



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).

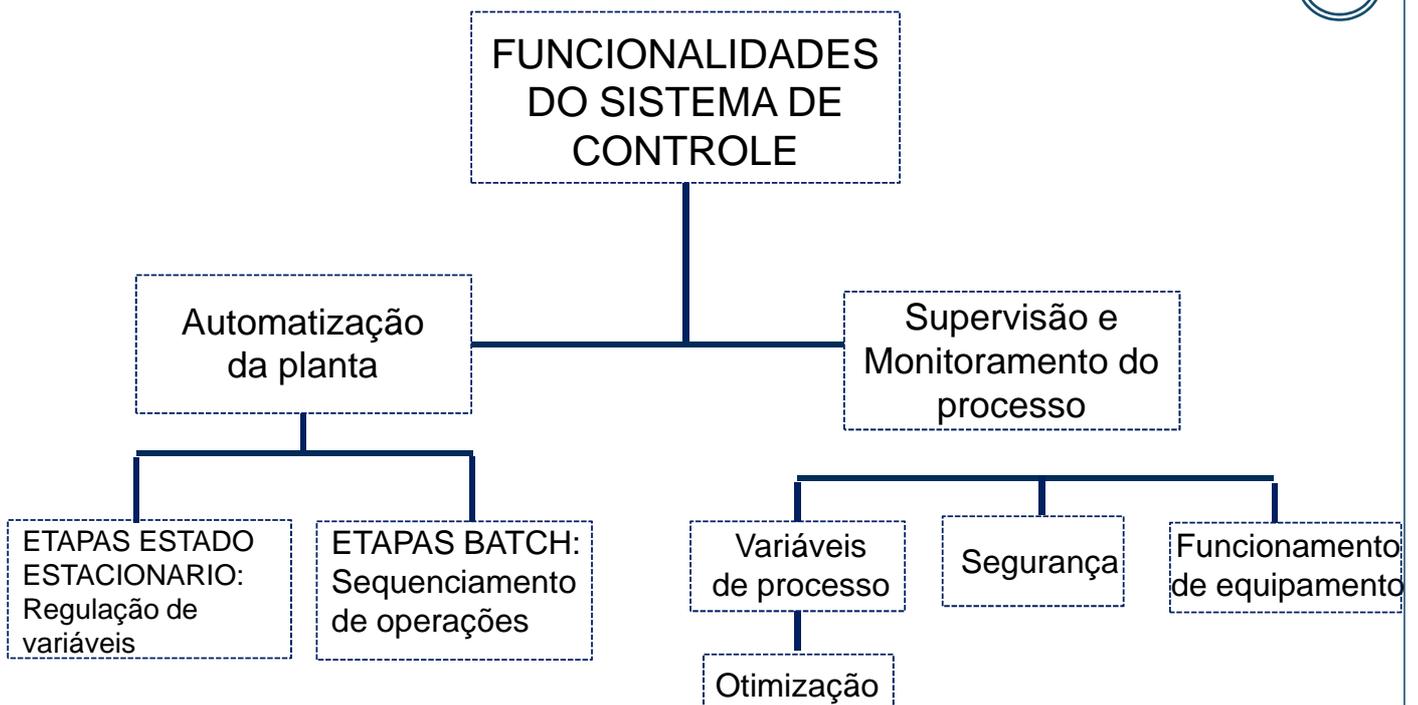
Não obstante, em alguns casos, pela complicação do processo, não se pode regular uma variável de forma totalmente automatizada. Em tais situações o controle se faz mediante aviso com alarmes e intervenção direta do operário, como ocorre em algumas malhas de controle (p. ex. obtenção de CO₂ em fornos 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



