

# 107484 – Controle de Processos

Aula: Elementos Finais de Controle – Válvulas de Controle

Prof. Eduardo Stockler Tognetti

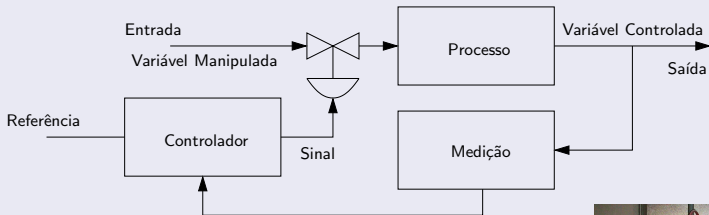
Departamento de Engenharia Elétrica  
Universidade de Brasília – UnB



1º Semestre 2015

# Motivação

## Malha de controle de um processo químico

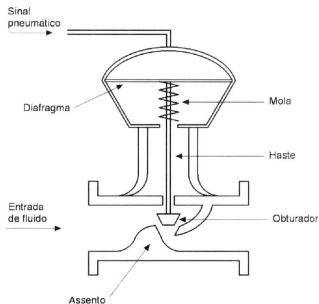


- Elemento mais utilizado em processos industriais
- Elemento crítico no desempenho da malha
- Restrição do fluxo (gás, vapor, água, etc) tubulação
- Malhas de fluxo, pressão, temperatura, nível, etc
- Controle discreto (liga/desliga) ou contínuo (0 – 100%)
- Manual ou automático (4 ~ 20mA ou rede ↔ CLP)

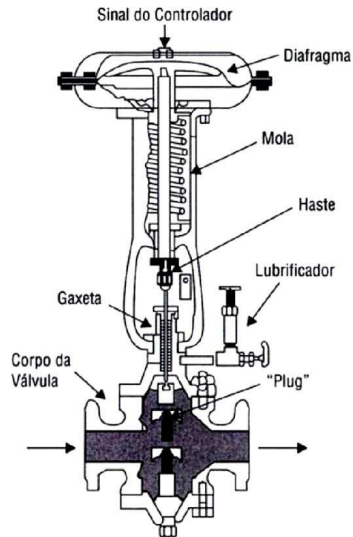


# Descrição da válvula de controle

- **Corpo da válvula:** componentes mecânicos para regular o fluxo
- **Atuador da válvula:** fornece a potência mecânica para mover os componentes do corpo da válvula



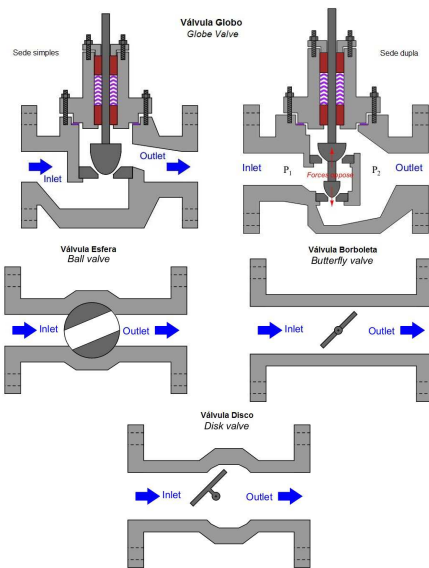
- Sinal pneumático de controle (3 a 15 psi)  
 ↳ ajuste da força da mola (ex.: área do diafragma  $400 \text{ cm}^2 \rightsquigarrow 84 \sim 420 \text{ Kgf}$ )



Válvula de controle com atuador pneumático tipo massa-mola.

