



**e-Tec Brasil**  
*Escola Técnica Aberta do Brasil*

# Processos Industriais

*Marco Aurélio da Fontoura Gonçalves*



**Santa Maria - RS**  
**2011**

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação a Distância

© Colégio Técnico Industrial de Santa Maria

Este material didático foi elaborado em parceria, entre o Colégio Técnico Industrial de Santa Maria e a Universidade Federal de Santa Catarina para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

**Comissão de Acompanhamento e Validação**  
Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC

**Coordenação Institucional**  
Araci Hack Catapan/UFSC

**Coordenação do Projeto**  
Sílvia Modesto Nassar/UFSC

**Cordenação de Design Instrucional**  
Beatriz Helena Dal Molin/UNIOESTE

**Designers Intrucionais**  
Helena Maria Maullmann/UFSC  
Jorge Luiz Silva Hermenegildo/CEFET-SC

**WEB Designers**  
Beatriz Helena Dal Molin/UNIOESTE  
Mércia Freire Rocha Cordeiro Machado/ETUFPR

**Supervisão de Projeto Gráfico**  
Ana Carine García Montero/UFSC

**Diagramação**  
João Ricardo Zattar/UFSC  
Luís Henrique Lindler/UFSC

**Revisão**  
Lúcia Locatelli Flôres/UFSC

**Comissão de Acompanhamento e Validação**  
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM

**Coordenador Institucional**  
Paulo Roberto Colusso/CTISM

**Professor-autor**  
Marco Aurélio da Fontoura Gonçalves/CTISM

**Coordenação Técnica**  
Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

**Coordenação de Design**  
Erika Goellner/CTISM

**Revisão Pedagógica**  
Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM  
Francine Netto Martins Tadielo/CTISM  
Marcia Migliore Freo/CTISM

**Revisão Técnica**  
Eduardo Lehnhart Vargas/CTISM

**Revisão Textual**  
Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM  
Vera da Silva Oliveira/CTISM

**Diagramação e Ilustração**  
Gustavo Schwendler/CTISM  
Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM  
Marcel Santos Jacques/CTISM  
Máuren Fernandes Massia/CTISM  
Maíra Rodrigues/CTISM  
Rafael Cavalli Viapiana/CTISM  
Ricardo Antunes Machado/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Maristela Eckhardt – CRB 10/737  
Biblioteca Central da UFSM

**G635p Gonçalves, Marco Aurélio Fontoura**  
Processos Industriais/Marco Gonçalves. – 3. ed. – Santa Maria:  
Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial  
de Santa Maria, Curso Técnico em Automação Industrial, 2011.  
59p. : il. ; 21 cm.

1. Processos industriais 2. Metrologia 3. Válvulas de controle  
4. Programa Escola Aberta do Brasil I. Universidade Federal de  
Santa Maria. Curso Técnico em Automação Industrial.

CDU 62-5

# Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes dos grandes centros geograficamente ou economicamente.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação  
Janeiro de 2010

Nosso contato  
[etecbrasil@mec.gov.br](mailto:etecbrasil@mec.gov.br)



# Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



**Atenção:** indica pontos de maior relevância no texto.



**Saiba mais:** oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



**Glossário:** indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



**Mídias integradas:** sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



**Atividades de aprendizagem:** apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



# Sumário

<b>Palavra do professor-autor</b> .....	<b>9</b>
<b>Apresentação da disciplina</b> .....	<b>11</b>
<b>Projeto instrucional</b> .....	<b>13</b>
<b>Aula 1 – Processos</b> .....	<b>15</b>
1.1 Processos contínuos.....	15
1.2 Processos discretos ou manufaturas.....	16
1.3 Estudos de um processo.....	16
1.4 Autorregulação.....	21
1.5 Propriedades.....	24
1.6 Distúrbios de processo.....	27
1.7 Funções básicas do controle.....	27
1.8 Diagrama de bloco de uma malha de controle fechada.....	30
1.9 Modos de controle.....	30
<b>Aula 2 – Conceitos fundamentais de metrologia</b> .....	<b>37</b>
2.1 Classes dos instrumentos.....	37
2.2 Características, padrões e erros dos instrumentos.....	38
2.3 Tipos dos instrumentos.....	39
2.4 Sistemas de medição.....	42
2.5 Normas da instrumentação ISA e simbologia.....	45
<b>Aula 3 – Válvulas de controle</b> .....	<b>49</b>
3.1 Válvulas direcionais e válvulas proporcionais.....	49
3.2 Sistema de controle em malha aberta e fechada.....	49
3.3 Sistema de controle à malha fechada x sistema de controle à malha aberta.....	50
3.4 Tipos de válvulas de controle mais utilizadas.....	51
3.5 Operações da válvula.....	54
3.6 Dimensionamento.....	55
3.7 Cavitação em válvulas de controle.....	56

<b>Referências</b> .....	<b>58</b>
<b>Currículo do professor-autor</b> .....	<b>59</b>



## Palavra do professor-autor

Nas últimas décadas, a evolução tecnológica, baseada na eletrônica e, principalmente na computação, fez com que a Automação Industrial dentro dos processos industriais atingisse o patamar de tecnologia estratégica em todos os sistemas de gestão. O processo antigo que se baseava no trabalho do homem em sua plenitude, deu espaço para os sistemas automatizados, atingindo graus de produtividade, de qualidade e de otimização muito elevados necessários para uma economia globalizada e de muita competitividade.

O objetivo da disciplina de Processos Industriais é fazer com que o aluno tome conhecimento da nomenclatura, dos sistemas usados nos processos industriais bem como adquirir noção de como funcionam os processos, conhecendo indicações básicas de instrumentação e equipamentos para esse fim. Nessa perspectiva, será possibilitado um nivelamento de conhecimento que servirá de base teórica para outras disciplinas.

O presente material está dividido em três unidades onde as temáticas se relacionam conforme o projeto instrucional apresentado a seguir. Sugere vídeos e indicação de *sites* a serem assistidos para uma melhor assimilação do texto.

Boa sorte nos estudos. Juntos atingiremos nossos objetivos!

Professor Marco Gonçalves



# Apresentação da disciplina

Processos Industriais são identificados como procedimentos que fazem parte da manufatura de um ou vários itens na fabricação em grande escala. Surgiram para que a qualidade, otimização de tempo, custo e outras variáveis pudessem ser melhoradas. A expressão planta industrial ou planta é utilizada no setor químico significando uma unidade industrial, ou setor dentro de uma indústria que produza algum composto químico específico como a planta de amônia e a planta de benzeno. O uso de controladores microprocessados e computadores aplicados ao controle automático aumenta a necessidade do conhecimento prático em relação ao comportamento do sistema controlado e aos métodos para alcançar o funcionamento do mesmo.

Nessa perspectiva, as unidades estudadas, proporcionarão ao aluno ferramentas, como as para obter os parâmetros de estado estáveis e transitórios requeridos para a análise de um sistema controlado automaticamente, e para usar esses mesmos parâmetros no ajuste e sintoniza do sistema, otimizando o processo.



Assista a um vídeo sobre automação na sociedade contemporânea  
<http://www.youtube.com/watch?v=Wh-VqQkhf1w>



# Projeto instrucional

**Disciplina:** Processos Industriais (carga horária: 30h).

**Ementa:** Processos, conceitos fundamentais de metrologia, válvulas de controle.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Processos	Compreender os processos industriais. Identificar a nomenclatura usada no processo.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: links de leitura complementar indicados na apostila.	10
2. Conceitos fundamentais de metrologia	Conhecer os principais instrumentos de medição dos processos industriais. Identificar os sistemas de medição no processo. Conhecer a normalização ISA para instrumentação.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: links de leitura complementar indicados na apostila.	10
3. Válvulas de controle	Conhecer as válvulas de controle. Aplicar e dimensionar as válvulas de controle.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: links de leitura complementar indicados na apostila.	10



# Aula 1 – Processos

## Objetivos

Compreender os processos industriais.

