



Escola Politécnica - USP

# VÁLVULAS: O ÚNICO ELEMENTO MÓVEL NA MALHA DE CONTROLE

*Claudio Garcia*

*Escola Politécnica - USP*

**ETM ISA Seção São Paulo**

**16/09/2009**



# SUMÁRIO DA APRESENTAÇÃO

- Motivação
- Curvas de assinatura
- Uso de soluções tradicionais para lidar com válvulas com atrito
- Uso de compensadores de atrito
- Conclusões



## MOTIVAÇÃO

### Causas de situações anormais no processo:

- problemas nos equipamentos (p. ex. incrustação de lama nos tubos de um trocador de calor)
- problemas nos elementos do sistema de controle (p. ex. válvulas super-dimensionadas ou agarrando - atrito excessivo, sensores mal calibrados ou instalados longe dos pontos ideais de medição, controladores mal sintonizados etc)
- perturbações não-usuais (p. ex. redução na atividade do catalisador, composição da alimentação variando lentamente etc)



## MOTIVAÇÃO

Situações anormais severas podem ter graves conseqüências, chegando mesmo a obrigar uma parada da planta

Estimou-se que apenas na indústria petroquímica norte-americana, uma melhoria ao lidar com situações anormais poderia resultar em uma economia de dez bilhões de dólares por ano



## MOTIVAÇÃO

Empresas têm investido muito dinheiro para otimizar seus processos, visando melhorar a qualidade de seus produtos, através da substituição da instrumentação e dos sistemas de supervisão e controle digital

Mais recentemente, tem-se dado ênfase na aplicação de algoritmos de controle avançado (normalmente do tipo preditivo multivariável)



## MOTIVAÇÃO

A partir do início dos anos 80, milhões de dólares foram gastos em sistemas digitais de controle

Em muitos casos, o retorno desses investimentos foi mínimo

Isto é especialmente verdade se redução na variabilidade dos processos com conseqüente melhoria na qualidade dos produtos são usadas como critérios de análise



## MOTIVAÇÃO

Maior parte desse capital foi investida em interfaces de operador, estratégias avançadas de controle e novos sensores, com pouca consideração dada às válvulas de controle

Em muitos casos a válvula de controle é a fonte dos problemas da malha de controle e não o algoritmo de controle ou sua sintonia



## MOTIVAÇÃO

Válvula é o elo fraco da malha de controle, pois normalmente é a única parte que se move e esse movimento gera problemas que podem afetar o desempenho da malha

Principal problema que pode surgir é o agarramento (atrito entre a haste e as gaxetas)





## MOTIVAÇÃO

Auditorias realizadas em milhares de malhas de controle de processos industriais mostraram que o elemento final de controle desempenha um papel fundamental na otimização do processo



## MOTIVAÇÃO

Em pesquisa feita pela Monsanto e por outras onze empresas químicas, determinou-se que o desempenho do elemento final de controle tem o maior impacto no custo dos produtos vendidos

Cerca de 1,5% desse custo poderia ser reduzido dedicando-se maior cuidado aos elementos finais de controle



## MOTIVAÇÃO

Como resultado desses estudos, indústrias de processo estão cada vez mais preocupadas com a malha inteira de controle

Todos os instrumentos devem funcionar adequadamente para se alcançar os benefícios plenos da otimização de processos e do controle avançado



## MOTIVAÇÃO

Verificou-se que válvulas de controle geram grande impacto na variabilidade dos processos

Elas são responsáveis por cerca de 30% dos casos onde há variabilidade



## MOTIVAÇÃO

Se válvulas de controle falham em atingir os índices de desempenho necessários, a variabilidade introduzida no processo não pode ser eliminada por sintonia de controladores nem por estratégias de controle avançado



## MOTIVAÇÃO

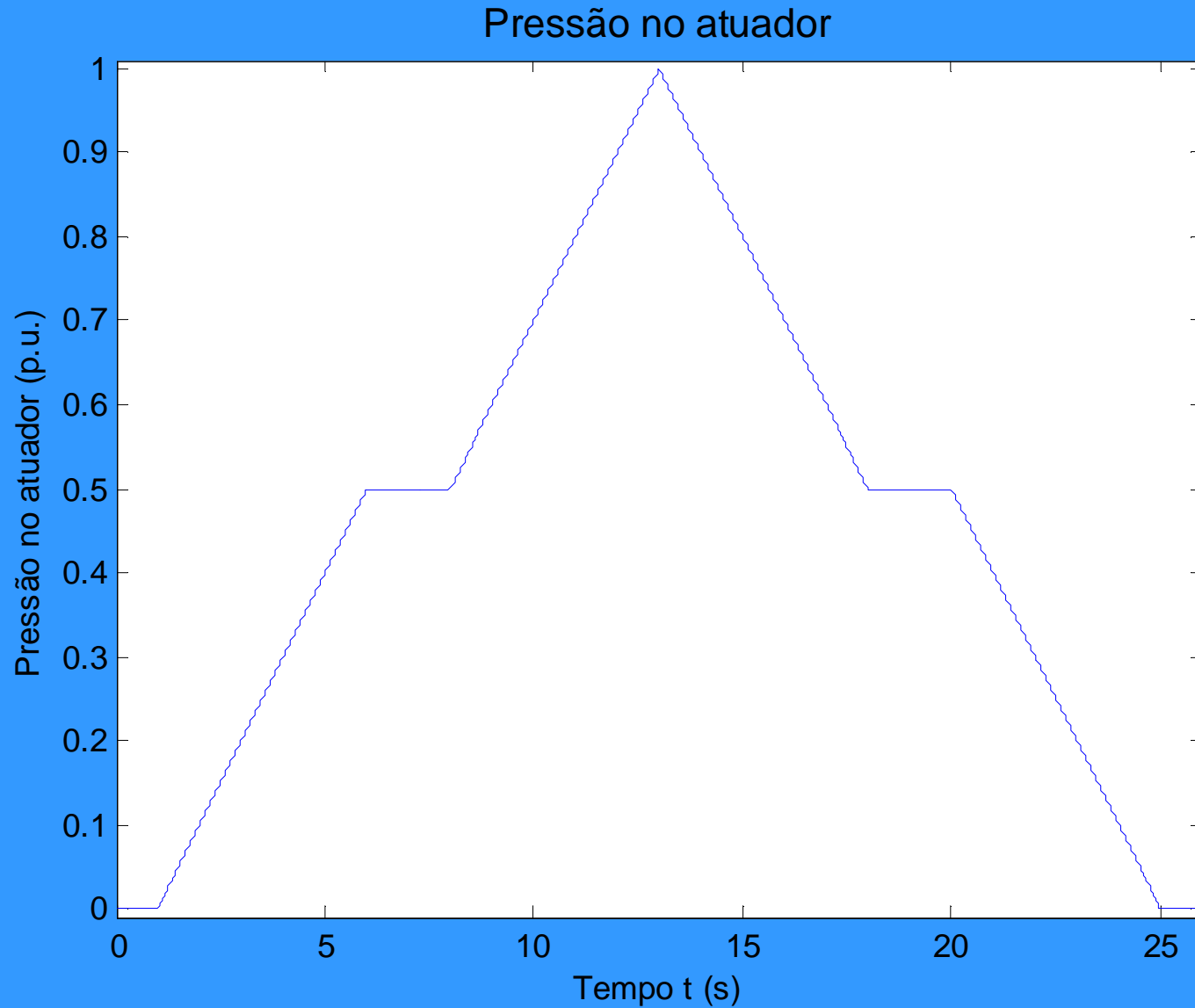
Com base no que foi exposto, percebe-se importância de se ter válvulas de controle operando adequadamente nas malhas