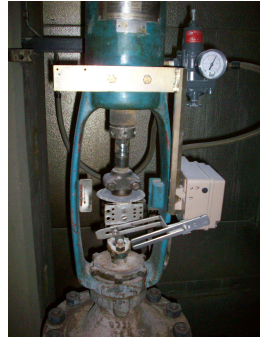
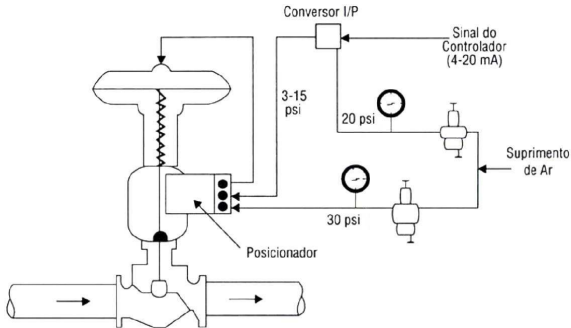
# Tipos de válvulas

- Deslocamento linear
  - Globo
- Deslocamento rotativo
  - Borboleta
  - Esfera



# Acessórios

- **Posicionador** (pneumático, eletropneumático e eletrônico): interface entre o atuador e o sinal externo  $\rightsquigarrow$  garantir comportamento dinâmico e estático



- **Posicionador**  $\rightsquigarrow$  Controlador P ou PI  $\rightsquigarrow$  garante posição mesmo sob agarramento mecânico

# Ação

- Posição de falha (posição de segurança em falta de energia):

- Fechada

- normalmente fechada (NF)
- falha-fecha (FF)
- ar para abrir (AA), mola para fechar

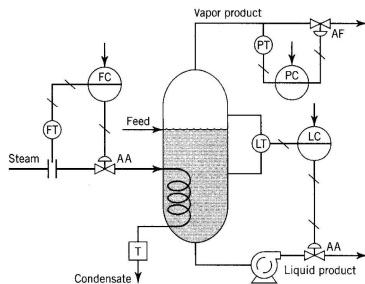
$$\bar{a} = \frac{\bar{m}}{100}$$

- Aberta

- normalmente aberta (NA)
- falha-abre (FA)
- ar para fechar (AF), mola para abrir

$$\bar{a} = 1 - \frac{\bar{m}}{100}$$

- Indeterminada (ar para abrir/fechar)



Posições de falha de válvulas de controle em um tanque flash.

# Característica de vazão *inerente*

- Característica construtiva (fora do processo)

- Queda de pressão constante:  $f = Nf(a)C_v\sqrt{\frac{\Delta p}{G_f}}$  ou  $\dot{m} = Nf(a)C_v\sqrt{\Delta P \rho}$

$\dot{m}$ : vazão [Kg/h]

$N$ : ajuste unidades

$f(a)$ :  $[0, 1] \mapsto [0, 1]$

(característ. inerente)

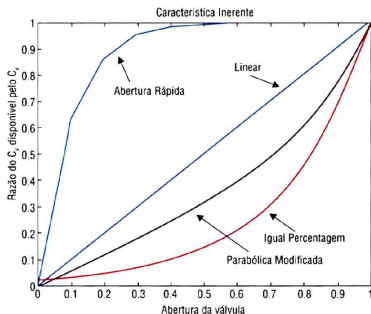
$C_v$ : coef. de vazão [gl/min de água a 1 psi à 60° F com  $f(a) = 1$ ]

$\Delta P$ : queda de pressão [Kg/cm<sup>2</sup>]

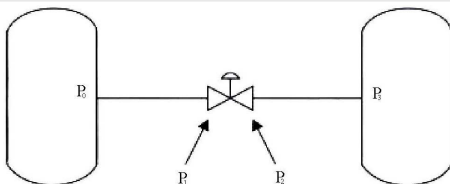
$\rho$ : massa espec. [Kg/m<sup>3</sup>];  $G_f$ : DR ou grav. espec.

- Característica da abertura

- linear:  $f(a) = a$
- igual percentagem:  $f(a) = R^{a-1}$   
( $R$ : rangeabilidade)
- parabólica modificada:  
$$f(a) = \frac{a}{\sqrt{3-2a^2}}$$



# Característica de vazão *instalada*



Balço de pressão estático

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{linha}} + \Delta P_{\text{válvula}} = \frac{\dot{m}^2}{(NC_L)^2 \rho} + \frac{\dot{m}^2}{(Nf(a)C_v)^2 \rho} \quad (1)$$

