



1

# Malhas de Controle

Profª Ninoska Bojorge

Departamento de Engenharia Química e de Petróleo – UFF

## Controle de Processos

2

Os processos industriais são operados em condições dinâmicas...

- resultantes de constantes perturbações no sistema
- ou causadas por mudanças propositais no ponto de operação para atender à programação da produção

Esta dinâmica é modificada (compensada) por ação de **MALHAS DE CONTROLE**, para manter a estabilidade da operação e atender às especificações de processo.

## Necessidades da automatização na planta

3

O sistema de controle se implanta principalmente para levar a cabo de forma automática as seguintes tarefas:

- **Processos contínuos:** regulação de uma variável (manter uma variável em um valor de referencia ou set-point).

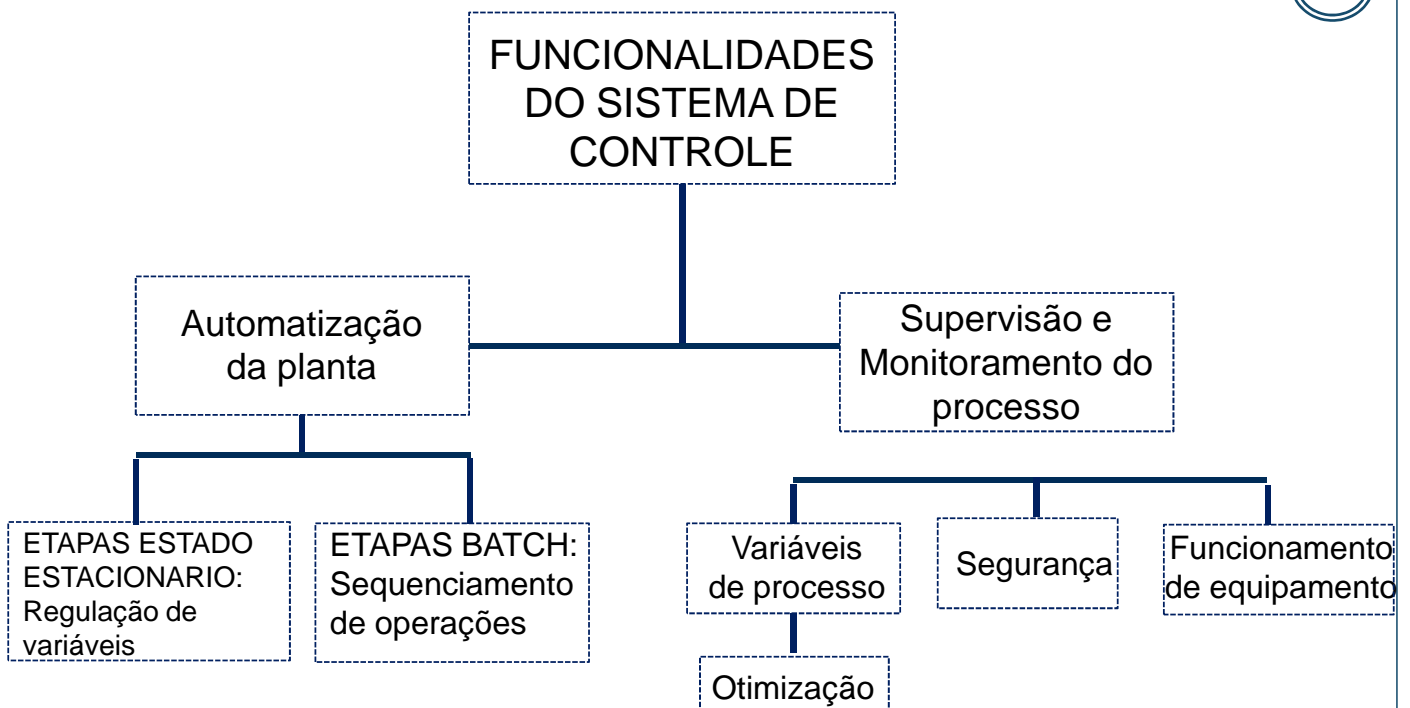
Não obstante, em alguns casos, pela complicação do processo, não se pode regular uma variável de forma totalmente automatizada. Em tais situações o controle se faz mediante aviso com alarmes e intervenção direta do operário, como ocorre em algumas malhas de controle (p. ex. obtenção de CO<sub>2</sub> em fornos de decomposição da pedra calcária).

- **Processos descontínuos:** regulação de uma variável e sequenciamento de operações.

Alguns processos funcionam seguindo uma sequencia de operações programáveis, que se leva a cabo mediante sinais de entrada desde o processo e ordens desde a unidade de controle.