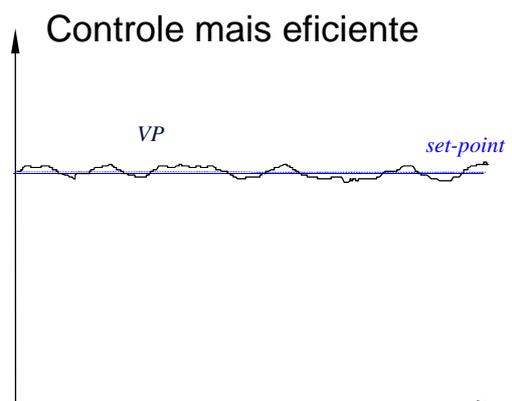
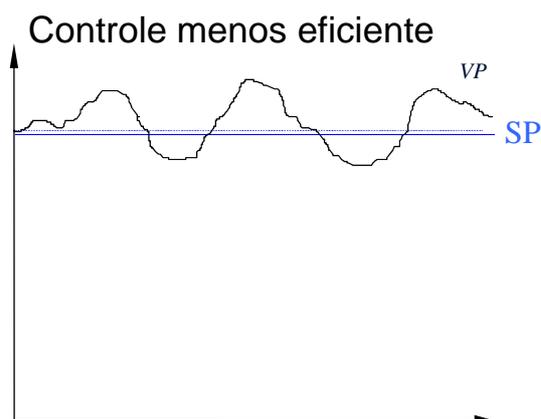
Objetivos de um sistema de controle

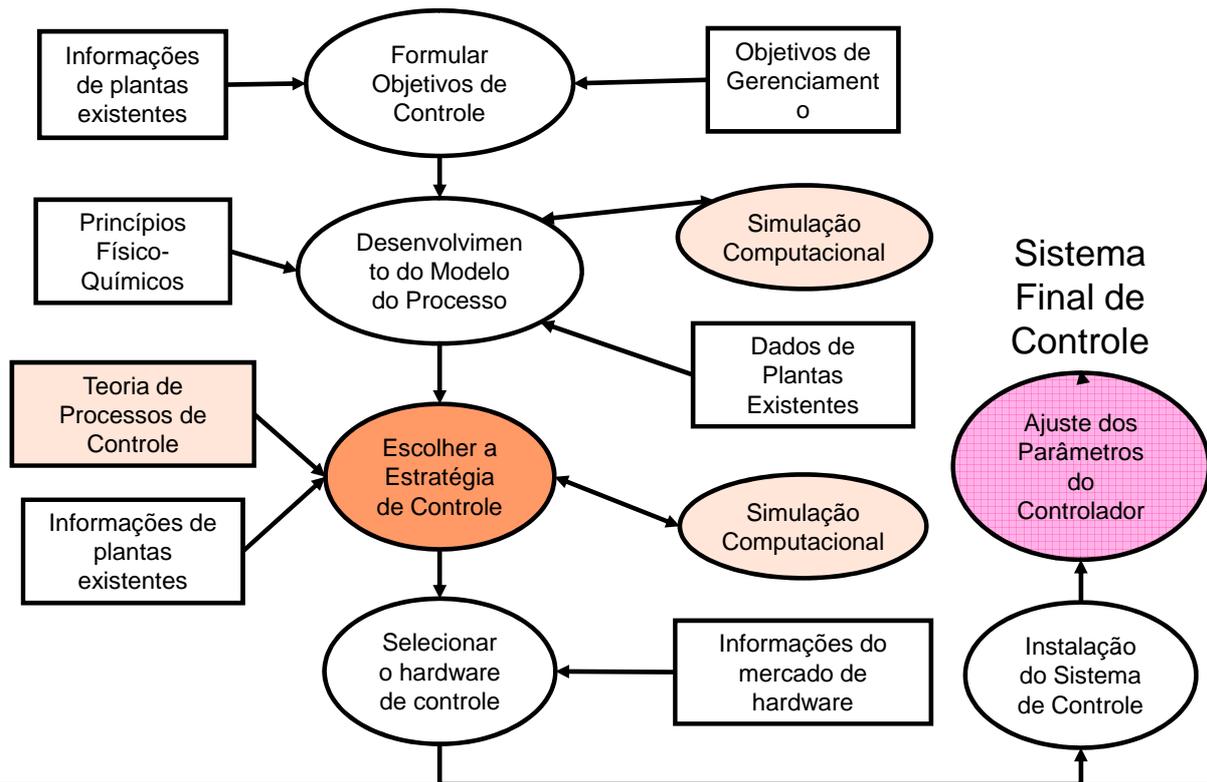
- Suprimir a influência de perturbações externas
- Garantir a estabilidade do processo
- Otimizar o desempenho de um processo

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.