Identificar a nomenclatura usada no processo.

## 1.1 Processos contínuos

“Podemos citar como exemplo indústrias petrolíferas, químicas, petroquímicas, de papel e celulose, alimentícias, cimenteiras, metalúrgicas, de tratamento de água, geração e distribuição de energia elétrica, entre outras.” (ALVES, 2005). Veja na Figura 1.1 uma refinaria representando um processo contínuo.

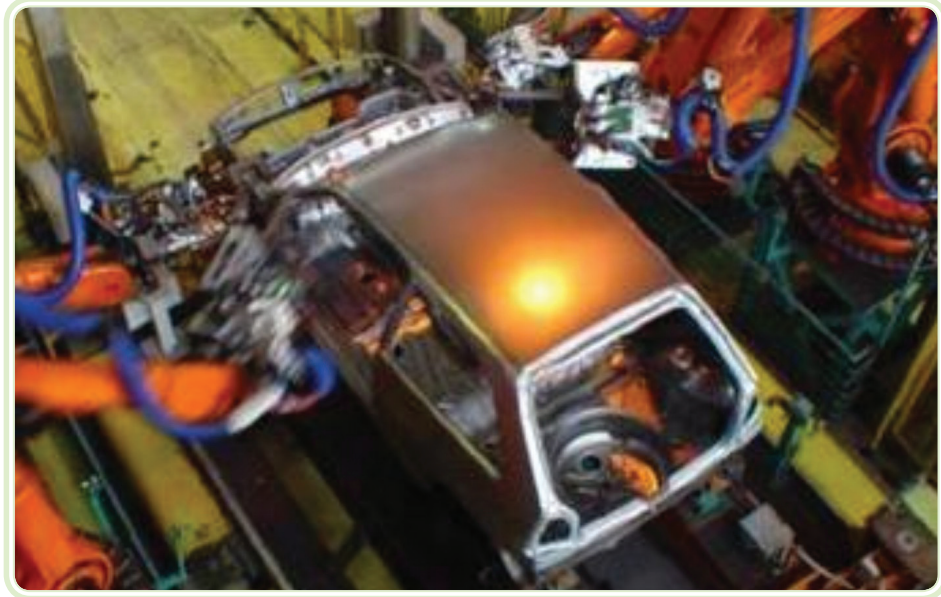


**Figura 1.1: Processo contínuo – refinaria**

Fonte: <http://www.instrumentacao.net/introducao/iniciacoes.php>

## 1.2 Processos discretos ou manufaturas

A produção é medida em unidades produtivas tal como na indústria automobilística (Figura 1.2) e fábricas em geral.



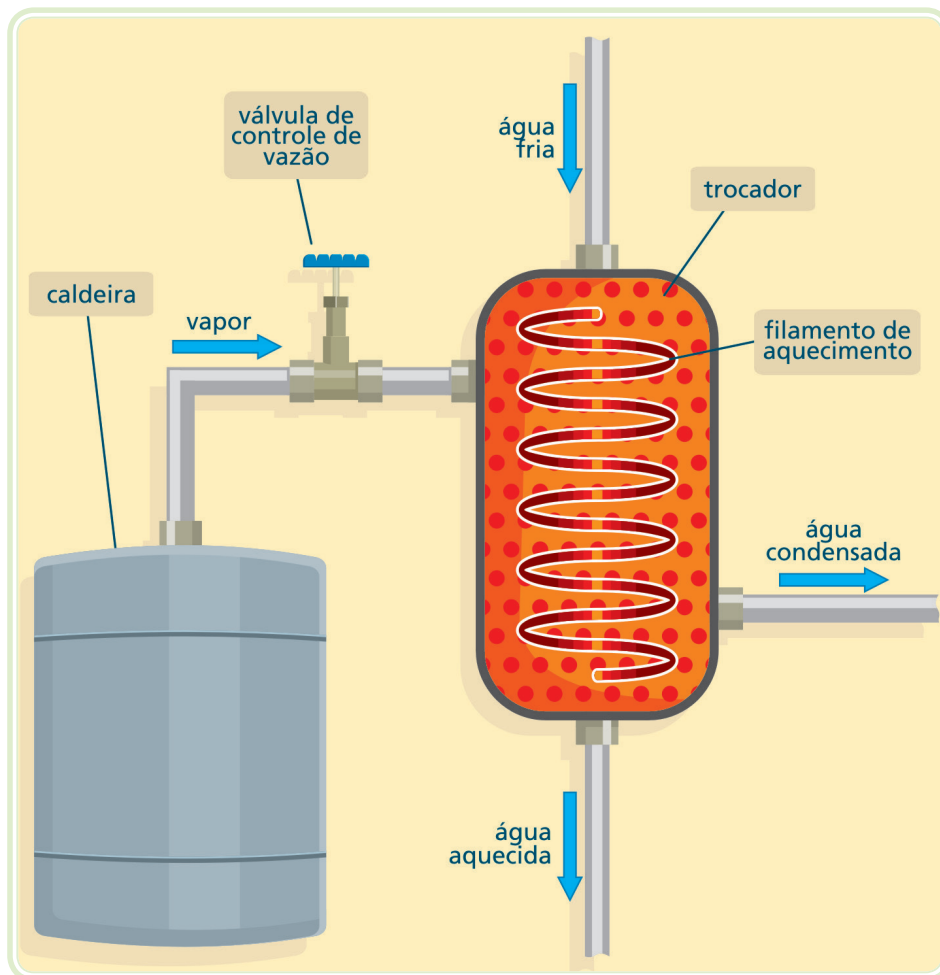
**Figura 1.2: Processo discreto ou manufatura – montagem**

Fonte: <http://www.instrumentacao.net/introducao/iniciacoes.php>

## 1.3 Estudos de um processo

O termo processo significa as operações usadas na transformação de uma matéria-prima. Nesta aula, vamos estudar um processo simples, como em um trocador de calor mostrado na Figura 1.3.





**Figura 1.3: Trocador de calor**

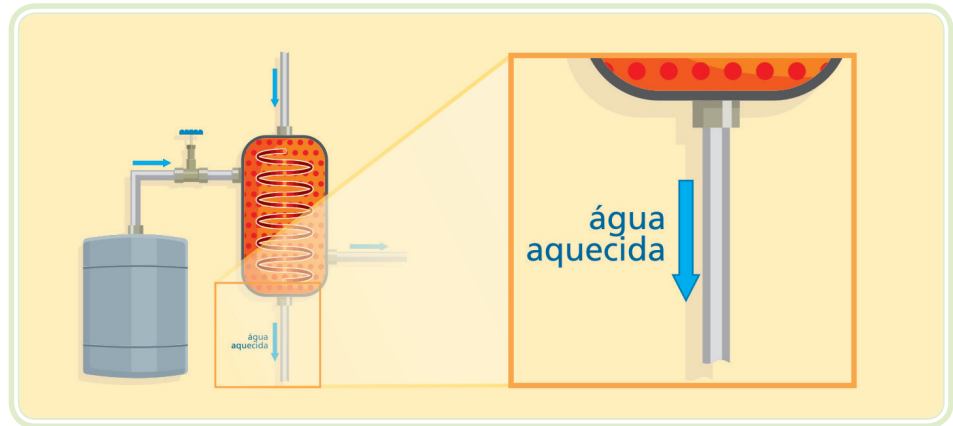
Fonte: CTISM

A operação de adicionar energia calorífica à água é um processo. Já o vapor, o reservatório, as tubulações e as válvulas constituem o circuito no qual o processo de aquecimento é realizado. A temperatura da água quente e a vazão de vapor são as principais variáveis do processo. (TEIXEIRA, 2006).