Portanto, a redução da variabilidade pela manutenção ou compensação do atrito nessas válvulas certamente gera retorno econômico nos processos produtivos



# CURVAS DE ASSINATURA

## Curvas de assinatura de válvulas sem atrito

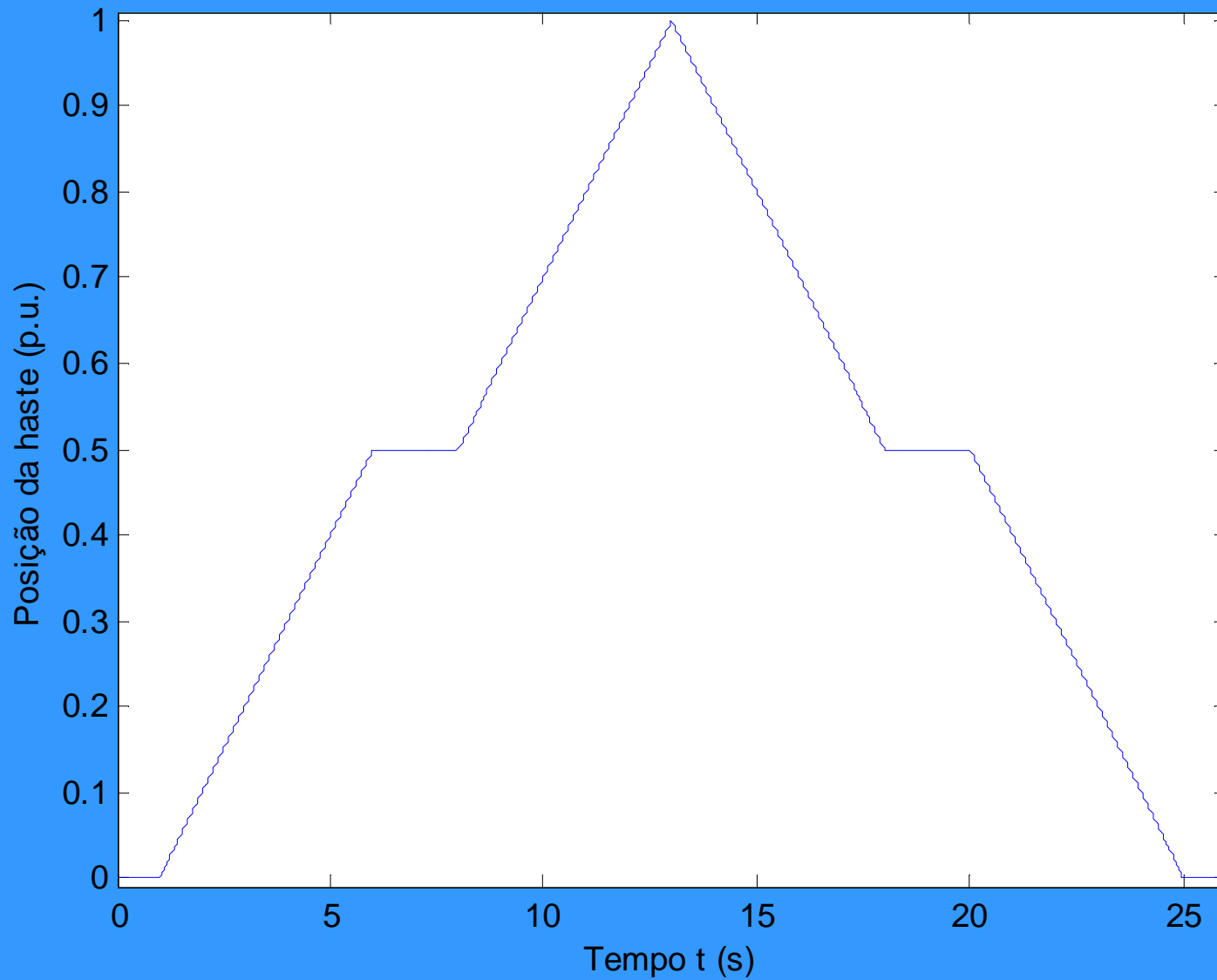




## CURVAS DE ASSINATURA

# Curvas de assinatura de válvulas sem atrito

Posição da haste - válvula sem atrito



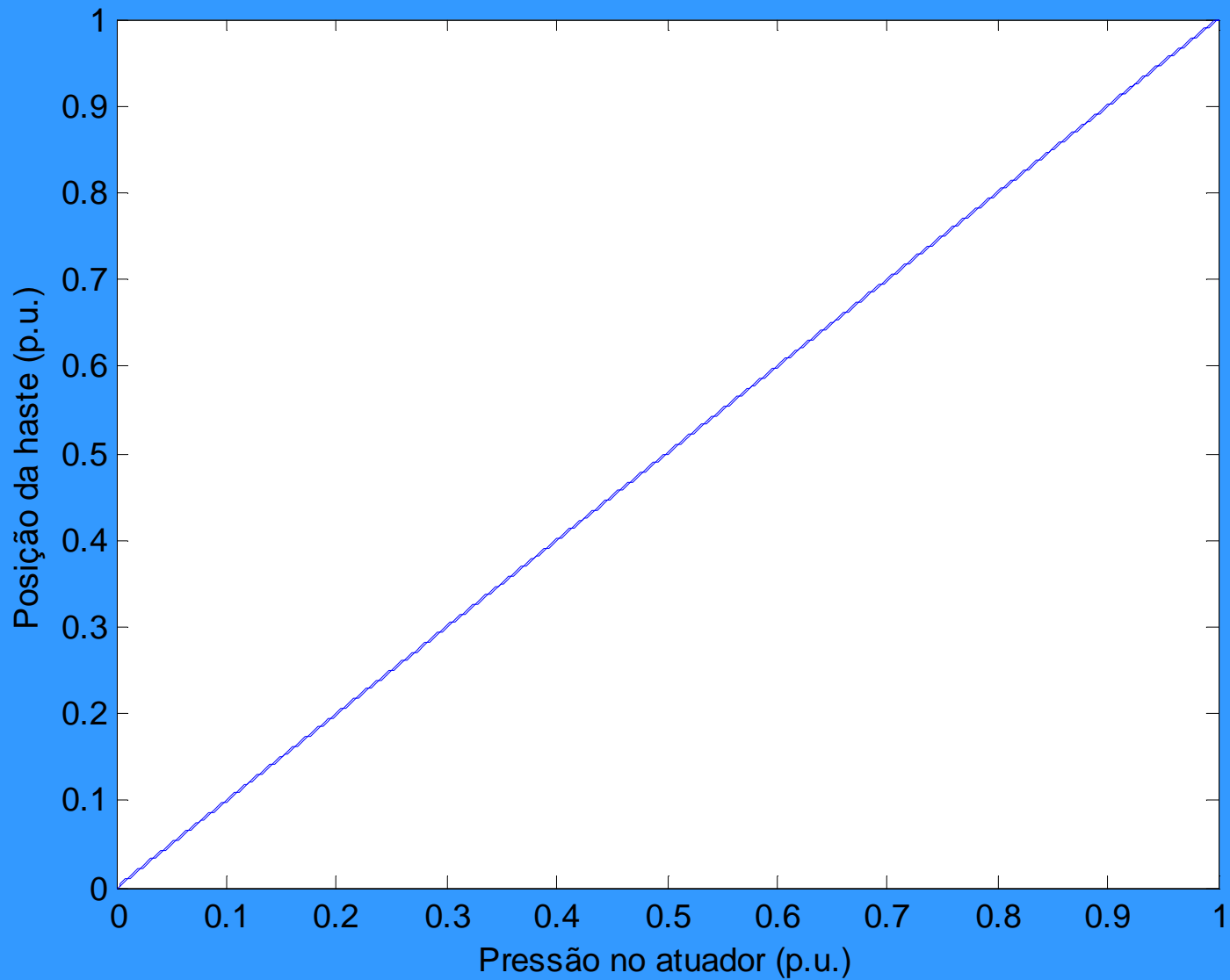