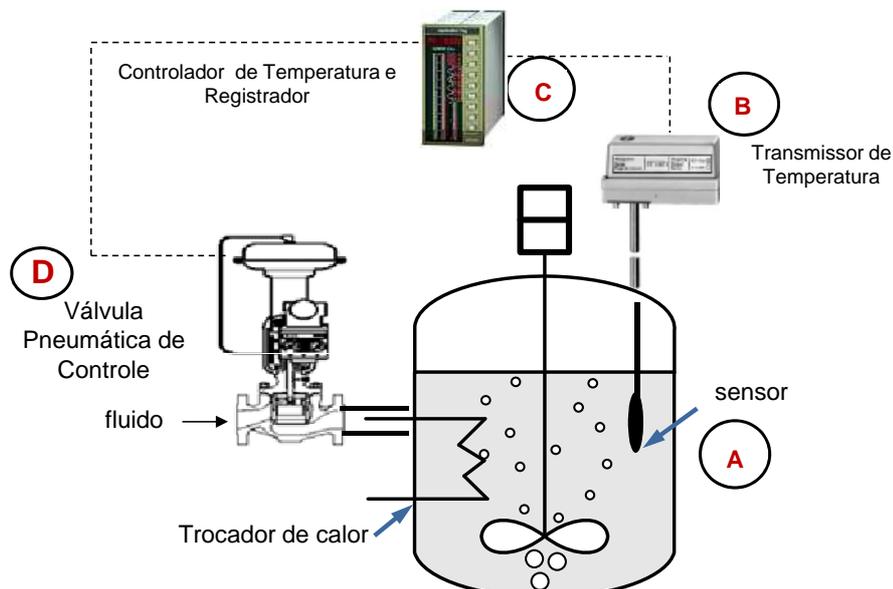
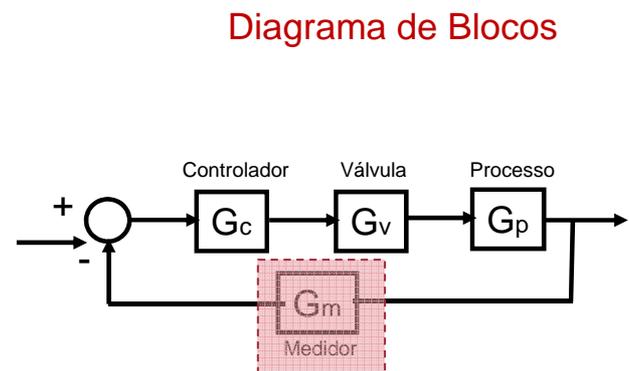
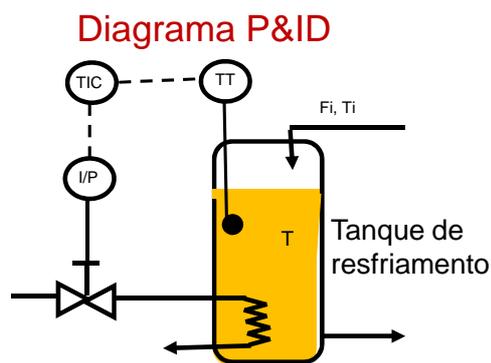


DIAGRAMA P&ID

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

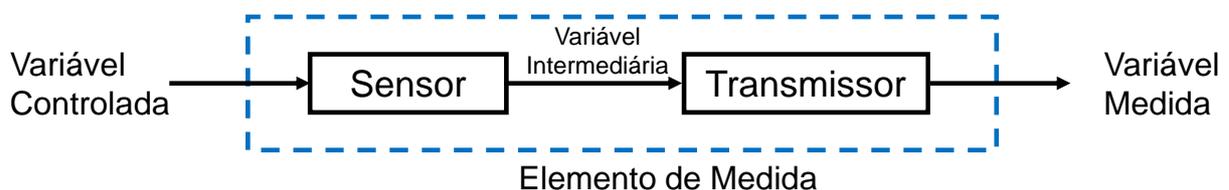
DIAGRAMA DE BLOCOS

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:



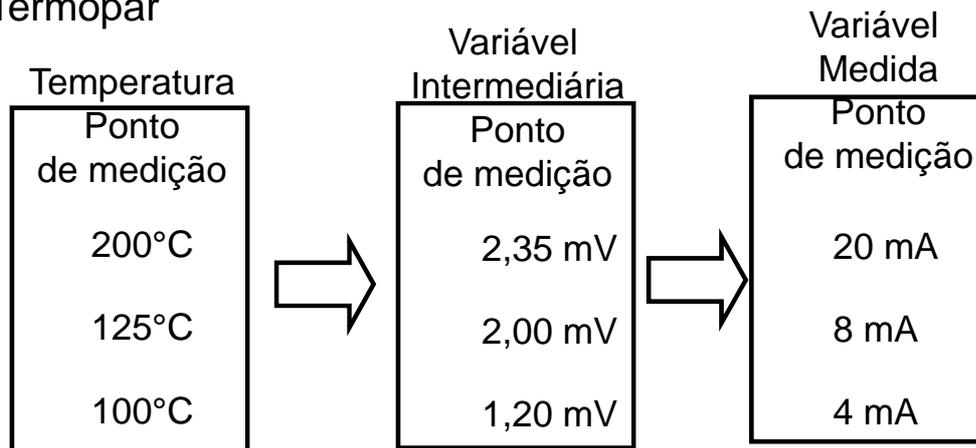
SENSOR: Definido pelo tipo e princípio de medição envolvido

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

TIPOS DE SINAL

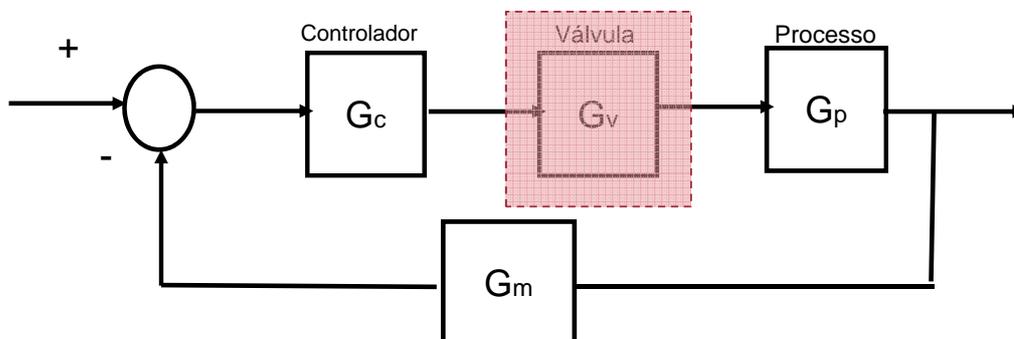
- Pneumático: 3 a 15 psi
- Eletrônico (analógico): 4 a 20 mA
- Fieldbus (digital)

Exemplo: Termopar



Elemento Final de Controle

Diagrama de Blocos – Malha de controle realimentada



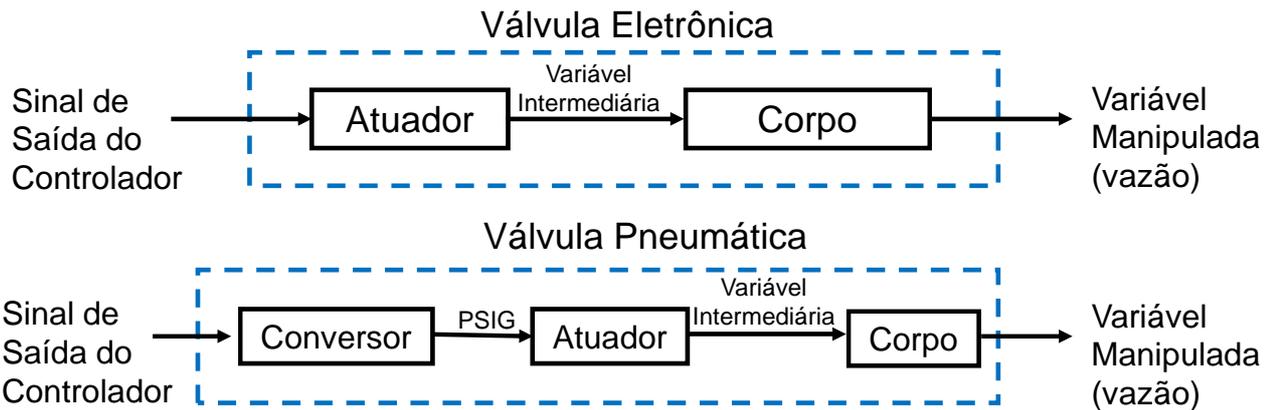
Elemento Final de Controle

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.)