### 1.3.1 Controle Automático de Processos (CAP)

Controle Automático de Processos obteve essa denominação, quando os procedimentos de controle de automação foram aplicados para tornar mais eficiente e segura a manufatura de produtos. O CAP é, em grande parte, responsável pela otimização e qualificação dos processos de produção ocorridos nas últimas décadas. São exemplos de CAP as indústrias petrolíferas e automotivas.

O principal objetivo do CAP é conseguir que uma variável dinâmica possa ser controlada. Consideremos que a temperatura da água na saída do trocador de calor se mantenha constante em um valor específico ou em um valor definido. Conforme a Figura 1.4, temos como variável dinâmica o valor da temperatura da água na saída do trocador.



**Figura 1.4: Variável dinâmica a ser controlada (variável controlada)**

Fonte: CTISM

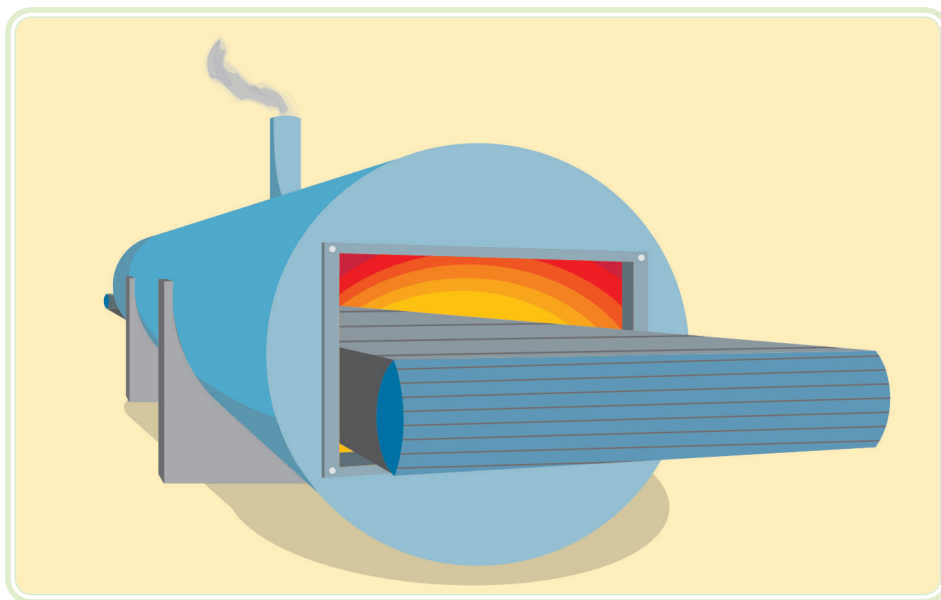
O sistema apresentado terá que medir a temperatura da água na saída e comparar com o valor desejado, mandando indicações para que a válvula de controle de vazão abra ou feche, liberando mais ou menos vapor, possibilitando, assim, o controle da temperatura próxima do desejado.

### 1.3.2 Variáveis

As variáveis do processo indicam o valor desejado do produto. Já o sistema de aquecimento de água, tem como finalidade fornecer água aquecida. A variável mais importante é a temperatura da água de saída do aquecedor, que é por definição, conforme Figura 1.4, a variável controlada.

A maneira mais indicada para garantir que o valor da temperatura se mantenha dentro dos padrões desejados, é manter um controle direto sobre a temperatura da água aquecida.

Um controle indireto sobre uma variável secundária do processo pode ser necessário quando o controle direto for difícil de implementar. Um exemplo disso é o forno de uma linha de destila de fumo que tem como objetivo retirar umidade do produto. A variável controlada deveria ser o valor de umidade concentrada no produto na saída do forno.



**Figura 1.5: Forno**

Fonte: CTISM

Entretanto, é muito difícil que essa medida seja obtida com simples instrumentos. Normalmente, a temperatura do forno é tomada como variável controlada. Para isso é feito um estudo e estabelecido que exista uma relação entre a temperatura do forno e a quantidade de umidade no produto. Geralmente, o controle indireto é menos eficaz que o controle direto, porque nem sempre existe uma relação definida e invariável entre a variável secundária e a qualidade do produto que se deseja controlar. (TEIXEIRA, 2006).

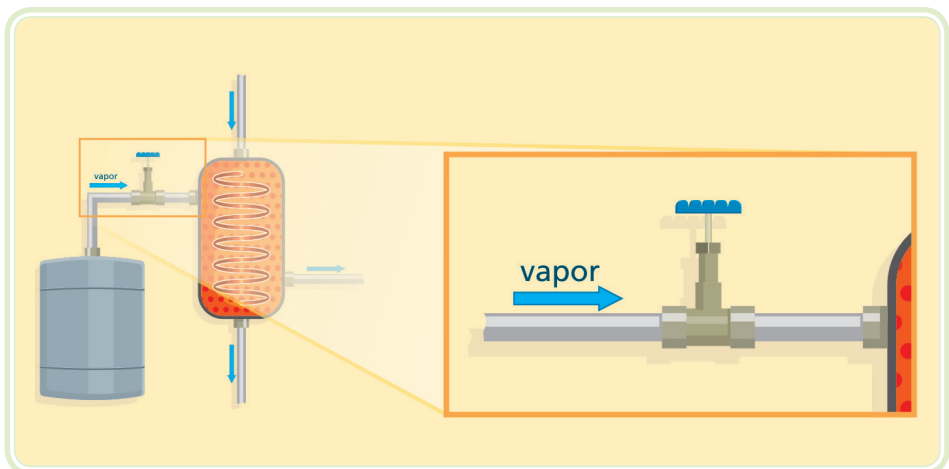
A variável manipulada que é aquela sobre a qual o controlador automático atua. Este pode ser uma válvula comandada por Controlador Lógico Programável (CLP) que, conforme a variação de temperatura, envia o comando para a válvula, a fim de controlar a vazão do vapor, mantendo a variável controlada no valor desejado. A Figura 1.6 mostra uma válvula de controle.



**Figura 1.6: Válvula de controle de vazão**

Fonte: <http://www.eibis.com/eibis/eibiswww/eibisdoc/4221pt.htm>

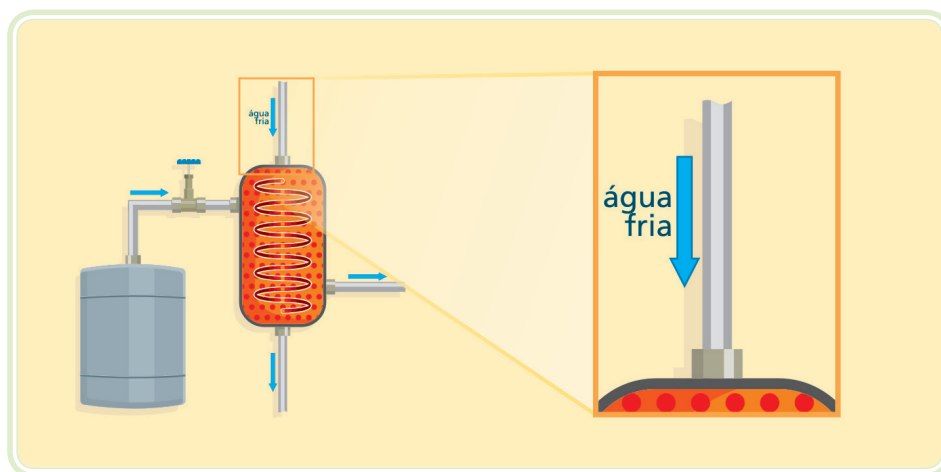
A variável manipulada pode ser qualquer variável do processo que causa uma variação rápida na variável controlada e que seja fácil de manipular. Para o sistema em estudo a variável manipulada pelo controlador deverá ser a vazão de vapor, como mostra a Figura 1.7.



