

# 107484 – Controle de Processos

Aula: Introdução ao controle de processos

Prof. Eduardo Stockler Tognetti

Departamento de Engenharia Elétrica  
Universidade de Brasília – UnB



1º Semestre 2015

- 1 Introdução
- 2 Elementos de controle
- 3 Configurações de controle

## Processo

Conversão de um material de entrada num produto por meio de operações químicas e físicas.

## Controle de processos

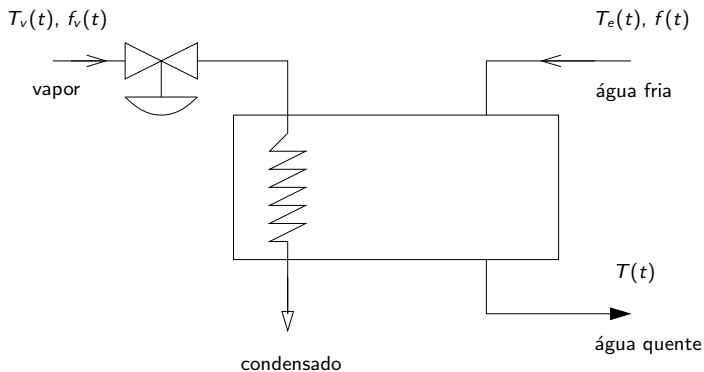
Manutenção de variáveis de processo (pressão, temperatura, fluxo, pH, composição etc) em algum valor operacional desejado.



# Trocador de Calor

● **Problema:** Considere o problema de controle de temperatura de um trocador de calor tendo como fonte de energia o calor latente da condensação do vapor ▶ Figura

● **Objetivo:** Aquecer fluido que entra a uma temperatura  $T_e(t)$  até uma temperatura desejada  $T_r(t)$



- 1 Introdução
- 2 Elementos de controle
- 3 Configurações de controle

## Elementos de medição (simbologia de medição de temperatura)

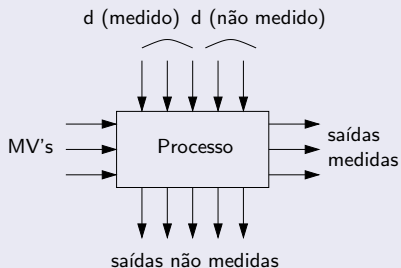
- **Sensor (elemento primário):**  $\text{TE}$  converte a variável de processo em uma forma mensurável; montado diretamente junto ao processo. Exemplo: termopar, termístores etc.
- **Transmissor (elemento secundário):**  $\text{TT}$  converte o valor da variável medida em um sinal eletrônico ou pneumático padrão adequado à transmissão ao controlador ou indicador.
- **Conversor:**  $\text{TY}$  dispositivo que converte um sinal em outro tipo de sinal; normalmente instalado entre o sensor/ transmissor e o controlador/ indicador ou entre o controlador e o elemento final de controle. Exemplo: conversor de corrente (4 – 20mA) para tensão (0 – 10V), conversor elétrico-pneumático P/I ou I/P (4 – 20mA para 3 – 15psi)
- **Transdutor:** transforma uma forma de energia em outra; muitos são classificados como sensores. Exemplo: termopar (converte temperatura em tensão)

## Elementos de controle e atuação (simbologia de controle de temperatura)

- **Controlador:** (TC) ou (TIC) instrumento cuja saída é modificada para regular uma **variável controlada**. Pode ser elétrico ou pneumático, analógico ou digital
- **Elemento final de controle:** (TV) instrumento que atua diretamente no processo manipulando uma variável conveniente (**variável manipulada**) em função do sinal de comando recebido. Em processos contínuos, normalmente é uma válvula de controle mas pode ser bombas de velocidade variável, motores elétricos, aquecedores elétricos etc
- **Atuador:** Parte do elemento final de controle que recebe o sinal de acionamento; pode ser elétricos, pneumáticos ou hidráulicos.