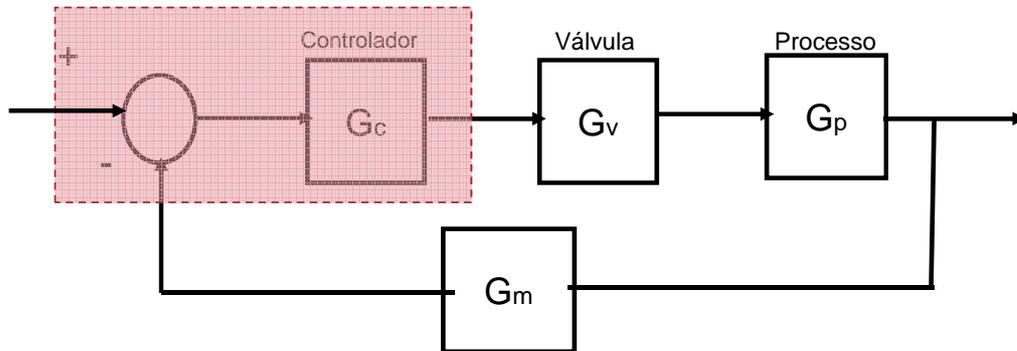
Com o aumento da pressão de ar na cabeça da válvula, a haste do atuador desloca-se de cima para baixo até provocar o assentamento do obturador na sede, fechando a válvula.

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°C , de modo que pode verificar-se que o erro é negativo para valores superiores a 50°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.

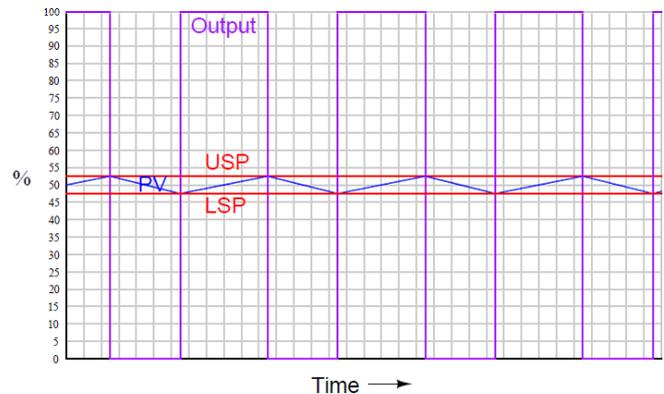
K_c	K_v	K_p	K_m
+	+	+	+
-	-	+	+

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:

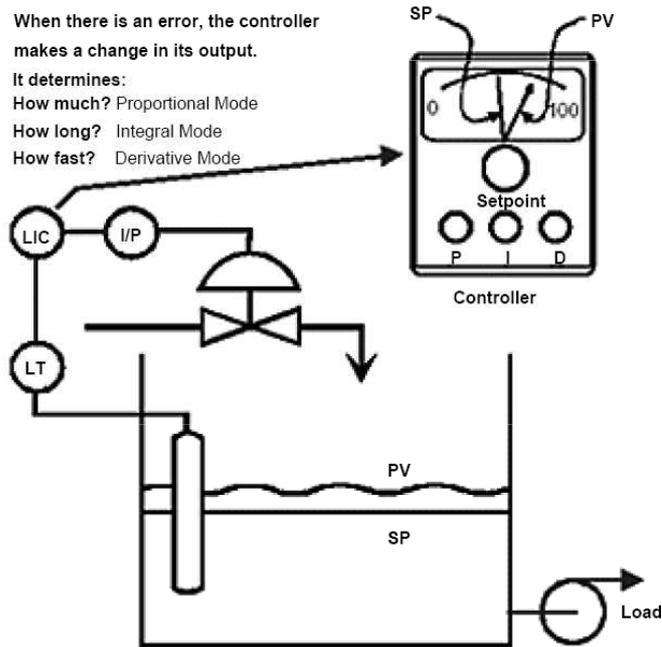
$$E(t) = SP(t) - VM(t)$$

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

Estratégia de Controle Convencional

29

B) CONTROLE PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID)