**Figura 1.7: Variável manipulada**

Fonte: CTISM

As variáveis de carga ou secundárias do processo são todas as outras variáveis, com exceção das variáveis manipuladas e controladas. Com relação ao trocador de calor em estudo, a temperatura da água de entrada é uma variável de carga ou secundária, como vemos na Figura 1.8.



**Figura 1.8: Variável de carga ou secundária**  
Fonte: CTISM

### 1.3.3 Reservatório de troca de energia

A energia que entra no processo passa por várias trocas (troca calor com as paredes da tubulação, com o ar e vários elementos), e sai como energia de saída. A quantidade de energia na saída é igual à quantidade de energia na entrada, menos as perdas e a energia armazenada no processo.

$$E_S = E_E - P_P$$

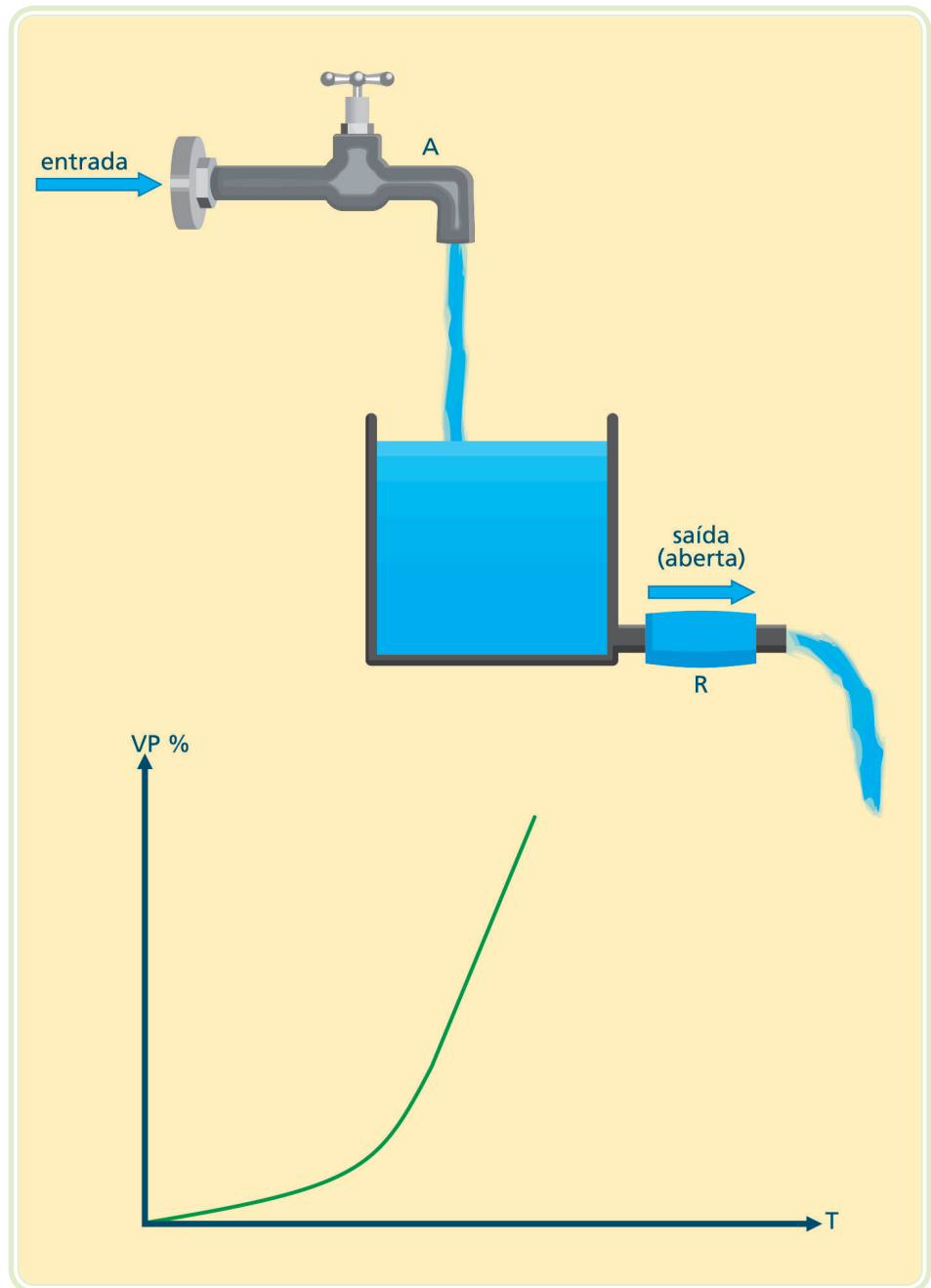
sendo:  
 $E_S$ : energia de saída  
 $E_E$ : energia de entrada  
 $P_P$ : perdas

### 1.4 Autorregulação

O processo que tem a condição de balancear a sua energia de saída com a energia de entrada é chamado de processo estável.

No processo da Figura 1.9, a vazão na saída "R" tende a se igualar à vazão através da válvula "A". Se a válvula "A" for mais aberta ou mais fechada, o nível do tanque irá aumentar ou diminuir até que a vazão de saída através de "R" seja igual à nova vazão na entrada.