## CURVAS DE ASSINATURA

# Curvas de assinatura de válvulas sem atrito

Curva de assinatura - válvula sem atrito

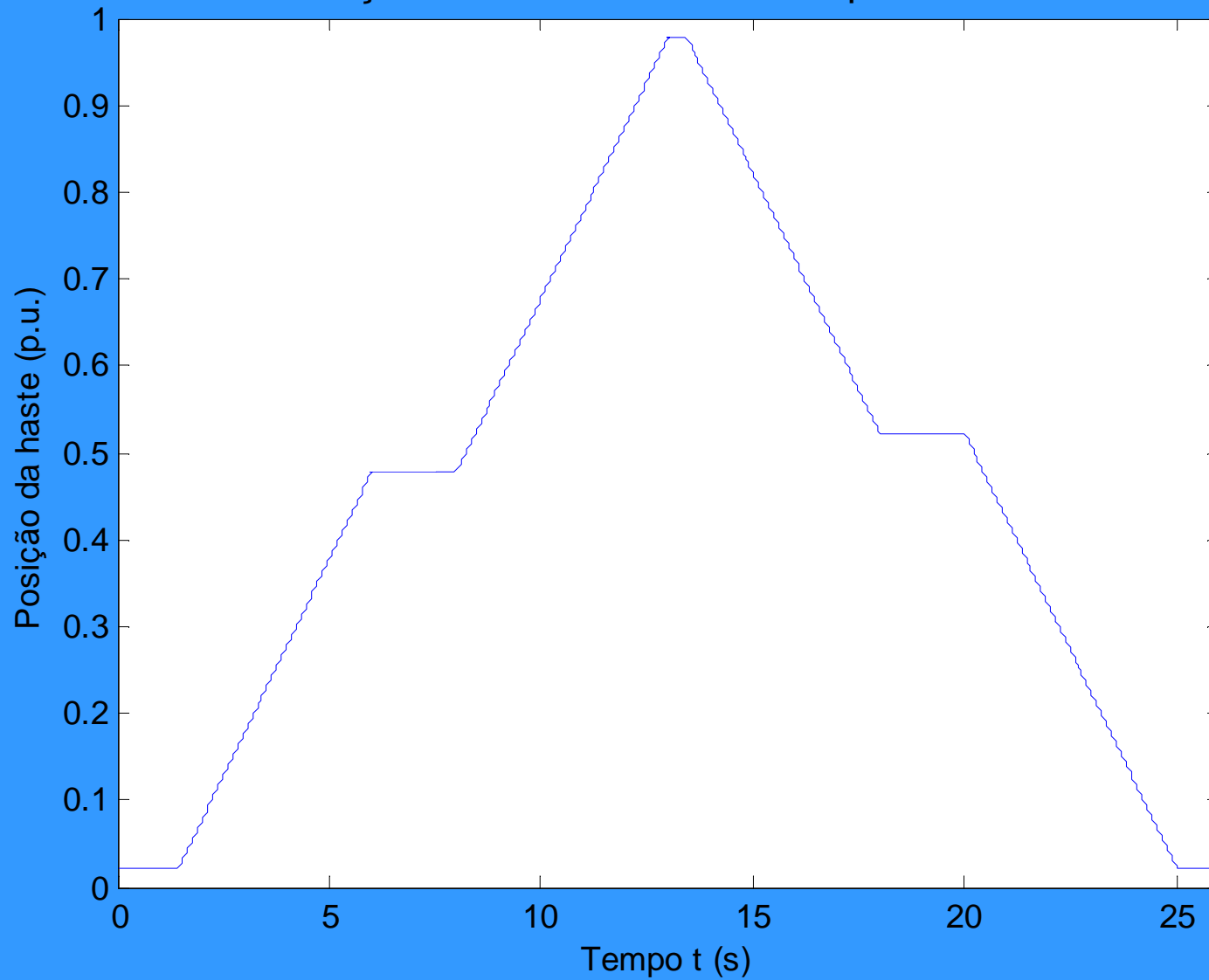




# CURVAS DE ASSINATURA

## Curvas de assinatura - válvulas com pouco atrito

Posição da haste - válvula com pouco atrito

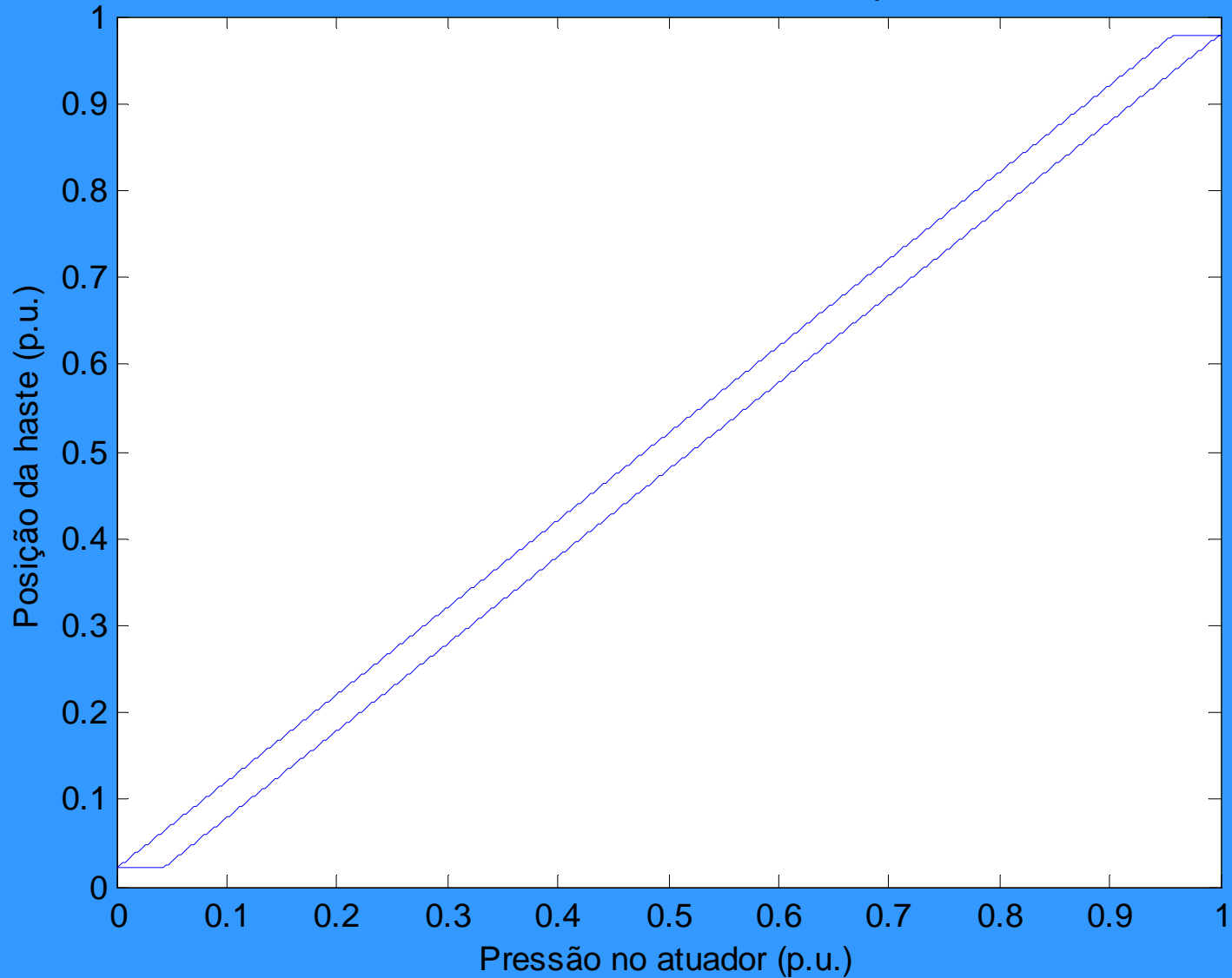




# CURVAS DE ASSINATURA

## Curvas de assinatura - válvulas com pouco atrito

Curva de assinatura - válvula com pouco atrito

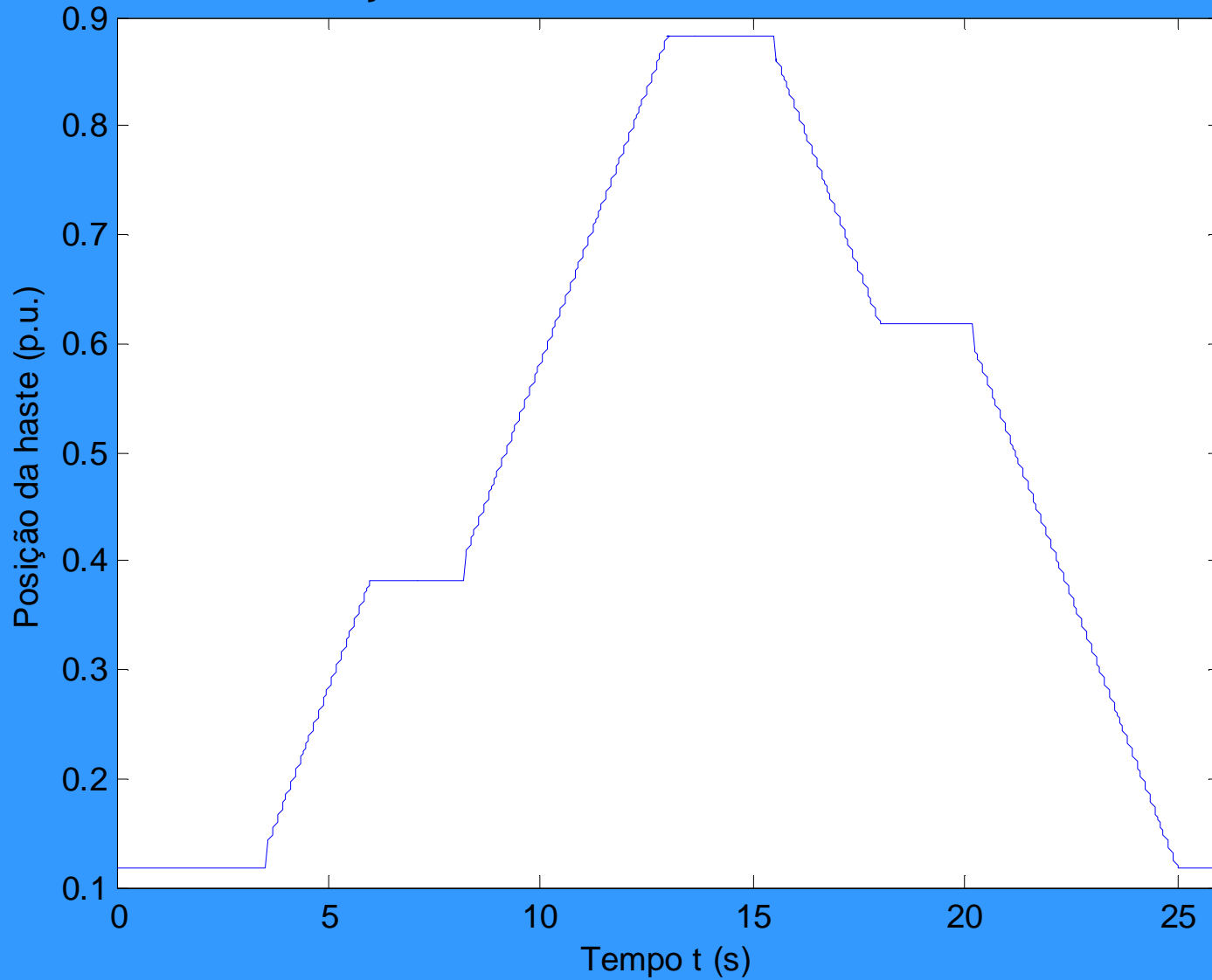