Estratégia de Controle Convencional

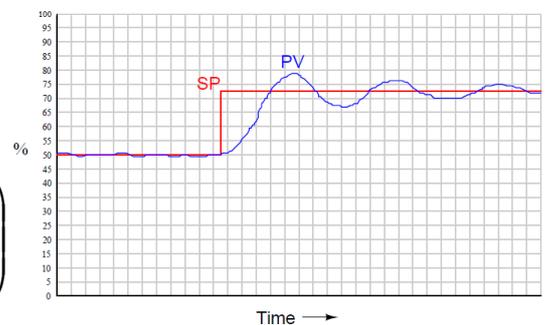
30

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

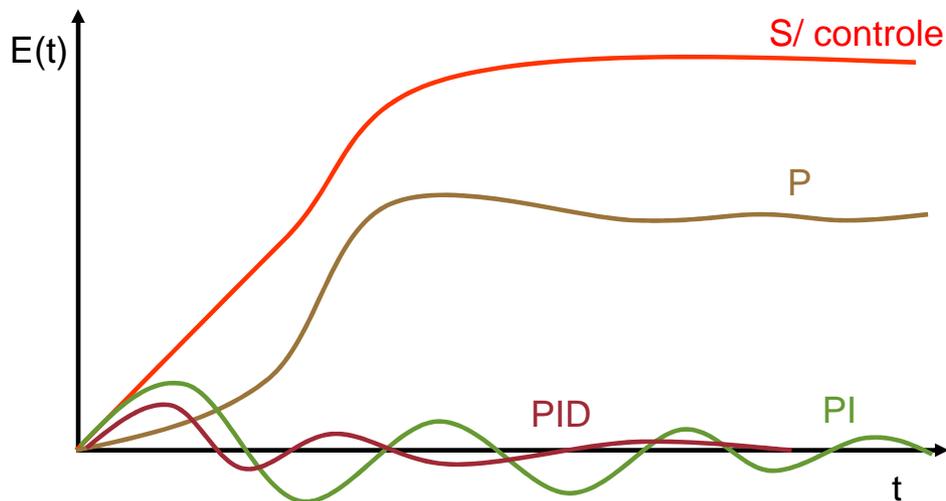
$$G_{PID}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$