## Funcionalidade do Controle de Processo

4



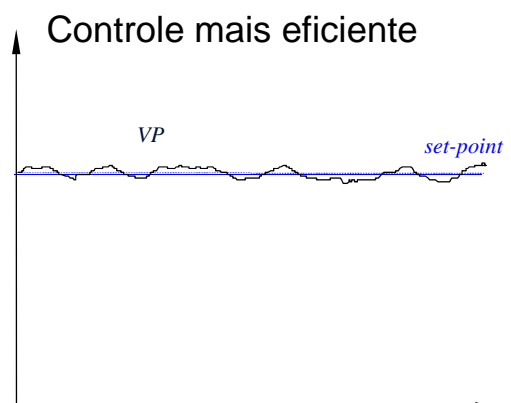
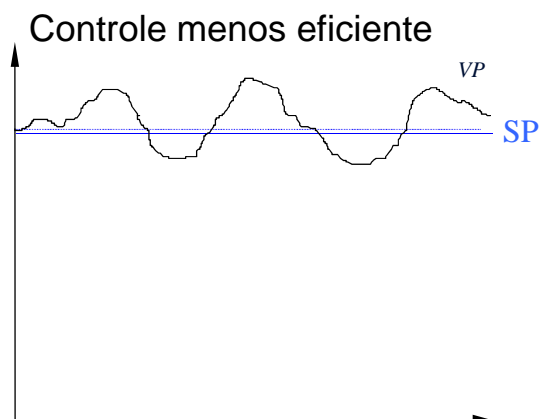
### Objetivos de um sistema de controle

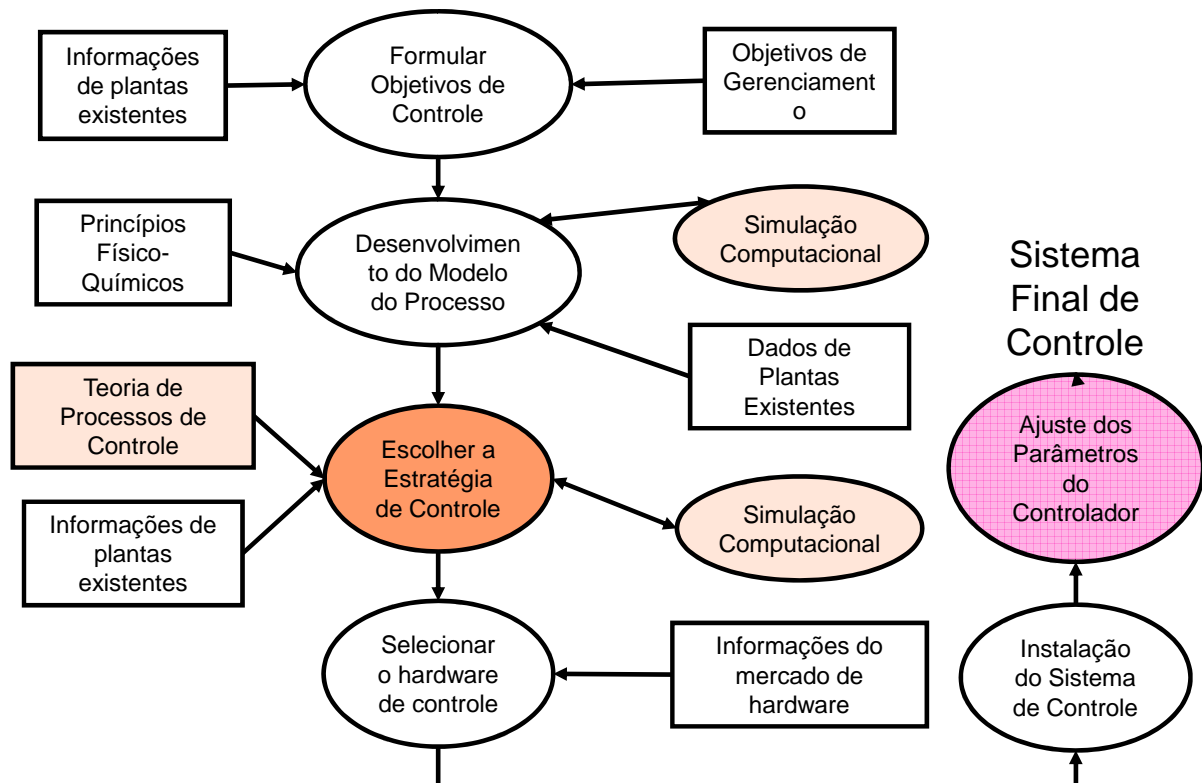
- Suprimir a influência de perturbações externas
- Garantir a estabilidade do processo
- Otimizar o desempenho de um processo

## Eficiência do Sistema de Controle

Com um controle mais eficiente tem-se:

- um menor desvio padrão na saída
- uma maior proximidade entre o set-point e a variável de processo
- uma maior otimização do sistema





Fonte: Chemtech

## Definições:

### INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

Conjunto de instrumentos que permitem fazer o controle do processo.

São instrumentos capazes de emitir e receber sinais.

### ESTRATÉGIA DE CONTROLE

Filosofia básica de controle.