## Classificação de variáveis de processo

- **Variáveis de entrada:**
  - Variáveis manipuladas (MV)
  - Distúrbios (d)
- **Variáveis de saída:**
  - Variáveis medidas ou não medidas
  - Variáveis controladas (CV) ou não controladas





# Elementos do controle automático

- **Variável controlada (CV, do inglês *controlled variable*):** variável que deve ser mantida ou controlada em determinado valor desejado. Pode ser medida ou calculada (inferência). O termo variável de processo (PV, do inglês *process variable*) também pode ser empregado.
- **Referência ou ponto fixo (SP, do inglês *set-point*):** valor desejado da CV.
- **Variável manipulada (MV, do inglês *manipulated variable*):** variável cujo valor é ajustado por um operador humano ou controlador automático para manter a CV em seu SP.
- **Variável de distúrbio:** Qualquer variável cujo valor não é resultado de um ajuste de um operador ou controlador que faça com que a CV se desvie de seu SP. Não são influenciáveis e podem ou não ser medidas. Também chamadas de **perturbação de carga ou de alimentação** (variável de entrada). Variações nas variáveis de saída não controladas que podem provocar perturbações no processo são chamadas de **distúrbios de demanda**.

## Objetivo do controle de processo

Propor algoritmos para ajustar a variável manipulada para manter a variável controlada em seu ponto fixo independentemente da ocorrência de distúrbios.

## Identifique as variáveis do trocador de calor

- **Variáveis de entrada:**

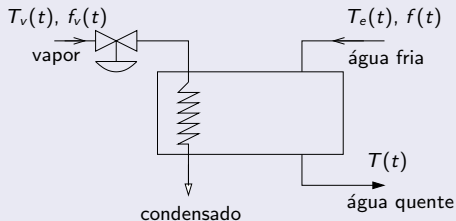
- Variáveis manipuladas
- Distúrbios

► Figura

- **Variáveis de saída:**

- Variáveis controladas
- Variáveis não controladas

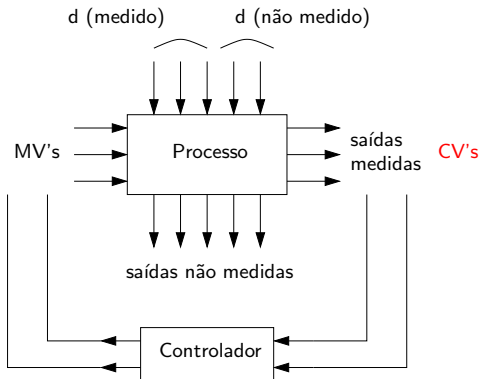
● **Variáveis medidas**  $\rightsquigarrow$  definem estratégia de controle



- 1 Introdução
- 2 Elementos de controle
- 3 Configurações de controle**

## Realimentação

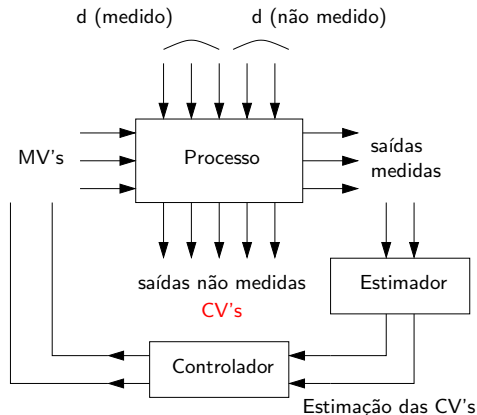
Usa as medidas diretas das variáveis de controle para ajustar as variáveis manipuladas.



## Inferencial

Usa medidas secundárias para ajustar as variáveis manipuladas pois as variáveis de controle não podem ser medidas.

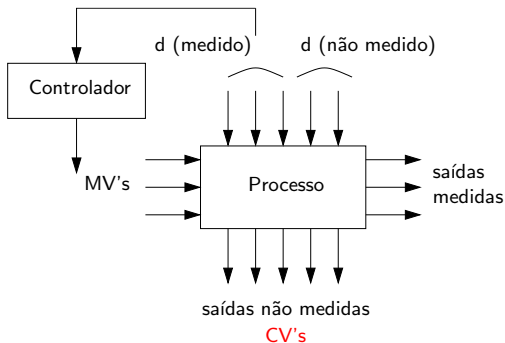
O estimador usa as variáveis medidas e as informações do modelo do processo para computar matematicamente (estimar) os valores das variáveis de controle.