- 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

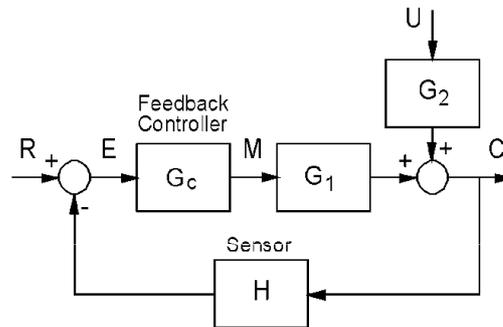


Estratégia de Controle

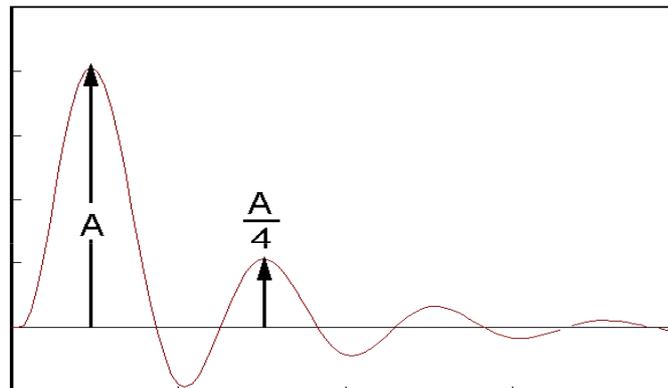
RESUMINDO

- **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

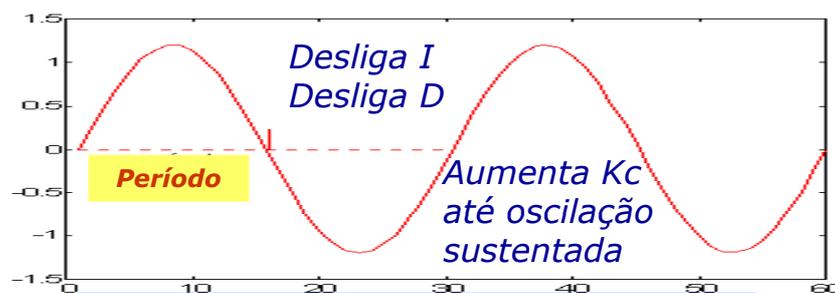


Resposta



Tempo

Sintonia de 1/4 pelo ganho último



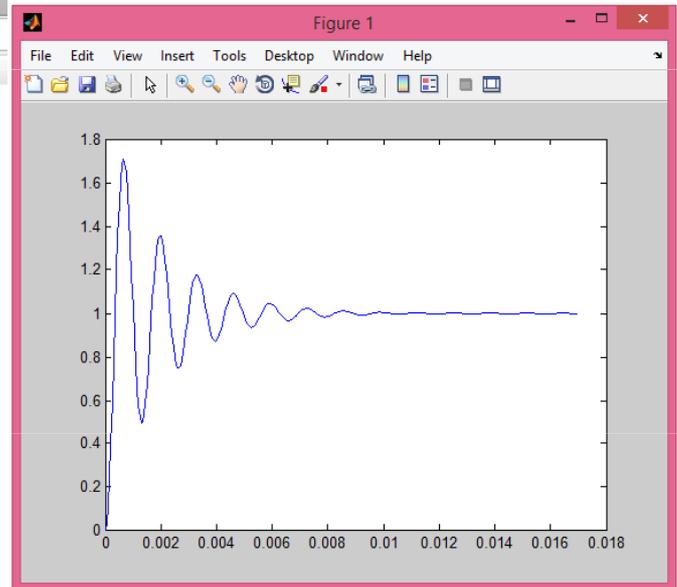
$$G_c(t) = \text{Bias} + K_c \left\{ E(t) \frac{1}{\tau_I} \int_0^t E(t') dt' + \tau_D \frac{dE(t)}{dt} \right\}$$

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

Exemplo de Simulação do Desempenho do Controle no Matlab

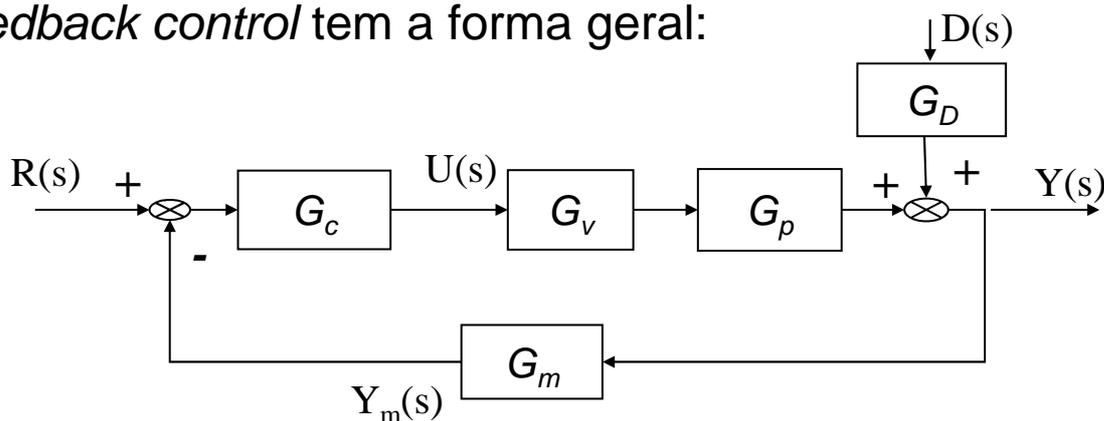
```

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