# CURVAS DE ASSINATURA

## Curvas de assinatura - válvulas com muito atrito

Posição da haste - válvula com muito atrito

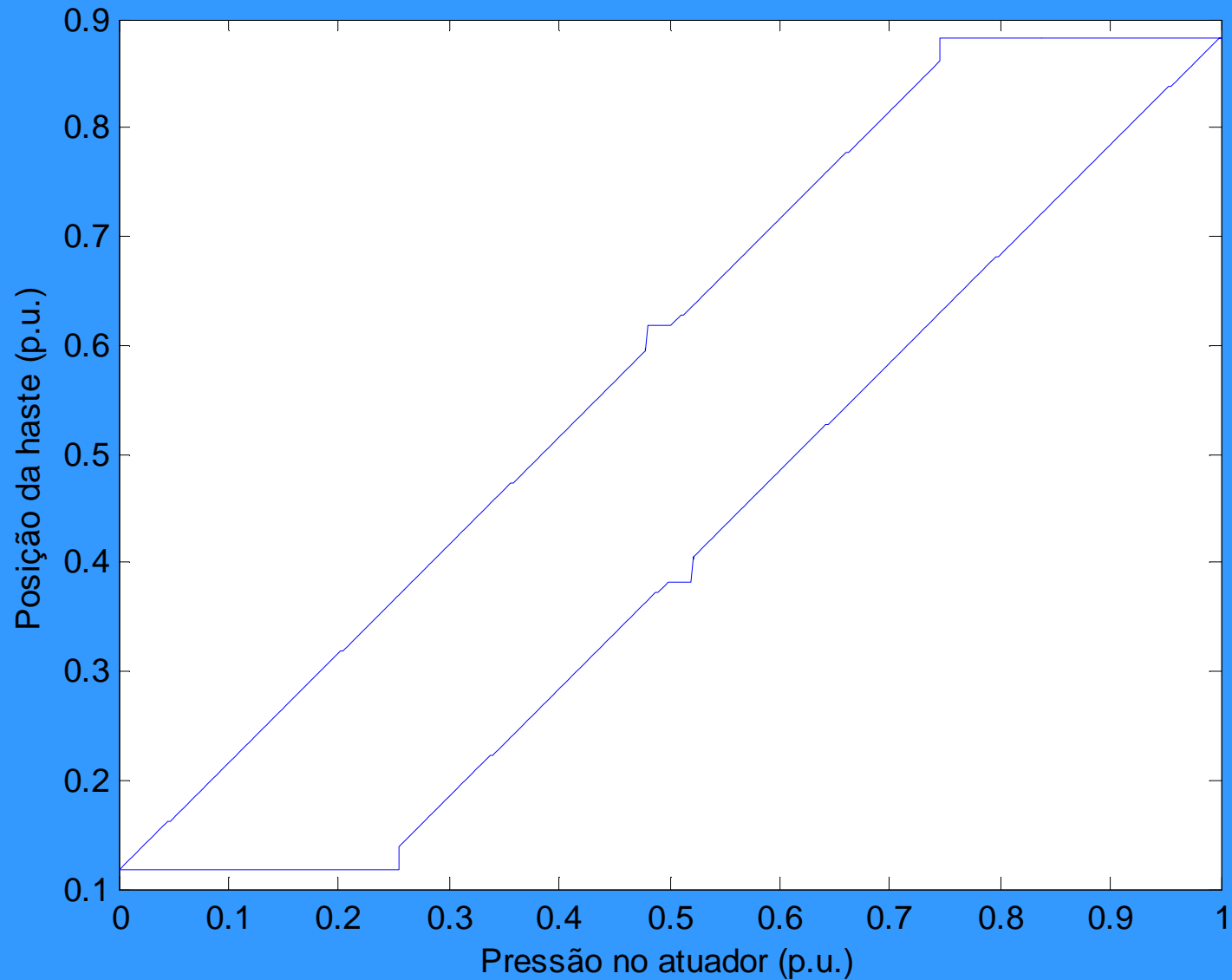




# CURVAS DE ASSINATURA

## Curvas de assinatura - válvulas com muito atrito

Curva de assinatura - válvula com muito atrito

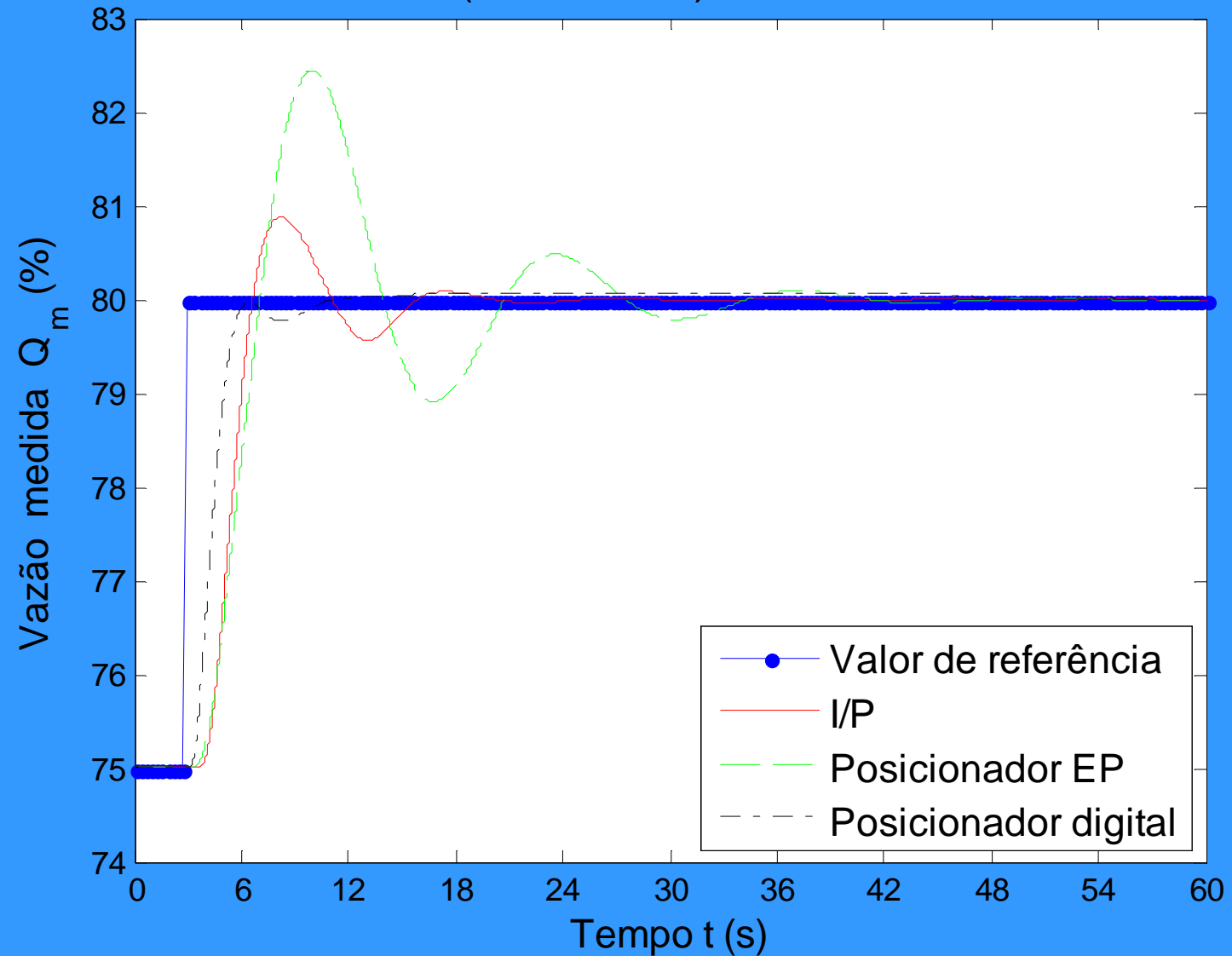




# SOLUÇÕES TRADICIONAIS – I/P E POSICIONADORES

## Válvula ideal – sem atrito

Válvula ideal (sem atrito) - variável controlada

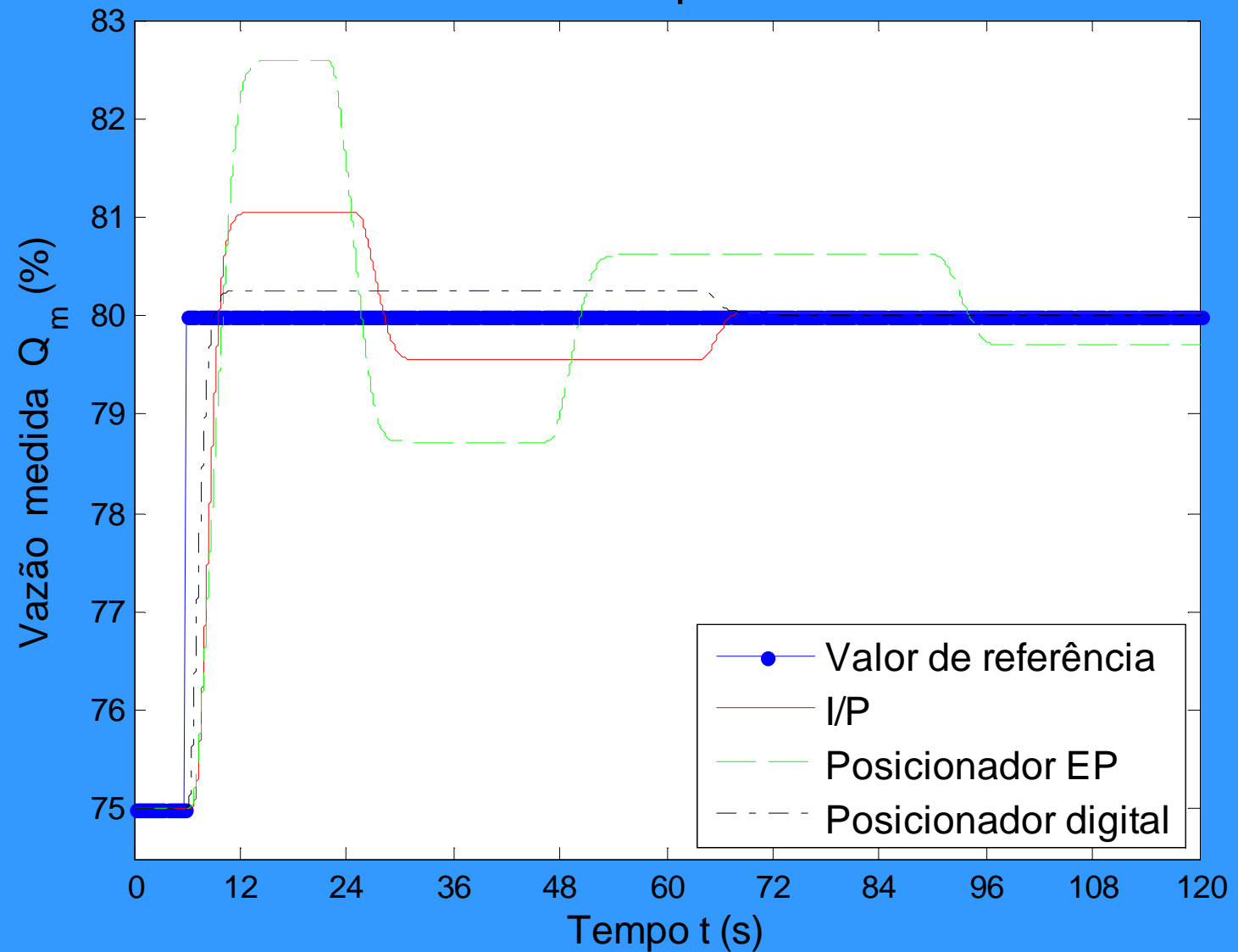