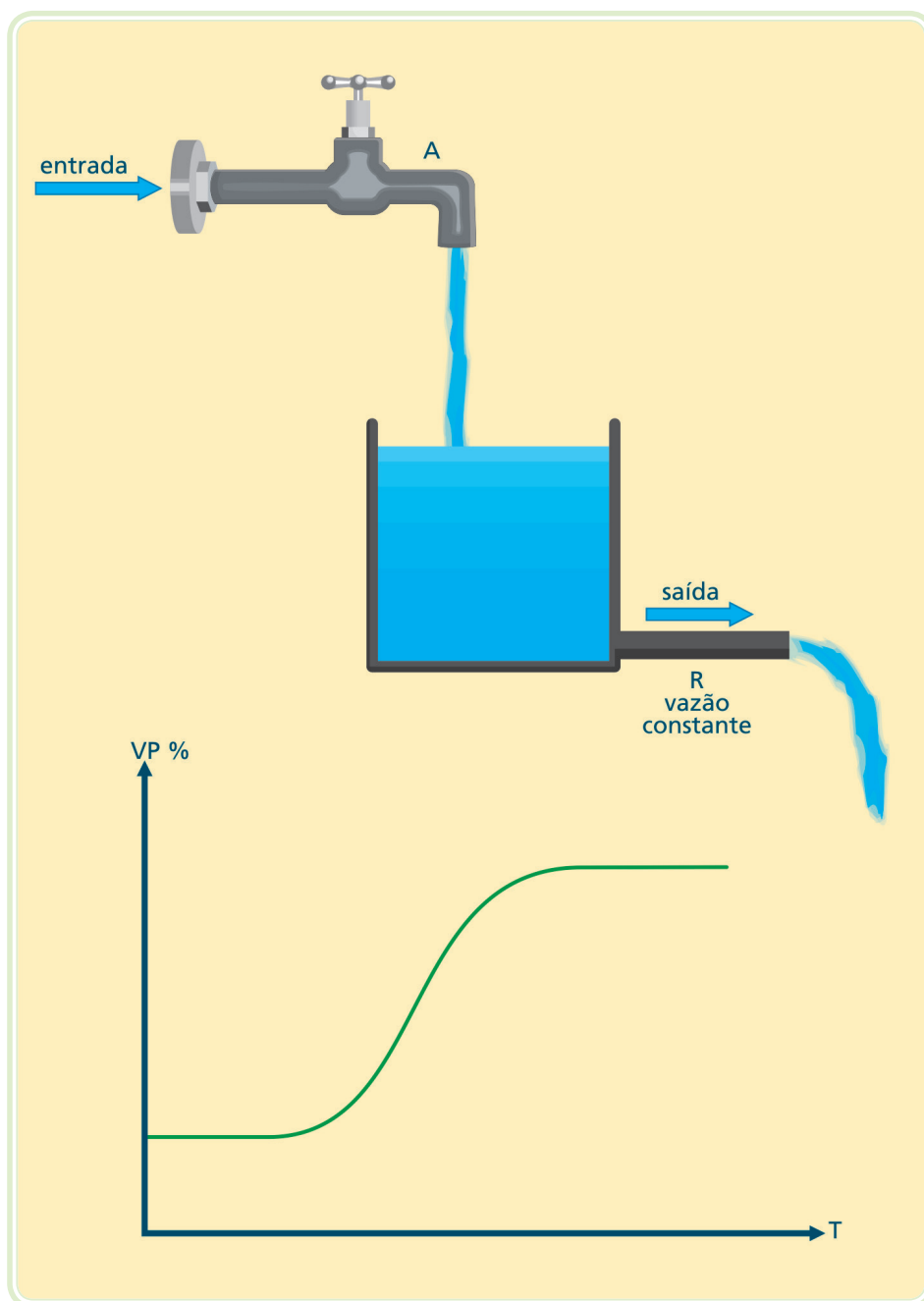
Então, através de amplos limites, o processo irá estabilizar e sua vazão de saída será igual a sua vazão de entrada. O limite desse exemplo depende da profundidade do tanque. Esse tipo de processo é chamado de processo estável ou autorregulado.



**Figura 1.9: Processo estável ou autorregulado**

Fonte: CTISM

Podemos distinguir os processos estáveis (Figura 1.9) dos processos instáveis (Figura 1.10). No processo instável a vazão de saída é mantida constante por uma bomba de deslocamento positivo e velocidade constante.



**Figura 1.10: Processo instável ou não autorregulado**

Fonte: CTISM

“Caso a vazão de entrada seja diferente da vazão de saída, o tanque irá esvaziar completamente ou transbordar, pois não existe tendência deste processo equilibrar sua saída com sua entrada.” (BEGA, 2003).

O processo estável facilita as aplicações do controle automático, já o processo instável irá torná-las difíceis, ou talvez impossíveis.

## 1.5 Propriedades

Para controlar a temperatura da água no processo, seria preciso observar o termômetro de água quente, conferir com o valor desejado e corrigir a abertura da válvula de vapor de maneira a manter ou mudar a temperatura da água. Os processos se caracterizam por atrasarem as indicações das variações, aumentando demais as dificuldades do controle. Esses retardos são chamados atrasos de tempo do processo.

Os atrasos de tempo do processo são causados por três propriedades que são: resistência, capacitância e tempo morto.

### 1.5.1 Resistência

São as partes do processo que resistem a uma transferência de energia ou de material. Como exemplo temos, as paredes das serpentinas no processo estudado, a resistência à passagem de um fluido em uma tubulação, a resistência à transferência de energia, etc.

### 1.5.2 Capacitância

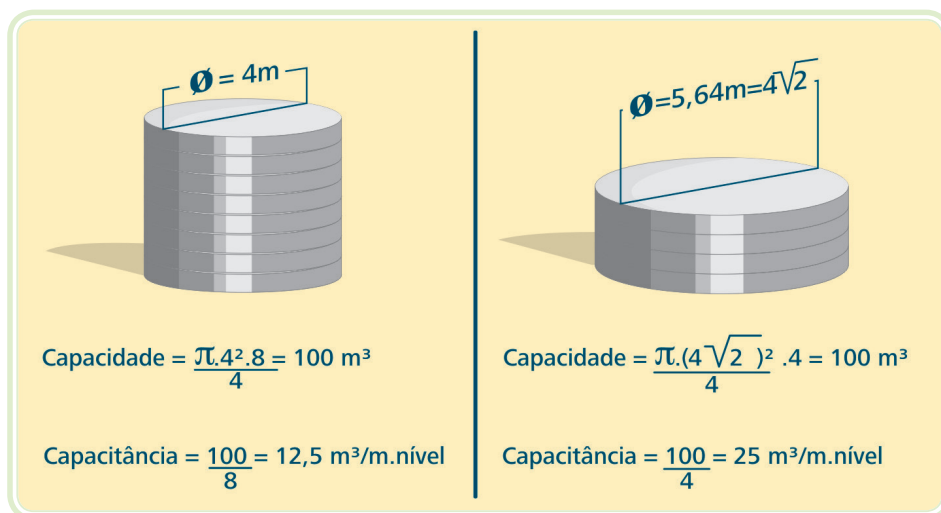
“É uma mudança na quantidade contida, por unidade mudada na variável de referência.” (BEGA, 2003).

Tome cuidado para não confundir capacitância com capacidade, pois capacidade são as partes do processo que têm condições de armazenar energia ou material.

Note que embora os tanques tenham a mesma capacidade (por exemplo, 100 m<sup>3</sup>), apresentam capacitâncias diferentes.



Conforme a Figura 1.11, a capacitância representa a relação entre a variação de volume e a variação de altura do material do tanque.



**Figura 1.11: Tanques de armazenamento**

Fonte: CTISM

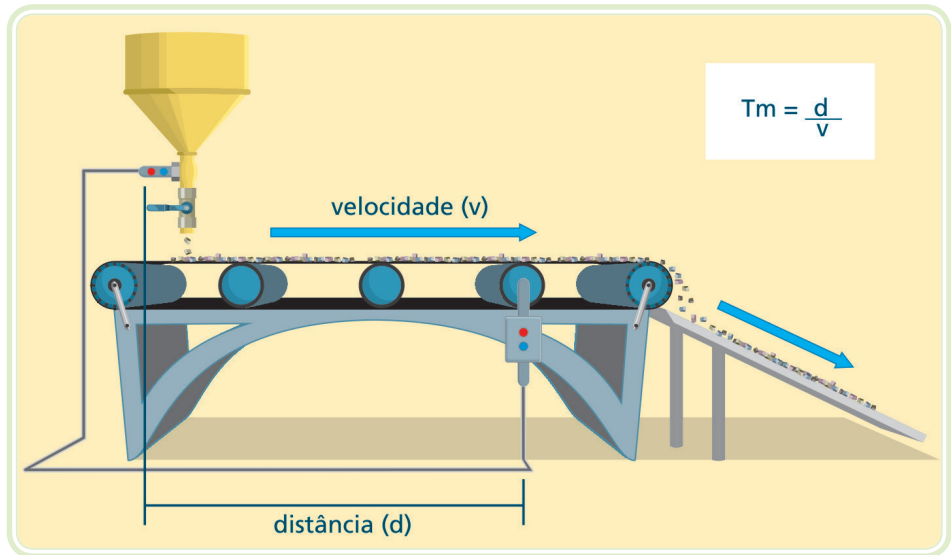
Um exemplo do problema que a capacitância pode trazer para o processo, é que ficaria difícil o operador controlar manualmente o processo, devido à pequena massa de líquido que circula pelo trocador de calor, variando, assim, constantemente a temperatura final da água aquecida.

