devido à variação de temperatura da matéria em função de sua capacidade calorífica;
- Calor latente de vaporização, associado à entalpia necessária para que o material passa da fase líquida para vapor;
- Calor latente de fusão, associado à entalpia necessária para que o material passe da fase sólida para líquida.

# Balanço de massa com reações químicas

- Tipos de reatores:
  - Batelada, no qual o processo ocorre de forma intermitente e as condições no interior do reator variam com o tempo;
  - Mistura completa, no qual o processo ocorre de forma contínua e as condições no interior do reator não variam com o tempo;
  - Reator de fluxo pistonado, no qual o processo ocorre de forma contínua e as condições no interior do reator variam.

# Tipos de reatores disponíveis



# Equações básicas

□ Reator em batelada:

$$\square C = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

□ Reator de mistura completa:

$$\square C = \frac{C_0}{1 + k \cdot \theta}$$

□ Reator de fluxo pistonado (Plug-flow):

$$\square C = C_0 \cdot e^{-k \cdot \theta}$$

# Aplicação de balanço de massa e energia em sistema de resfriamento

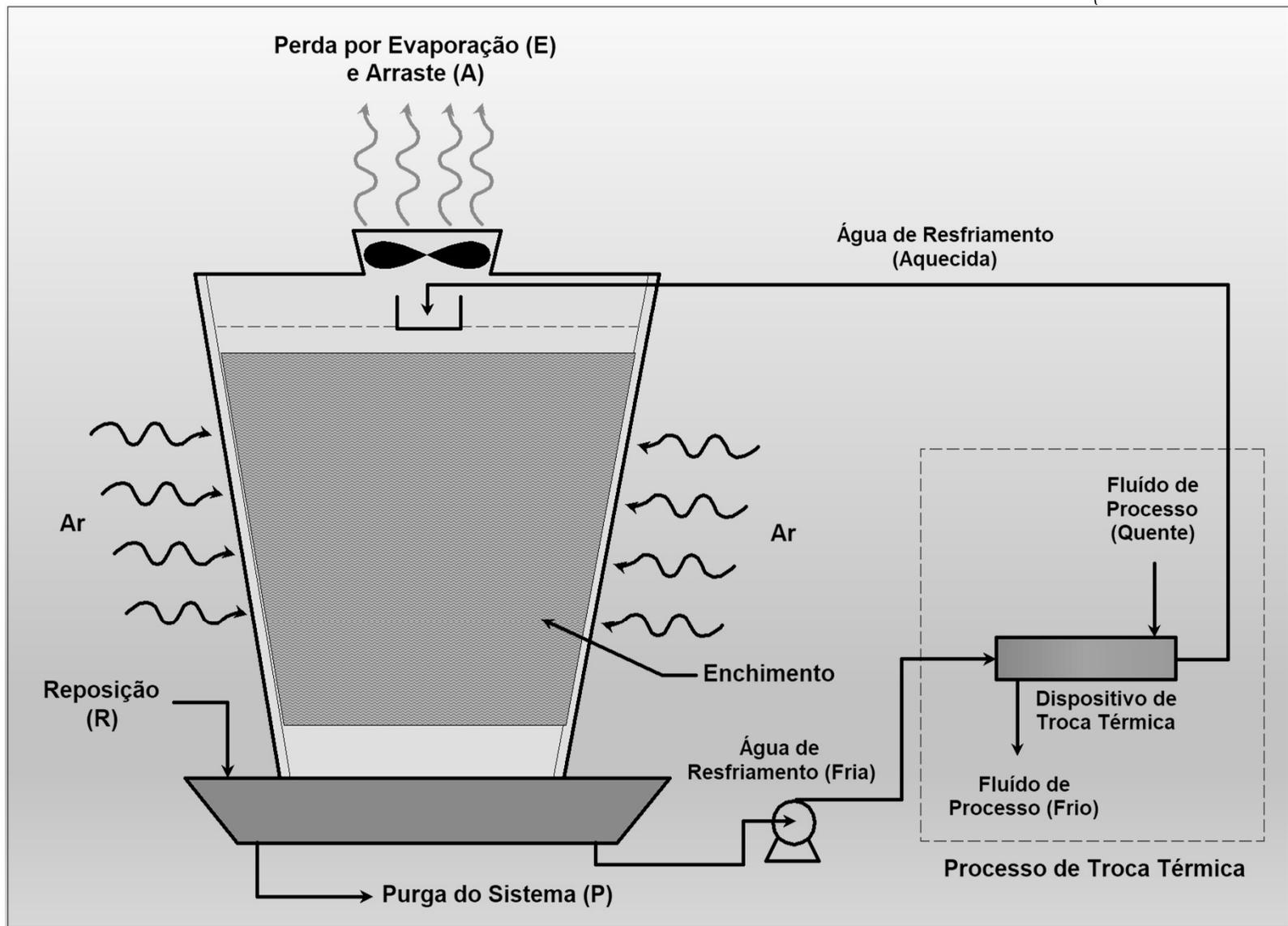
- Torres de resfriamento são dimensionadas com base na carga térmica que se deseja remover de um sistema ou processo, utilizando-se água para esta finalidade;
- É uma unidade amplamente utilizada em atividades industriais e empreendimentos comerciais;
- Geralmente, é o sistema que mais consome água em um empreendimento.

1) Uma empresa opera uma torre de resfriamento nas seguintes condições:

- Variação de temperatura da água = 5,0 °C
- Vazão de reposição = 500 m<sup>3</sup>/h
- Ciclos de concentração = 10
- Concentração de SDT na reposição = 100 mg/L
- Arraste = 0,08 % da vazão de recirculação

Para estas condições pede-se:

- a) A vazão de recirculação de água na torre;
- b) A quantidade de água evaporada (entalpia de evaporação = 581,5 kcal/kg);
- c) A vazão de purga e a concentração de SDT presente;
- d) A concentração máxima de SDT na água de circulação.



**Representação de um Sistema de Resfriamento Semi-aberto**