# SOLUÇÕES TRADICIONAIS – I/P E POSICIONADORES

## Válvula com pouco atrito

Válvula com pouco atrito

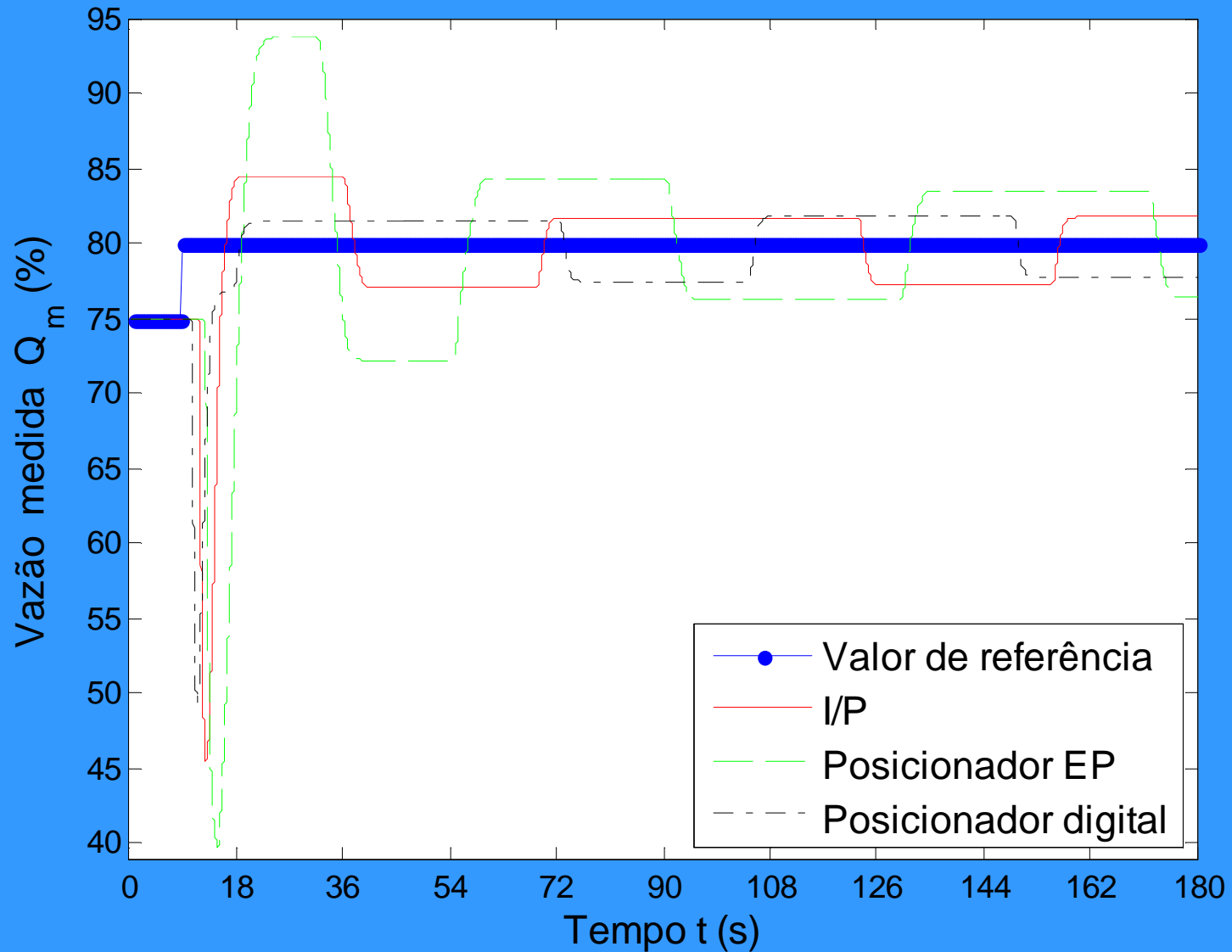




# SOLUÇÕES TRADICIONAIS – I/P E POSICIONADORES

## Válvula com muito atrito

Válvula com muito atrito







## COMPENSADORES DE ATRITO

Uma vez identificado que a malha oscila por causa do atrito, próximo passo é realizar a manutenção da válvula

Na prática, muitas vezes não é possível parar um processo para realizar manutenção não-programada



## COMPENSADORES DE ATRITO

Em média, paradas programadas de uma planta ocorrem entre 6 meses a 3 anos de operação

Desta forma, válvula de controle pode permanecer operando de maneira inadequada no período entre paradas



## **COMPENSADORES DE ATRITO**

Propõe-se aplicar técnicas que possibilitem a válvula continuar operando entre paradas programadas, com o desempenho melhorado através de técnicas de compensação de atrito