Define os instrumentos e a disposição física destes ao longo da planta.

## Malha de Controle

9

### MALHA DE CONTROLE

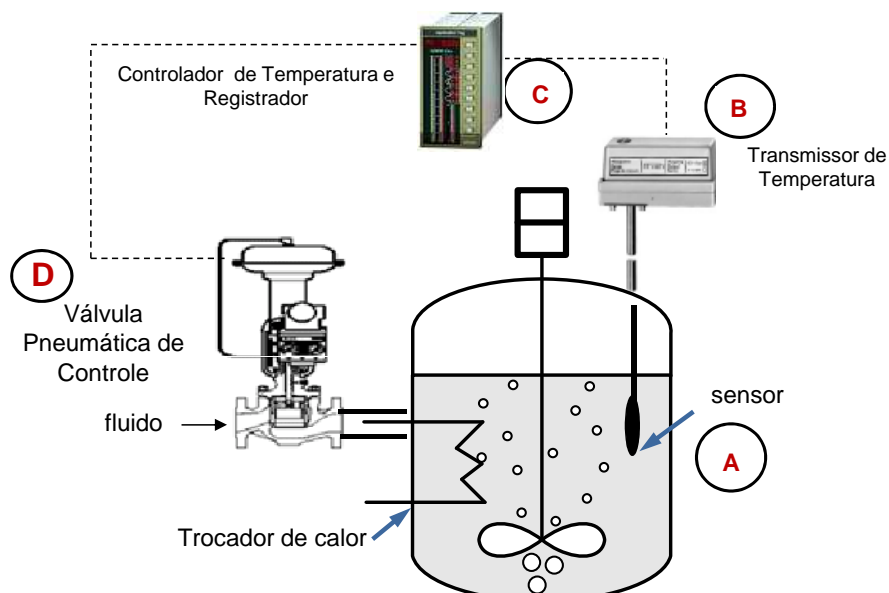
Representação prática da estratégia de controle. Composta por:

- 1) Processo
- 2) Instrumentos de Medição:  
Informam de modo contínuo os valores das variáveis de processo.
- 3) Instrumentos de Controle  
Fazem a tomada de decisão e ação de atuação sobre o processo.
- 4) Instrumentos de Atuação  
Permitem implementar a ação de correção.

## Malha de Controle

10

O TT fornece o sinal (PV), que representa o estado do processo sendo controlado. Os TIC compara o PV com o SP e abre e fecha o EFC para manter o processo estável.

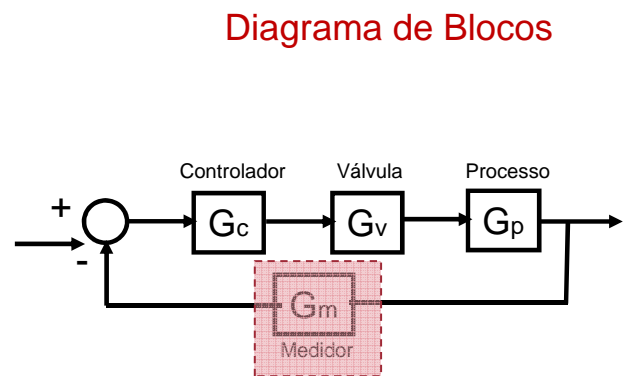
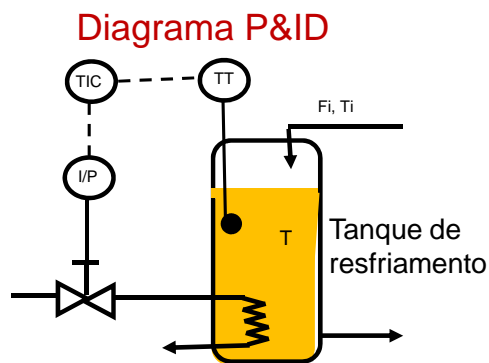


### DIAGRAMA P&ID

Representação gráfica do fluxograma de processo simplificado acrescido do fluxograma de instrumentação.

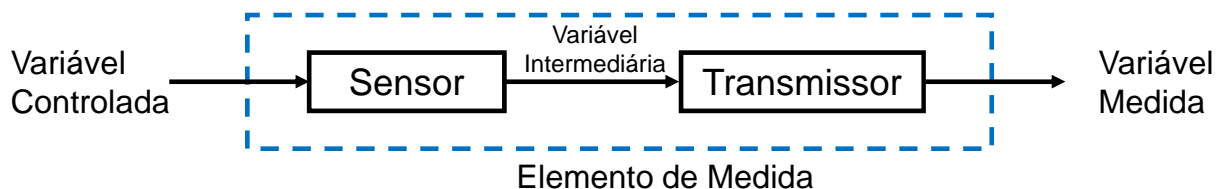
### DIAGRAMA DE BLOCOS

Representação gráfica em forma de blocos dos sinais emitidos pelos elementos da malha de controle.