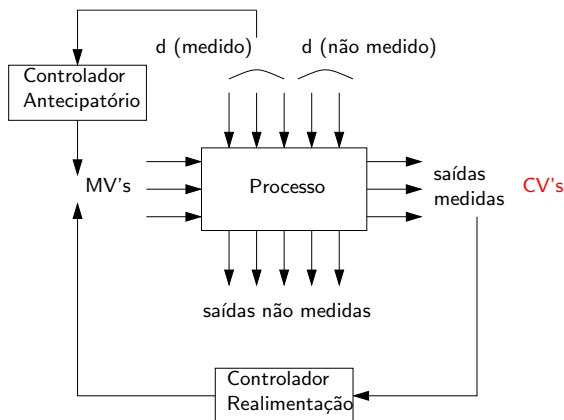
## Antecipatório

Usa as medidas dos distúrbios para ajustar as variáveis manipuladas de forma a antecipar o efeito das primeiras sobre as variáveis controladas por meio da informação do modelo matemático do processo.

Raramente esta estratégia é utilizada isoladamente devido aos erros de modelagem.



## Antecipatório e Realimentação



# Configurações de controle

- Configurações de controle para o trocador de calor:

- Modo 1  FB

- medir  $T(t)$
- comparar com valor desejado
- manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 2  PID

- Modo 3  PID



# Configurações de controle

- Configurações de controle para o trocador de calor:

- Modo 1  FB

- medir  $T(t)$ 
  - comparar com valor desejado
  - manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 2  PID

- Modo 3  PID

# Configurações de controle

- Configurações de controle para o trocador de calor:

- Modo 1 ▶ FB

- medir  $T(t)$
- comparar com valor desejado
- manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 2 ▶ FF

- medir  $T(t)$
- comparar com valor desejado
- manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 3 ▶ PID

# Configurações de controle

- Configurações de controle para o trocador de calor:

- Modo 1 ▶ FB

- medir  $T(t)$
- comparar com valor desejado
- manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 2 ▶ FF

- medir  $T(t)$
- comparar com valor desejado
- manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 3 ▶ PID

# Configurações de controle

- Configurações de controle para o trocador de calor:

- Modo 1 ▶ FB

- medir  $T(t)$
- comparar com valor desejado
- manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 2 ▶ FF

- medir  $T_i(t)$
- avaliar efeito na mudança de  $T(t)$
- manipular válvula de vapor para antecipar desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 3 ▶ PID

# Configurações de controle

- Configurações de controle para o trocador de calor:

- Modo 1 ▶ FB

- medir  $T(t)$
- comparar com valor desejado
- manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 2 ▶ FF

- medir  $T_i(t)$
- avaliar efeito na mudança de  $T(t)$
- manipular válvula de vapor para antecipar desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 3 ▶ PID

# Configurações de controle

- Configurações de controle para o trocador de calor:

- Modo 1 ▶ FB

- medir  $T(t)$
- comparar com valor desejado
- manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 2 ▶ FF

- medir  $T_i(t)$
- avaliar efeito na mudança de  $T(t)$
- manipular válvula de vapor para antecipar desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 3 ▶ FB-FF

# Configurações de controle

- Configurações de controle para o trocador de calor:

- Modo 1 ▶ FB

- medir  $T(t)$
- comparar com valor desejado
- manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

- Modo 2 ▶ FF

- medir  $T_i(t)$
- avaliar efeito na mudança de  $T(t)$
- manipular válvula de vapor para antecipar desvio  $\rightsquigarrow$  ação?