## COMPENSADOR IOL

O compensador *IOL* se baseia na técnica *Input-Output Linearization*

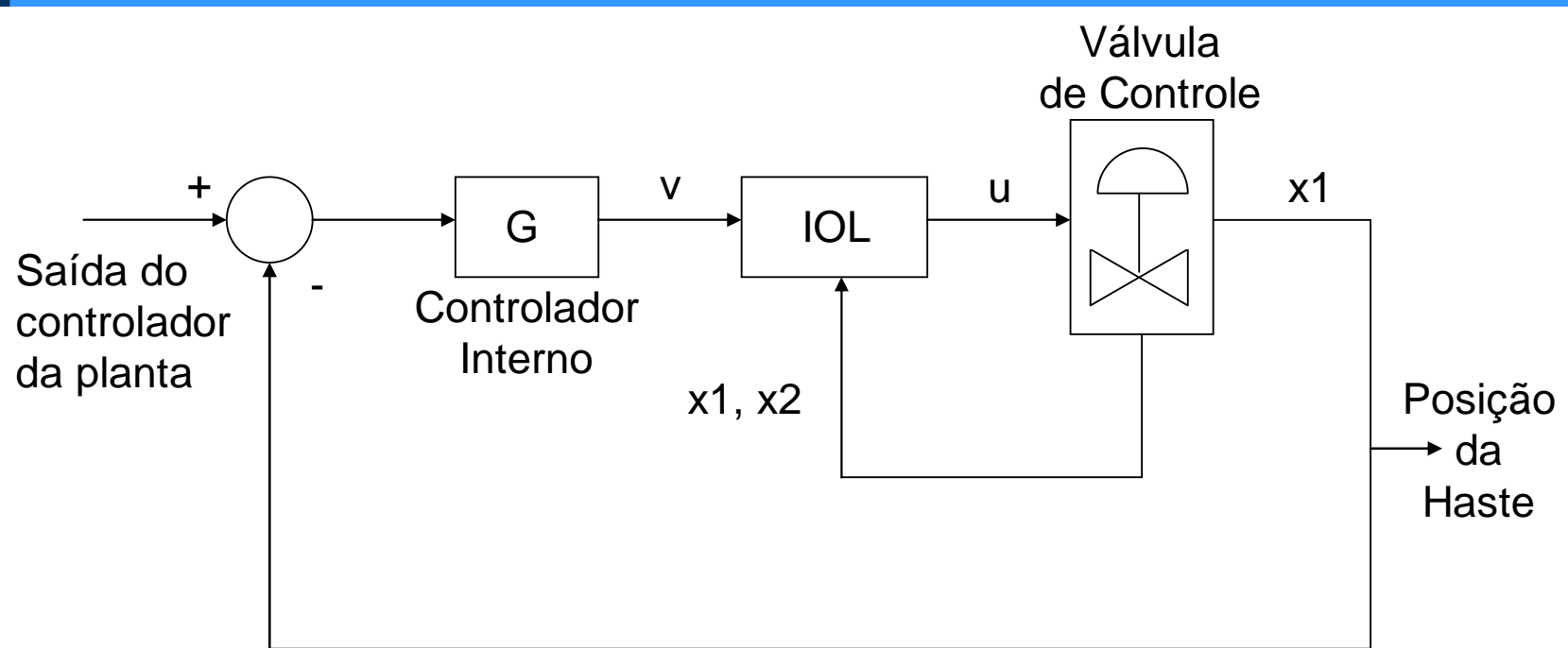
Esta técnica busca utilizar técnicas lineares de controle em sistemas com não-linearidades, neste caso a válvula de controle com atrito

O modelo IOL é inserido antes da válvula, permitindo que um controlador linear seja usado para posicionar sua haste



## COMPENSADOR IOL

A seguir está ilustrado um diagrama de blocos do IOL, no qual o sinal de referência representa o sinal externo enviado pelo controlador da planta





## COMPENSADOR IOL

O controlador interno do IOL recebe o sinal de referência externo, compara com o valor atual da posição da haste e gera um valor de saída  $v$

Este sinal  $v$  entra no bloco IOL, juntamente com os sinais  $x_1$  (posição da haste) e  $x_2$  (velocidade da haste)

Os cálculos de compensação são então efetuados e um sinal  $u$  (pressão no atuador) é enviado para a válvula de controle.



## COMPENSADOR IOL

Por ser um compensador baseado em modelo, ele depende de parâmetros da válvula, como coeficientes de atrito, constante elástica da mola e massa das partes móveis



## COMPENSADOR KNOCKER

A idéia por trás do compensador tipo Knocker ou golpeador é simples: a presença do atrito não permite que o sinal de saída do controlador posicione a haste da válvula no valor de referência

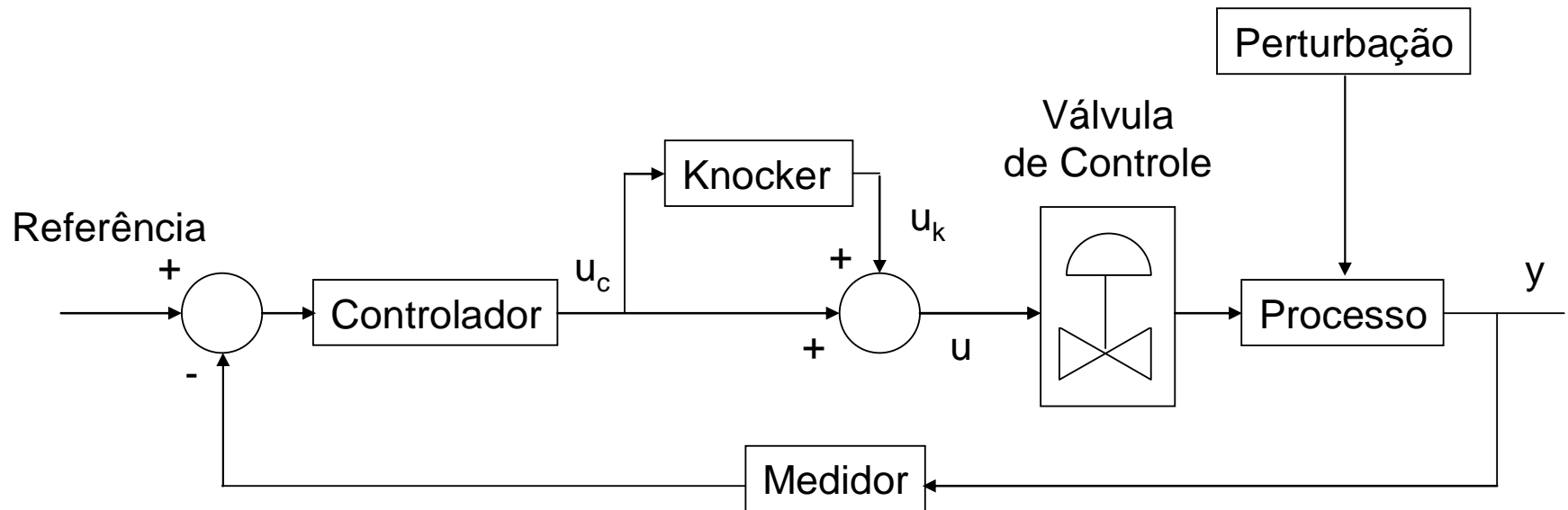
Com o Knocker, pequenos pulsos são adicionados à saída do controlador, permitindo que o atrito da válvula seja vencido de forma mais rápida





# COMPENSADOR KNOCKER

O diagrama de implementação do Knocker é mostrado a seguir





## COMPENSADOR KNOCKER

No diagrama anterior,  $u_c$  representa a saída do controlador e  $u_k$  a saída do Klocker

Desta forma, pode-se expressar o sinal de controle através da equação:

$$u(t) = u_c(t) + u_k(t)$$



## COMPENSADOR KNOCKER

A idéia dos pulsos do Knocker é auxiliar o sinal de saída do controlador  $u_c$  a superar a força de atrito da válvula

Por este motivo, o sinal dos pulsos acompanha o sinal da derivada da saída do controlador