## Instrumentos de Medição e Transmissão

A maior parte dos instrumentos pode ser dividida em:



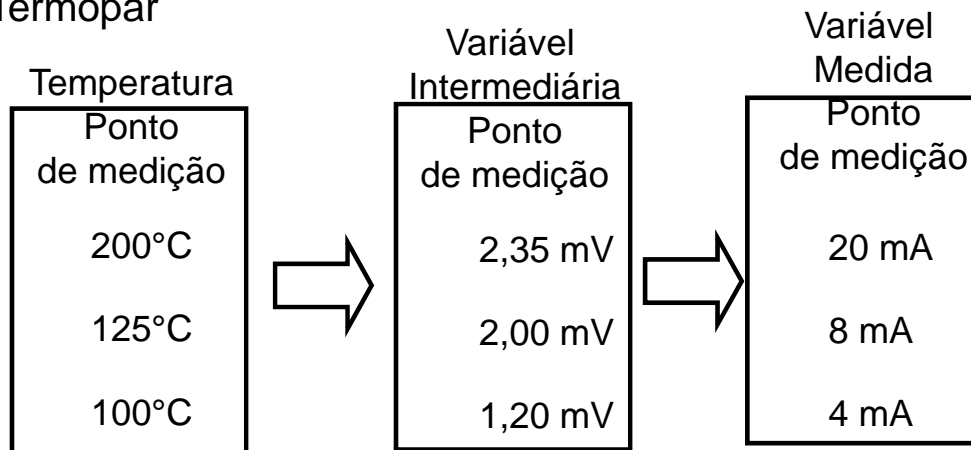
**SENSOR:** Definido pelo tipo e princípio de medição envolvido

**TRANSMISSOR:** Transmite o sinal de grandeza física em sinal padrão.

## TIPOS DE SINAL

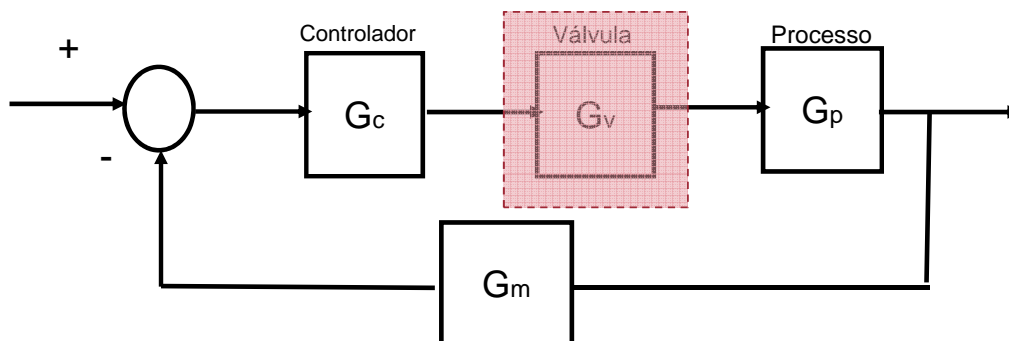
- Pneumático: 3 a 15 psi
- Eletrônico (analógico): 4 a 20 mA
- Fieldbus (digital)

Exemplo: Termopar



## Elemento Final de Controle

Diagrama de Blocos – Malha de controle realimentada



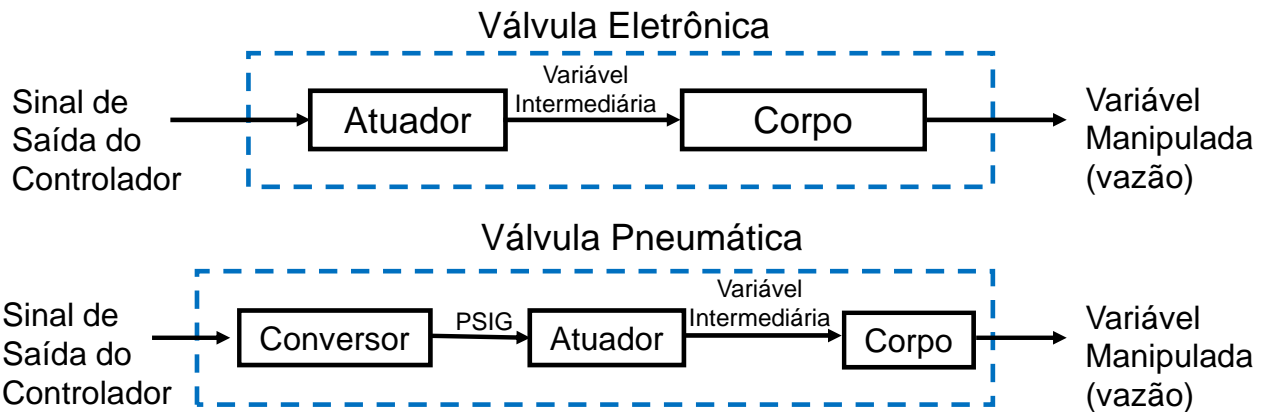
## Elemento Final de Controle

15

- Motores;
- Termoresistores;
- **Válvulas de controle;** etc.