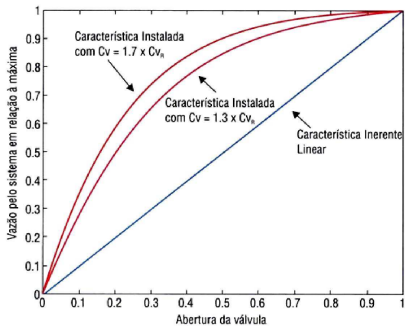
Tem-se,

$$\dot{m} = \dot{m}_{\text{max}} g(a), \quad \text{com} \quad g(a) = \sqrt{\frac{C^2 + 1}{C^2 + f(a)^{-2}}}, \quad C = \frac{C_v}{C_L} = \frac{C_v}{C_v^*} \frac{1}{f(a^*)} \frac{\Delta P_L^*}{\Delta P_V^*} \quad (2)$$

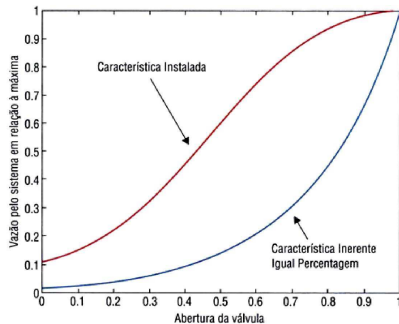
- $g(a)$ :  $[0, 1] \rightarrow [0, 1]$  (característica instalada)
- Característica não-linear
- Perda de carga linha  $\ll$  perda de carga válvula  $\rightsquigarrow C \simeq 0 \Rightarrow g(a) \approx f(a)$
- Válvula superdimensionada  $\rightsquigarrow C$  maior  $\Rightarrow g(a) \neq f(a)$



# Característica de vazão *instalada*

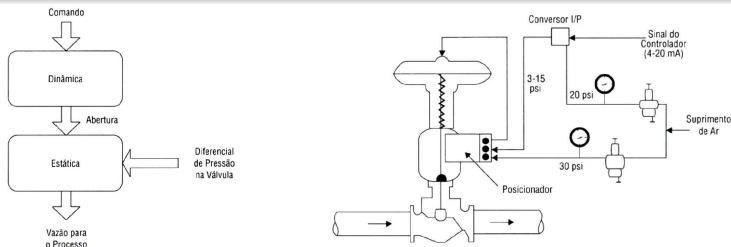


Característica instalada com válvula linear e 30 % de superdimensionamento da  $C_v$  ( $C = 2.65$ ).



Característica instalada com válvula igual percentagem e 30 % de superdimensionamento da  $C_v$  ( $C = 2.65$ ).

# Característica dinâmica da vazão na válvula



$$p_{atuador}(t)A_{diafragma} - p_v(t)A_v - F_{atrito} - K_{mola}x = M_{haste} \frac{d^2x}{dt^2}, \quad F_{atrito} = c \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{X(s)}{P_{atuador}(s)} = \frac{\frac{A_{diafragma}}{K_{mola}}}{\frac{M_{haste}}{K_{mola}}s^2 + \frac{c}{K_{mola}}s + 1}, \quad \text{desprezando } p_v(t)A_v \quad (4)$$

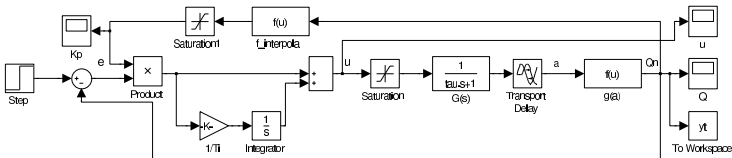
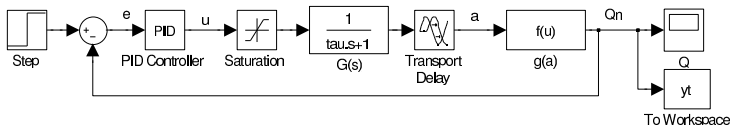
- **Posicionador**  $\rightsquigarrow$  Controlador P ou PI  $\rightsquigarrow$  aumenta a ordem do sistema
- Aproximação para válvula com característica instalada linear (ganho  $K_v$ ):

$$F(s) = K_v X(s) = K_v \frac{K_a e^{-t_d s}}{\tau s + 1} U(s), \quad U(s) : \text{saída PID} \quad (5)$$