## COMPENSADOR KNOCKER

Uma característica importante dele é não depender dos parâmetros da válvula

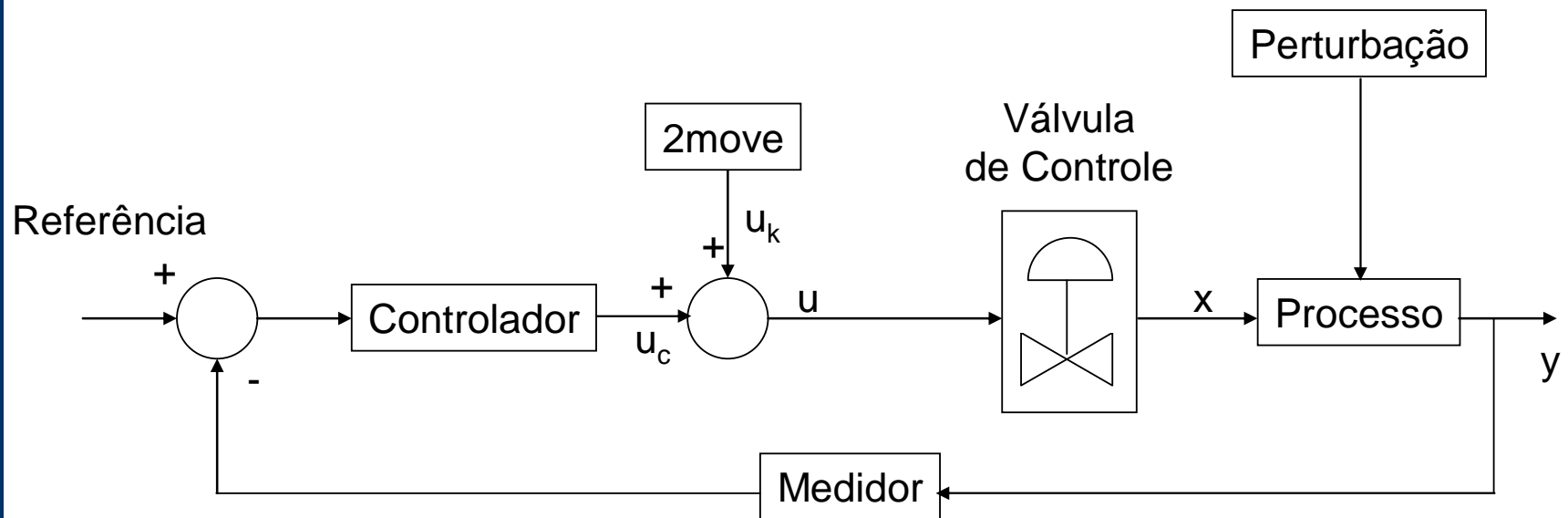
Porém, é preciso escolher 3 parâmetros de sintonia e isto não é simples, principalmente para níveis de atrito mais elevados

Além disso, estas escolhas mudam muito de acordo com o nível de atrito da válvula



## COMPENSADOR 2move

O diagrama de blocos da técnica *2move* é mostrado a seguir





## COMPENSADOR 2move

No diagrama de blocos,  $u_k$  representa a saída do compensador *2move*,  $u_c$  é a saída do controlador do processo e a equação abaixo representa o sinal que chega na válvula de controle

$$u(t) = u_c(t) + u_k(t)$$



## COMPENSADOR 2move

Este compensador foi projetado de forma que, no primeiro movimento, a haste da válvula de controle saia de uma posição travada e se movimente

No segundo movimento, a válvula deve alcançar sua posição estacionária, conforme o sinal  $u$  e, a partir deste momento, permanecer nesta posição



## COMPENSADOR 2move

Com relação a seu funcionamento, no instante  $t$  o compensador *2move* é ligado

Neste instante, o sinal  $u(t)$  é igual à saída do controlador somada ao sinal  $|uc(t)|+d$ , sinal este que deve ser suficiente para tirar a haste da válvula de uma posição travada





## COMPENSADOR 2move

O parâmetro  $d$  representa a “severidade” do atrito, ou, em outras palavras, a amplitude de oscilação no sinal de saída do controlador gerada pela presença de atrito

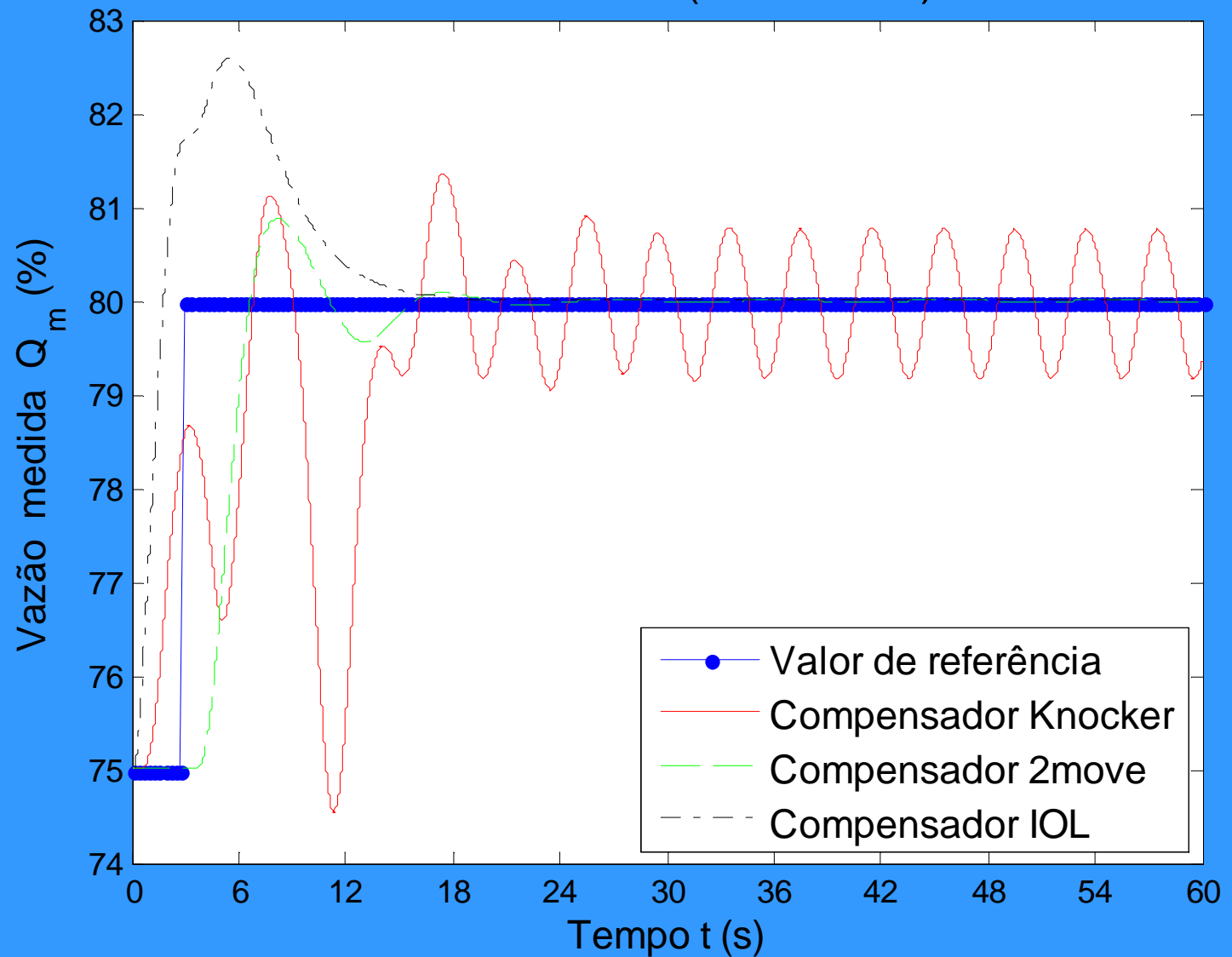
É importante destacar que o sinal  $|uc(t)|+d$  possui o sinal da derivada da saída do controlador, ou seja, é um sinal que, somado ao sinal do controlador, possibilita a movimentação da haste da



# COMPENSADORES DE ATRITO

## Válvula sem atrito

Válvula ideal (sem atrito)





## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para a válvula com baixo atrito mostram que o próprio controlador PI do processo de vazão foi suficiente para levar a vazão ao valor de referência

O uso dos compensadores, neste caso, não seria vantajoso, porque além de não afetarem de forma significativa o comportamento da malha, podem ainda, dependendo do compensador, aumentar o erro



## CONCLUSÕES

Por outro lado, para a válvula com atrito elevado, os três compensadores apresentaram resultados muito bons

Nos três casos, houve redução do erro, sendo que o *2move* apresentou os melhores resultados neste quesito, mas o *IOL* gerou o menor tempo de acomodação

Neste caso, é totalmente justificável a utilização dos compensadores