As válvulas de Controle podem ser eletrônicas ou pneumáticas (95%).

### COMPONENTES PRINCIPAIS



## Elemento Final de Controle

16

### COMPONENTES PRINCIPAIS

#### A) CONVERSOR

Converte o sinal elétrico em sinal de pressão (4-20 mA → 3-15 psi).

#### B) ATUADOR

Recebe sinal do controlador ou conversor e aciona a haste da válvula.

#### C) CORPO

Composto pelas partes internas diretamente ligada ao processo.



### AÇÃO DAS VÁLVULAS DE CONTROLE

A escolha da ação das válvulas é de fundamental importância para a segurança do processo e para a escolha dos parâmetros do controlador.

#### A) AR PARA ABRIR

Também chamada de ação direta ou falha fecha. Quanto maior o sinal, maior a abertura da válvula.

#### B) AR PARA FECHAR

Também chamada de ação reversa ou falha abre. Quanto menor o sinal, maior a abertura da válvula.

### Air-to-Open vs. Air-to-Close Control Valves

#### AR PARA ABRIR (A.A.) OU FALHA FECHA (F.F.)

Com o aumento da pressão de ar na cabeça da válvula, a haste do atuador desloca-se de baixo para cima, provocando a abertura da válvula.

Com a diminuição da pressão do ar, a haste se deslocará de cima para baixo até provocar o assentamento do obturador na sede, fechando a válvula.



**VÁLVULA DE AÇÃO REVERSA ( $K_v > 0$ )**

#### AR PARA FECHAR (A.F.) OU FALHA ABRE (F.A.)

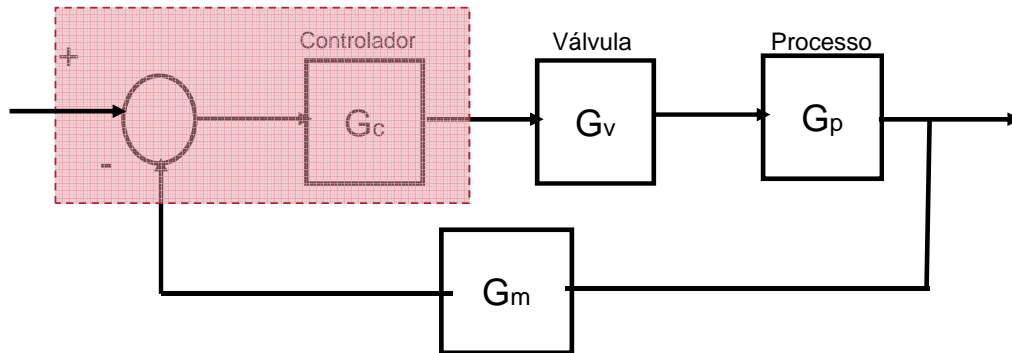
Com o aumento da pressão de ar na cabeça da válvula, a haste do atuador desloca-se de cima para baixo até provocar o assentamento do obturador na sede, fechando a válvula.

Com a diminuição da pressão do ar, a haste se deslocará de baixo para cima, abrindo a válvula.



**VÁLVULA DE AÇÃO DIRETA ( $K_v < 0$ )**

## Diagrama de Blocos – Malha de controle realimentada



## CONTROLADORES

Equipamentos responsáveis pela tomada de decisão de corrigir os desvios que ocorrem na variável controlada.

## TIPOS DE CONTROLADORES

### A) Contínuos:

Continuamente recebem o sinal, tomam decisão e enviam o sinal.

### B) Descontínuos:

Trabalham com sinais discretos. Ex: Controlador lógico programável (CLP).

## CONTROLADORES CONTÍNUOS

Executam duas funções:

### A) COMPARAÇÃO

Comparam os valores das variáveis medidas com o valor do *set-point*.

### B) CORREÇÃO

Calcula a modificação que deve ser feita à variável manipulada de modo a controlar o processo.

## POSIÇÃO DOS CONTROLADORES

### A) MANUAL

Saída de controle é independente do modo de controle.

### B) AUTOMÁTICO

Saída de controle é função do modo de controle (não há interferência direta do operador).

## AÇÃO DOS CONTROLADORES

Está diretamente ligada à ação dos elementos finais de controle (e não o contrário).

### A) AÇÃO DIRETA ( $K_c < 0$ )

Para um **aumento** na variável medida o controlador **umenta** o sinal de saída.

### B) AÇÃO REVERSA ( $K_c > 0$ )

Para um **aumento** na variável medida o controlador **reduz** o sinal de saída.