### 1.5.3 Tempo morto

O tempo morto é o intervalo de tempo onde uma resposta do sistema não é verificada. Isso ocorre devido a vários fatores, um deles diretamente ligado a distância percorrida e à velocidade.

“Como os outros elementos fundamentais (resistência e capacitância), raramente ocorrem sozinhos, são poucos os processos onde não está presente o tempo morto. Para qualquer projeto o tempo morto deve ser considerado.” (BEGA, 2003).

Um exemplo de processo que consiste basicamente de tempo morto é o sistema de controle de peso do produto sobre uma correia transportadora (Figura 1.12). O tempo morto entre a ação da válvula e a variação resultante no peso, é igual a distância entre a válvula e a célula detectora de peso dividida pela velocidade de transporte da correia.



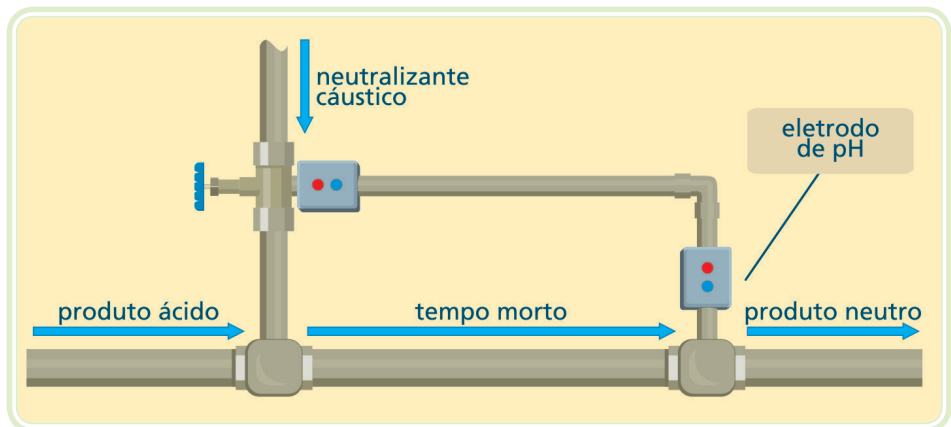
**Figura 1.12: Mesa transportadora com detector de peso**

Fonte: CTISM



Se o fluido flui a uma velocidade de 4 m/s e a distância é igual a 20 m, o tempo morto será de 5 s.

Outro exemplo de tempo morto está ilustrado na Figura 1.13. No processo químico em que é acrescentado o neutralizante cáustico ao produto ácido, deve-se esperar para que ocorram a mistura e as reações químicas para depois fazer a medição e verificar o pH. Conforme o valor medido, deve-se abrir ou fechar a válvula de neutralizante cáustico, para que o valor de neutralidade medida seja o esperado.



**Figura 1.13: Medição de pH**

Fonte: CTISM

Em um sistema de controle com realimentação, uma ação corretiva é aplicada na entrada do processo baseada na observação da sua saída. Um processo que possui tempo morto não responde imediatamente à ação de controle, fato que complica bastante a efetividade do controle. Por esta razão, o tempo morto é considerado como o elemento mais trabalhoso que existe em sistemas físicos.

## 1.6 Distúrbios de processo

No processo, o controle automático deve considerar particularmente três dos vários tipos de distúrbios de processo que podem ocorrer.

### 1.6.1 Distúrbios relacionados à alimentação

Relacionado à mudança de energia ou material na entrada do processo. No trocador de calor, as mudanças na temperatura do vapor, na entrada de água fria ou na abertura da válvula, são distúrbios de alimentação.

### 1.6.2 Distúrbios relacionados à demanda

É uma mudança de energia ou material na saída do processo. No exemplo do trocador de calor, a mudança da vazão de água fria devido a um aumento da vazão de água aquecida é um distúrbio de demanda.

### 1.6.3 Distúrbios relacionados à *setpoint*

É uma mudança no ponto de trabalho do processo, elas são geralmente aplicadas muito repentinamente ou elas são geralmente mudanças na alimentação e, por isso, devem atravessar o processo inteiro para serem medidas e controladas.

## 1.7 Funções básicas do controle

- **Medição** – o transmissor, cujo elemento primário está em contato com a variável, transforma o valor lido em sinal padrão e envia-o para o controlador.
- **Comparação** – o controlador, ao receber o sinal, compara-o com o valor desejado (*setpoint*).
- **Correção** – caso exista desvio, o controlador emite um sinal de correção para o elemento final de controle.

### 1.7.1 Atrasos de tempo do processo

Os processos têm características que atrasam as mudanças nos valores das variáveis, o que, conseqüentemente, dificulta a ação de controle.

- **Capacitância** – é a capacidade em que partes do processo têm de armazenar energia ou material.
- **Resistência** – são as partes do processo que resistem a uma transferência de energia ou material, entre capacitâncias.
- **Tempo morto** – é o tempo verificado entre a ocorrência de uma alteração no processo e a sua percepção pelo elemento sensor (transmissor).

### 1.7.2 Atrasos na malha de controle

São os atrasos inerentes à associação de instrumentos, como atrasos na medição, na transmissão dos controladores e do elemento final de controle.

#### 1.7.2.1 Processo monocapacitivo (processo de 1ª ordem)

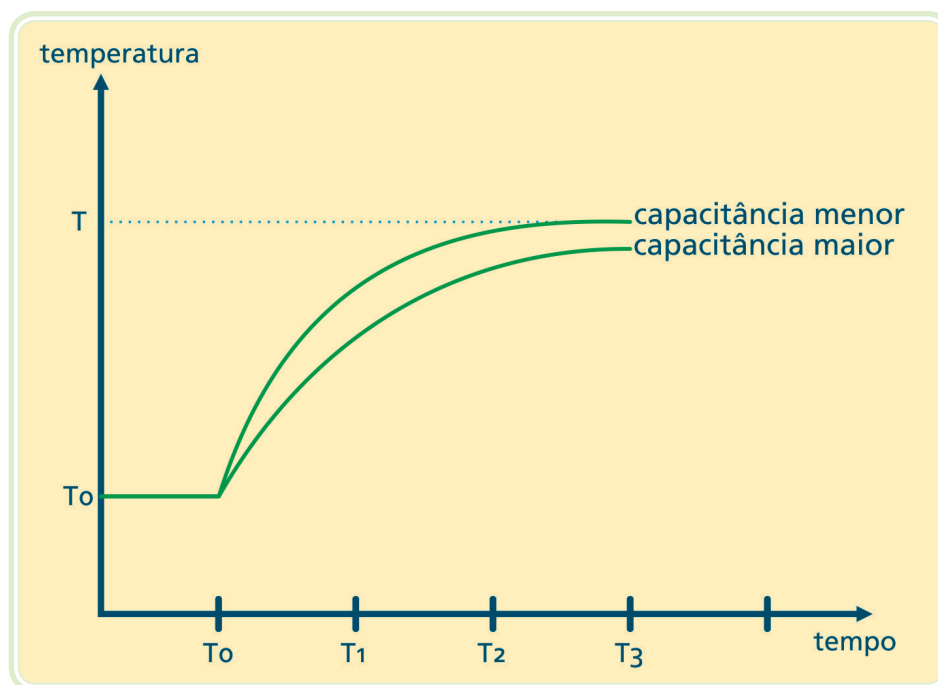


Figura 1.14: Processo monocapacitivo

Fonte: CTISM

#### Observação

Ambas as curvas indicam que a variável começa a aumentar exatamente ao mesmo tempo em que o distúrbio é provocado.