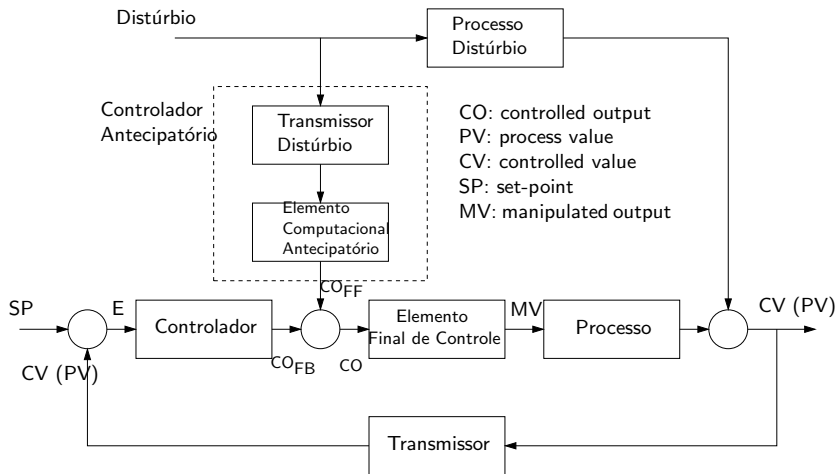
- Modo 3 ▶ FB-FF

# Configurações de controle

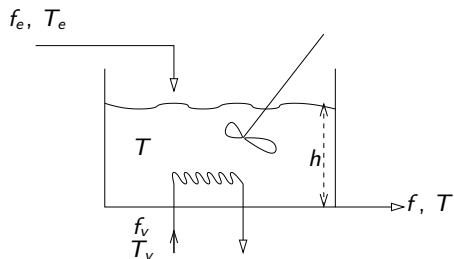
- Configurações de controle para o trocador de calor:
  - Modo 1 ▶ FB
    - medir  $T(t)$
    - comparar com valor desejado
    - manipular válvula de vapor para corrigir desvio  $\rightsquigarrow$  ação?
  - Modo 2 ▶ FF
    - medir  $T_i(t)$
    - avaliar efeito na mudança de  $T(t)$
    - manipular válvula de vapor para antecipar desvio  $\rightsquigarrow$  ação?
  - Modo 3 ▶ FB-FF



## Diagrama de blocos: Controle de Realimentação e Antecipatório



# Tanque aquecido com agitação



## Objetivos

- 1 Manter a temperatura do fluido de saída (efluente)  $T$  no valor desejado  $T_r$
- 2 Manter o nível do tanque  $h$  no valor desejado  $h_r$

TT, TIC, LT, LIC

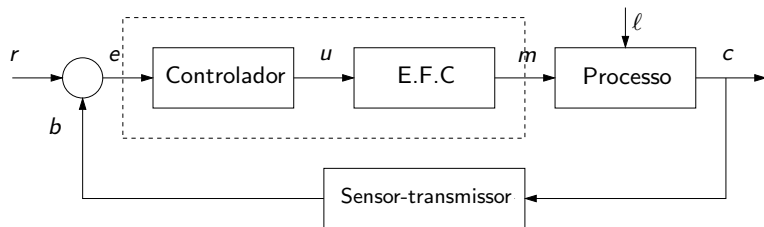
## Classificação de variáveis

- Variáveis de entrada  $\rightsquigarrow$  distúrbios, MV's ?
- Variáveis de saída  $\rightsquigarrow$  CV's ?
- Variáveis medidas e não medidas?

## Estratégias de controle

$\rightsquigarrow$  Propor possíveis estratégias para o controle de nível e de temperatura

# Ações direta e reversa dos elementos da malha



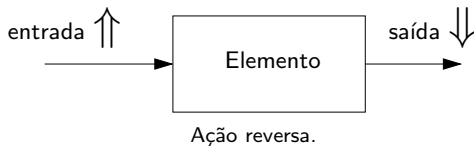
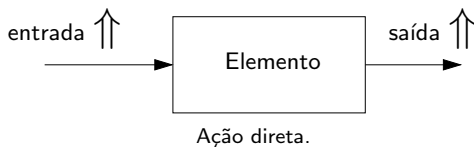
● Convenção: realimentação negativa:  $e = r - b$  e realimentação positiva:  $e = r + b \rightsquigarrow$  assumi-se todos os elementos com ação direta

## Realimentação negativa na prática

Número ímpar de elementos com **ação reversa** e os demais com **ação direta**:

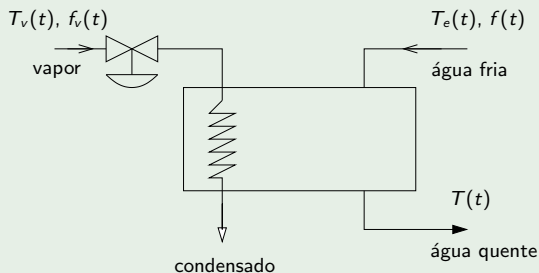
- 1 sensor-transmissor
- 2 controlador
- 3 elemento final de controle (E.F.C)
- 4 processo

# Ações direta e reversa dos elementos da malha



# Ações direta e reversa dos elementos da malha

## Trocador de calor



## Ações direta e reversa

• Processo

• Sensor de temperatura

TT

• Válvula de controle

TV

• Controlador

TC