Suponhamos um processo térmico, no qual fixa-se a  $T_{sp}^0$  em  $50^\circ\text{C}$ , de modo que pode verificar-se que o erro é negativo para valores superiores a  $50^\circ\text{C}$ , ou seja:

$$T_{\text{set-point}} = 50^\circ\text{C}$$

- $e > 0$  se a  $T_{\text{fluido}} < 50^\circ\text{C}$

$$\text{Ex: para } T = 45^\circ\text{C} \Rightarrow e = 50 - 45 = +5^\circ\text{C}$$

- $e < 0$  se a  $T_{\text{fluido}} > 50^\circ\text{C}$

$$\text{Ex: para } T = 55^\circ\text{C} \Rightarrow e = 50 - 55 = -5^\circ\text{C}$$

No entanto, como a válvula é de ar para fechar, o sinal de controle para valores de erro negativos, ou seja para valores acima de  $T = 50^\circ\text{C}$  (set-point). Como os valores de erro e ação de controle estão a variar em forma reversa, diz-se que o controlador está com **AÇÃO REVERSA**

### AÇÃO REVERSA

O controle de  $T^0$  é um exemplo típico de controle com ação reversa (Em inglês, “Reverse Action”).

Quando os sinais de erro e de ação de controle funcionam de forma direta, diz-se que o controlador funciona com **AÇÃO DIRETA** (“Direct Action”).

Dica chave:

O produto geral de todos os ganhos de todos os componentes da malha de controle feedback deve ser positivo.

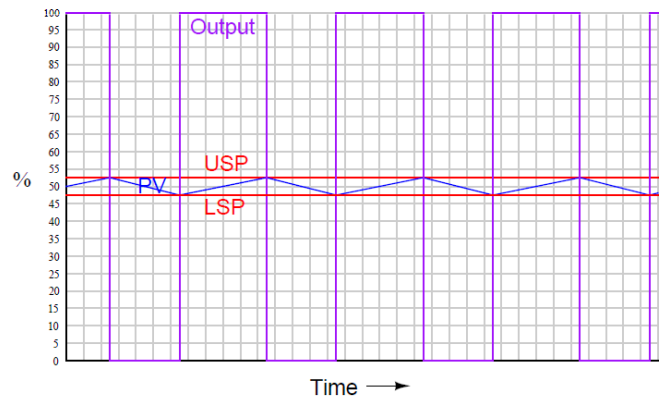
$K_c$	$K_v$	$K_p$	$K_m$
+	+	+	+
-	-	+	+

$K_c$  e  $K_v$  : devem ter o mesmo sinal

## A) DUAS POSIÇÕES (ON-OFF)

Exige que a válvula seja posicionada em algum ponto entre totalmente fechada e totalmente aberta.

Quase sempre presente em malhas de controle já que constitui um importante método de intertravamento do processo garantindo a segurança da operação.



# Estratégia de Controle Convencional

## B) CONTROLE PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)

É o mais completo dos modos de controle convencionais pois soma as características dos três modos básicos

Descrito na forma paralela como:

$$E(t) = SP(t) - VM(t)$$

$$CO(t) = K_C E(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t E(t) dt + \tau_D \frac{dE(t)}{dt}$$

E na forma não-interativa como:

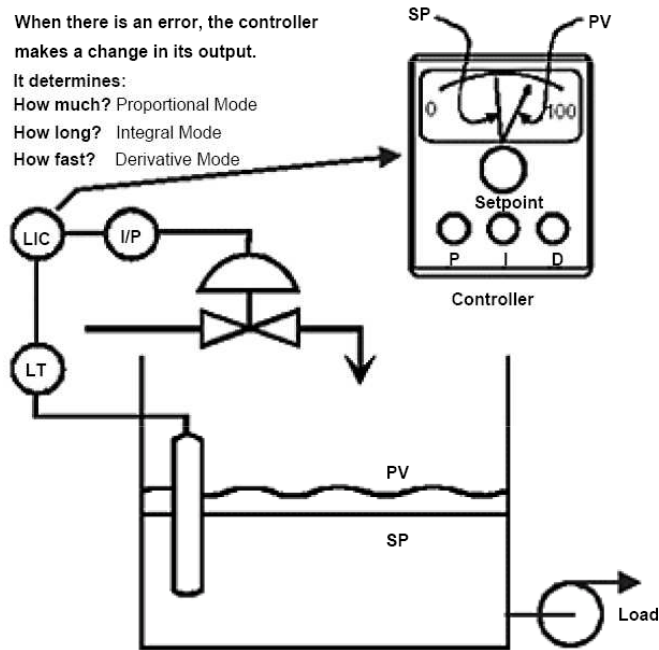
$$E(t) = SP(t) - VM(t)$$

$$CO(t) = K_C \left( E(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t E(t) dt + \tau_D \frac{dE(t)}{dt} \right)$$