### 1.7.2.2 Processo bicapacitivo (processo de 2ª ordem)

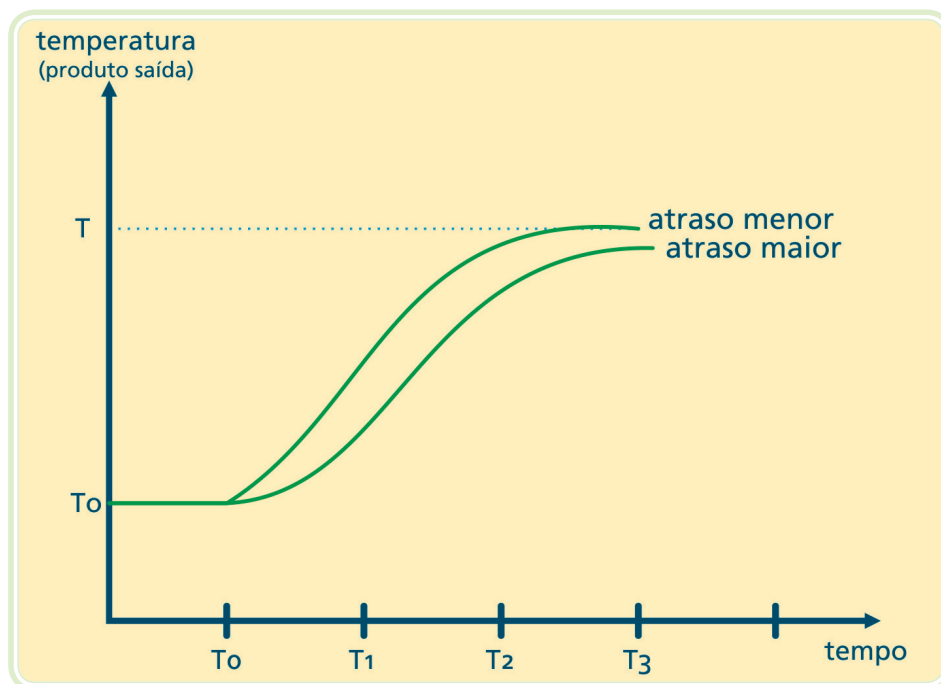


Figura 1.15: Processo bicapacitivo

Fonte: CTISM

#### Observação

Note que a variável, em vez de mudar imediatamente, começa a subir de forma lenta. Por este motivo, as correções só são aplicadas após um determinado tempo. A resposta deste processo apresenta sempre um atraso em relação à resposta do monocapacitivo.

### 1.7.2.3 Processo multicapacitivo

Possui mais de duas capacitâncias, porém seu comportamento é similar ao processo bicapacitivo.

O sistema de controle é então um equipamento sensível ao desvio e é autocorretivo. Ele toma um sinal na saída de um processo e o realimenta na entrada do processo. Então, o controle em malha fechada é também comumente chamado controle à realimentação (*feedback*).



## 1.8 Diagrama de bloco de uma malha de controle fechada

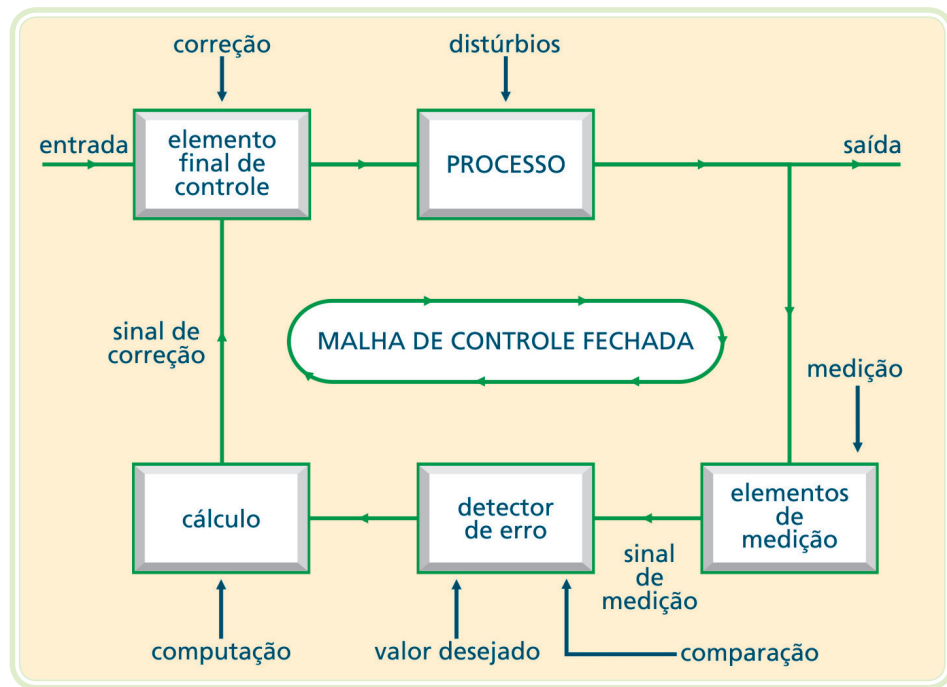


Figura 1.16: Diagrama de bloco – malha fechada

Fonte: CTISM

## 1.9 Modos de controle

É a maneira pela qual um controlador faz a correção em resposta a um desvio da variável controlada.

Os modos de controle são quatro:

- Duas posições (*on-off*)
- Proporcional
- Integral (*reset*)
- Derivativo (*rate* ou *pre-act*)

Industrialmente, os controladores convencionais são construídos com os seguintes modos:

- Duas posições (*on-off*);
- Proporcional;
- Proporcional + Integral (P + I);

- Proporcional + Derivativo (P + D);
- Proporcional + Integral + Derivativo (P + I + D).

### 1.9.1 Controle *on-off*

É o mais simples e mais barato. Este modo de controle só permite duas posições do elemento final: aberto/fechado ou ligado/desligado. Veja a Figura 1.17.

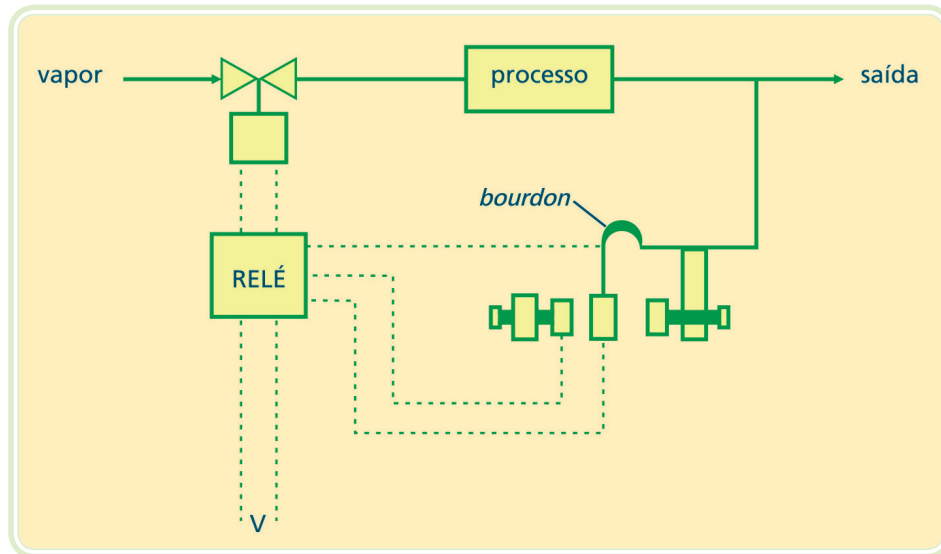


Figura 1.17: Controle *on-off*

Fonte: CTISM

O uso do controle *on-off* fica restrito a processos que apresentam grande capacitância ou a processo em que a oscilação não seja prejudicial. É um controle muito utilizado em sistemas de segurança.