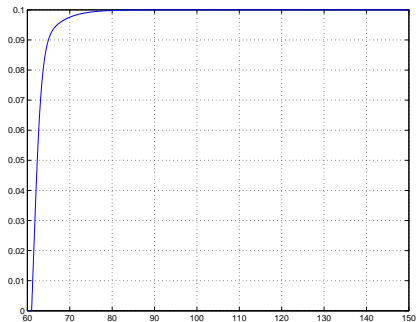
# Efeito da não-linearidade da válvula na malha controle

Considere

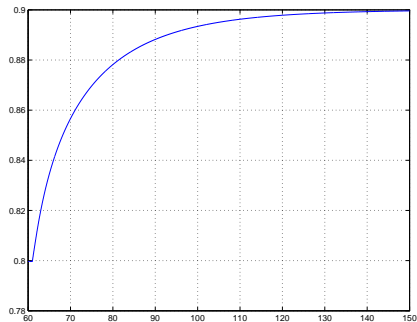
- $C = 2.65 \rightsquigarrow g(a) = \sqrt{\frac{2.65^2+1}{2.65^2+(a)^{-2}}}$
- Válvula:  $K_a = 1$ ,  $\tau = 3$ ,  $t_d = 1$
- Controlador PI (sintonia pelo método CHR [Chien, Hrones e Reswick, 1952]) para 2 pontos de operação (10% e 80%) e *gain-scheduled*



# Efeito da não-linearidade da válvula na malha controle

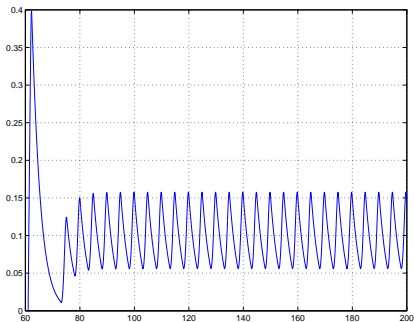


Degrau de 0 a 10% para controlador PI sintonizado para malha em 10% (CHR)  $\rightsquigarrow t_s \approx 15$  seg.

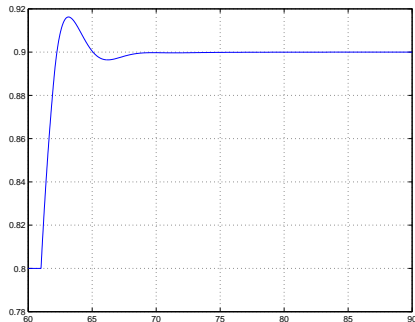


Degrau de 80 a 90% para controlador PI sintonizado para malha em 10% (CHR)  $\rightsquigarrow t_s \approx 85$  seg.

# Efeito da não-linearidade da válvula na malha controle

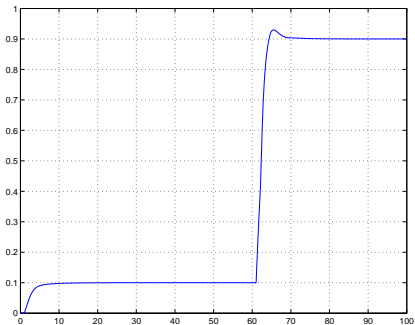


Degrá de 0 a 10% para controlador PI sintonizado para malha em 80% (CHR)  $\rightsquigarrow$  oscilação.

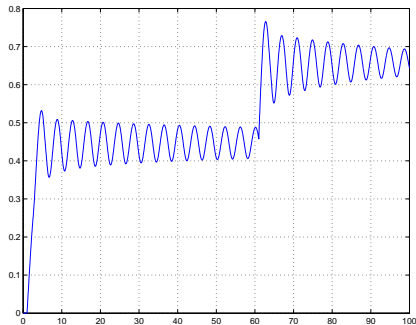


Degrá de 80 a 90% para controlador PI sintonizado para malha em 80% (CHR)  $\rightsquigarrow t_s \approx 8$  seg.

# Efeito da não-linearidade da válvula na malha controle



Degrau em 10% e 90% para controlador PI  
*gain-scheduled*  $\rightsquigarrow$  bom desempenho.



Degrau em 45% e 65% para controlador PI  
*gain-scheduled*  $\rightsquigarrow$  desempenho insatisfatório.