# Estratégia de Controle Convencional

29

## B) CONTROLE PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)



# Estratégia de Controle Convencional

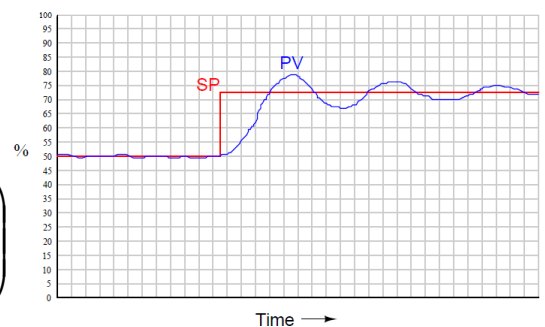
30

## B) CONTROLE PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)

São os modos de controle convencionais mais completo, pois soma as características dos três modos básicos (P + I + D)

- Função de Transferência do controlador PID

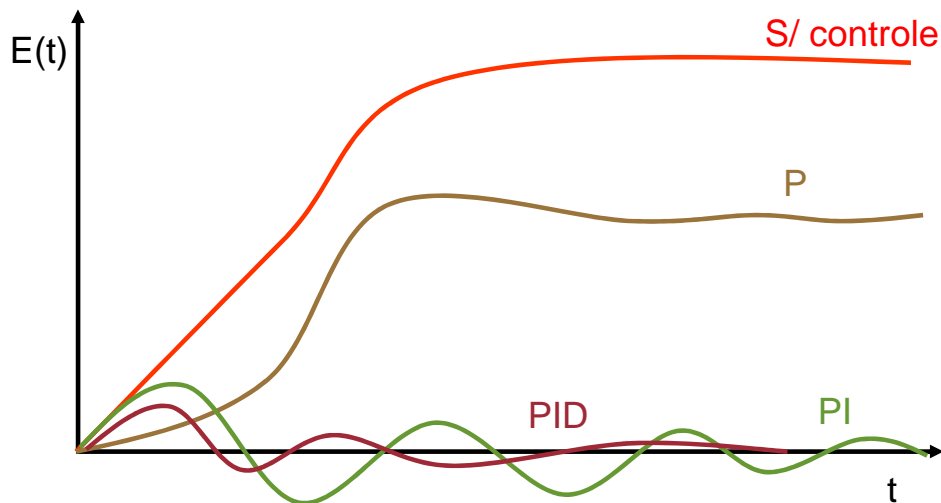
$$G_{PID}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_c \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$



- O três termos de sinais do controle

$$U(s) = K_c E(s) + K_i \frac{1}{s} E(s) + K_d s E(s)$$

### COMPARAÇÃO ENTRE OS MODOS DE CONTROLE



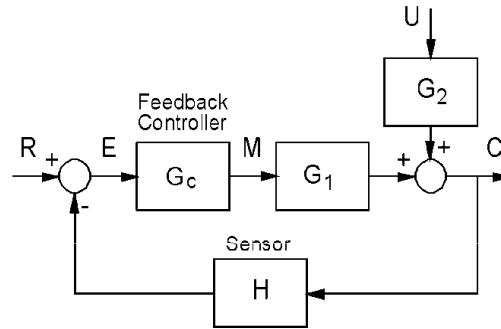
## Estratégia de Controle

### RESUMINDO

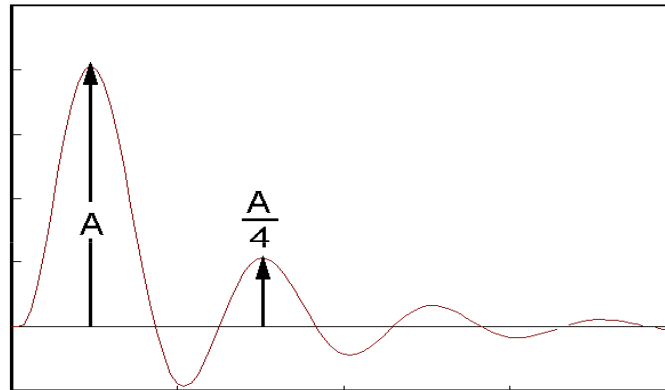
- **Controle proporcional:** acelera a resposta de um processo controlado; produz *off-set*
- **Controle integral:** elimina *off-set*; produz respostas lentas, com longas oscilações; se o ganho proporcional é aumentado para acelerar a resposta, o sistema se torna mais oscilatório e tende à instabilidade
- **Controle derivativo:** antecipa futuros erros e introduz a ação apropriada; introduz efeito estabilizante na resposta da malha de controle



## Sintonia de 1/4 pelo ganho último



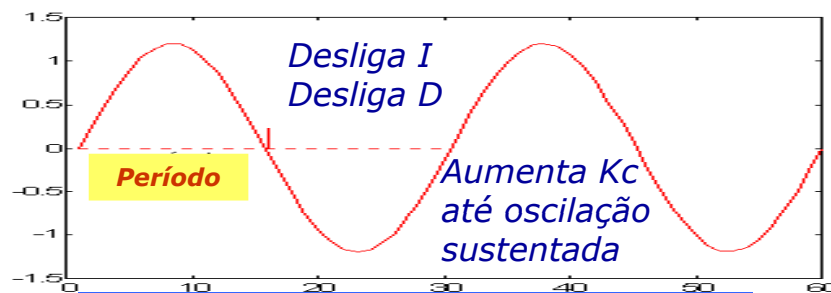
**Resposta**



**Tempo**

33

## Sintonia de 1/4 pelo ganho último



$$G_c(t) = \text{Bias} + K_c \left\{ E(t) \frac{1}{\tau_I} \int_0^t E(t') dt' + \tau_D \frac{dE(t)}{dt} \right\}$$

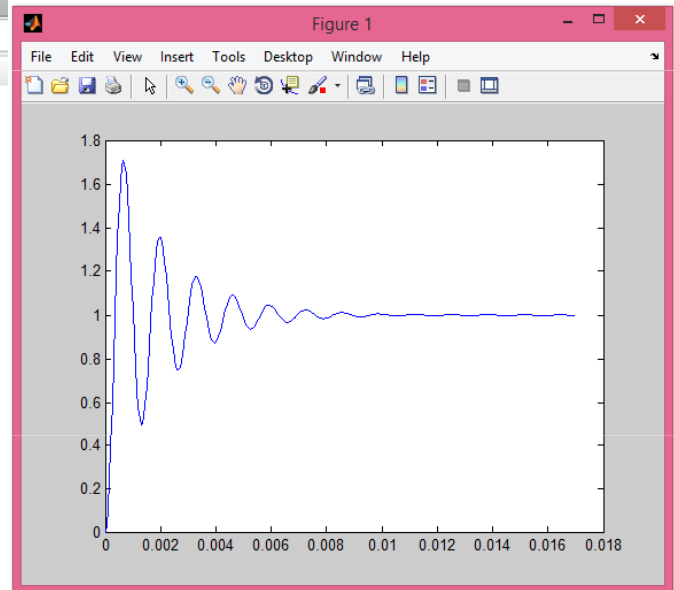
	$K_c$	$t_I$	$t_D$
<b>P control</b>	$K_u / 2$		
<b>PI control</b>	$K_u / 2.2$	$P_u / 1.2$	
<b>PID control</b>	$K_u / 1.7$	$P_u / 2$	$P_u / 8$

34

### Exemplo de Simulação do Desempenho do Controle no Matlab

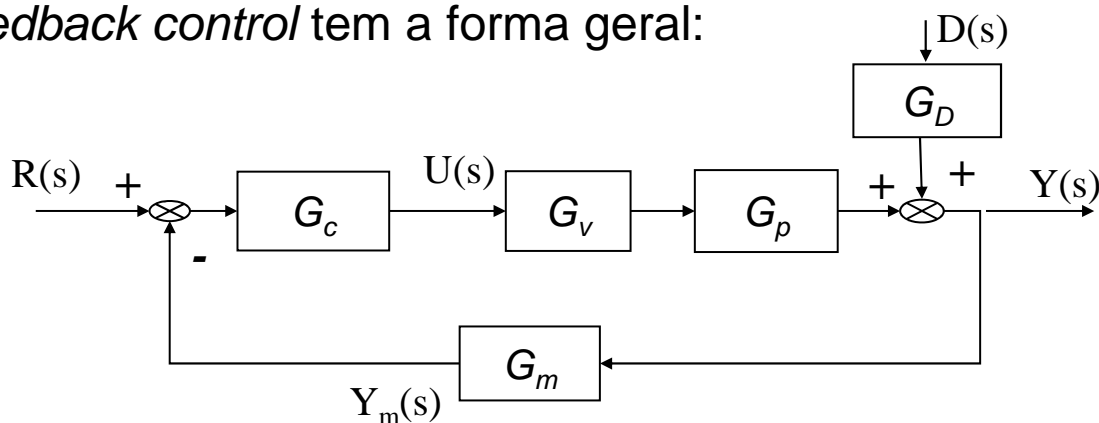
```

VARIABLE CODE ENVIRONMENT
cuments MATLAB
Command Window
>> t=0:0.00005:0.017;
K_cr=12.28; P_cr=135;
K=0.075*K_cr*P_cr; a=4/P_cr;
num1=K*[1 2*a a^2]; den1=[0 1 0];
tf1=tf(num1,den1);
num2=[0 0 0 0.1464];
den2=[7.89e-007 8.25e-004 0.00172 0];
tf2=tf(num2,den2);
tf3=tf1*tf2;
sys=feedback(tf3,1);
y=step(sys,t); m=max(y);
plot(t,y)
fx >>
    
```



## Controle Realimentado

*Feedback control* tem a forma geral:



- Características do Controle Feedback
  - Saída o processo deve ser alterada antes que qualquer ação seja tomada
  - Perturbações são apenas compensadas depois que afetam o processo