### 1.9.2 Controle proporcional

“Nesse controle, a amplitude de correção é proporcional à amplitude do desvio. O elemento final se move para uma determinada posição, para cada valor de desvio.” (GONÇALVES, 2003).

A informação de variação do processo chega ao controlador onde se constata o desvio do valor desejado. Nesse momento o controlador começa a dar uma correção proporcional a esse erro, mandando abrir ou fechar a válvula para que a variável possa retornar ao valor desejado. Como nesse modo de controle a correção é proporcional ao tamanho do erro, a válvula reagirá para determinada posição, que trará uma nova situação de equilíbrio ao processo (diferente da anterior).

Após esse equilíbrio, verifica-se a presença de um erro final chamado de *offset* ou erro de regime. Esse erro torna-se limitante para o uso do controlador puramente proporcional.



Vale ressaltar que este erro pode ser minimizado e não eliminado automaticamente, o que pode ser feito através de um ajuste do controlador proporcional.

### 1.9.3 Controle proporcional + integral

É o melhor dos dois modos de controle. O modo proporcional, que corrige os erros instantaneamente e o integral que se encarrega de eliminar, ao longo do tempo, o *offset* característico do modo proporcional. Nesse controlador, o modo integral executa automaticamente o reajuste manual que o operador faria para eliminar o *offset*. A ação integral ocasiona uma correção tal, que a velocidade de correção é proporcional à amplitude do desvio. O modo de correção integral não é utilizado sozinho, pois corrige muito lentamente.

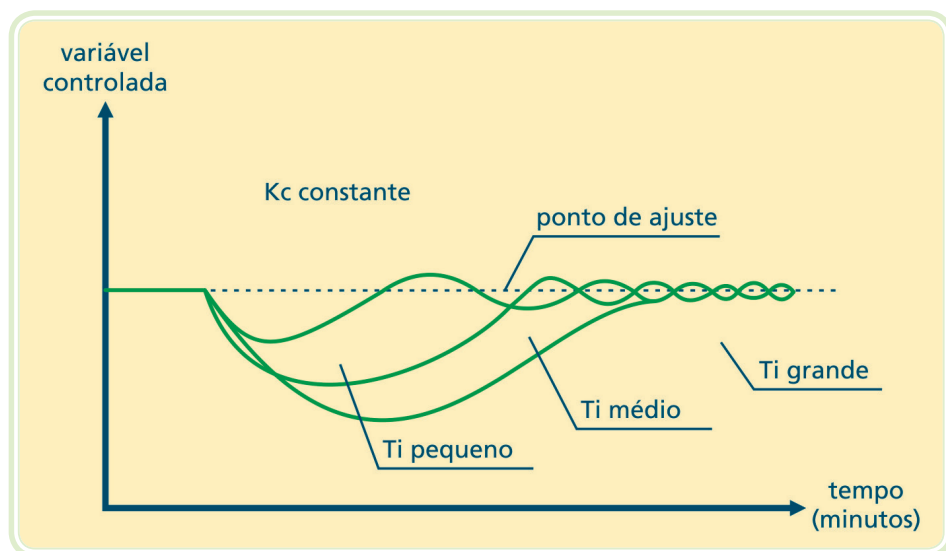


Figura 1.18: Controlador PI

Fonte: CTISM

### 1.9.4 Controle proporcional + derivativo

Resulta da associação entre o controlador proporcional e o derivativo. O modo derivativo acarreta uma correção proporcional à velocidade do desvio.

Quando a variável se afasta do *setpoint*, o modo derivativo faz com que a saída varie mais do que ocorreria somente com o modo proporcional. Como consequência, a variável tende a se aproximar mais rapidamente do *setpoint*. Quando a variável está retornando ao *setpoint*, o modo derivativo exerce uma



ação contrária, reduzindo as eventuais oscilações e diminuindo o tempo de estabilização, diferentemente do que se houvesse somente a correção proporcional.

O efeito estabilizante do modo derivativo permite que se utilize uma faixa proporcional menor, ocasionando um *offset* menor.

Note-se, entretanto, que o modo derivativo não é capaz de eliminar o *offset*, visto que não exerce qualquer ação quando se tem um desvio permanente.

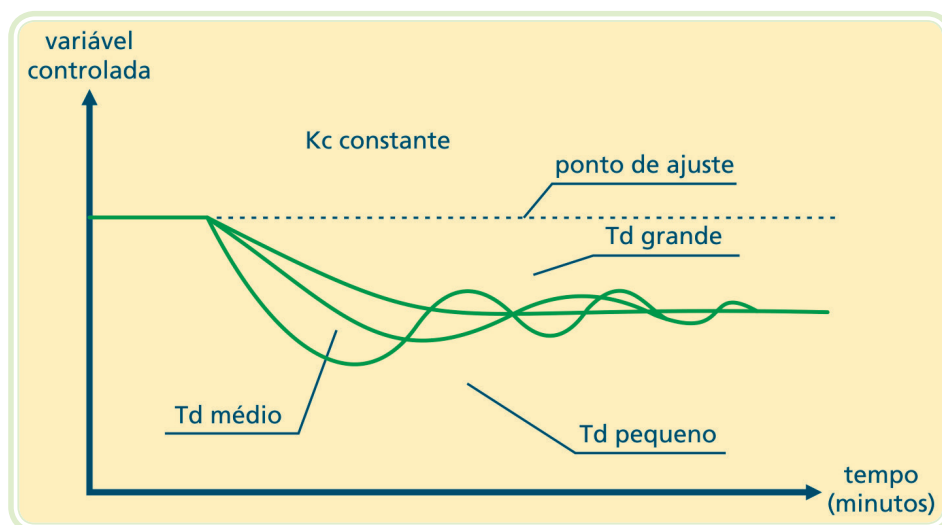


Figura 1.19: Controlador PD

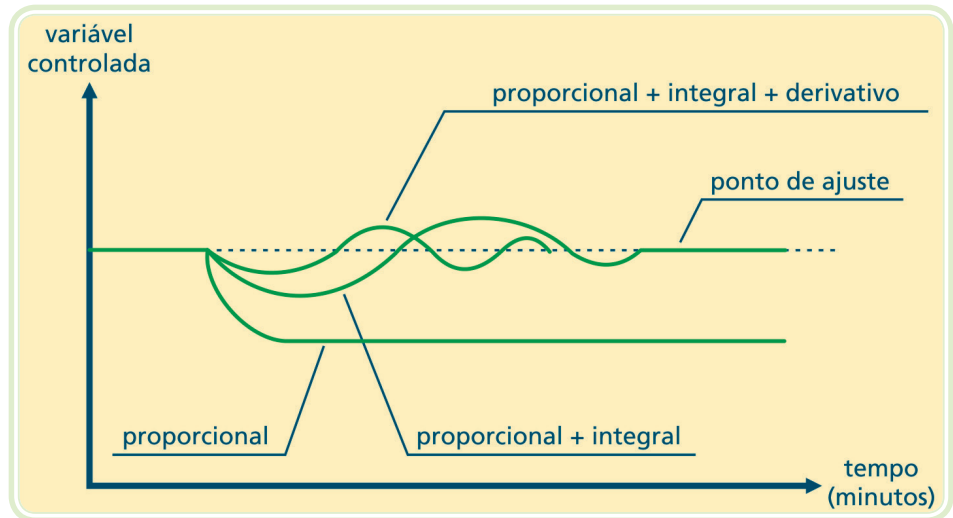
Fonte: CTISM

### 1.9.5 Controle proporcional + integral + derivativo

Resulta da associação dos três tipos de controle. Combinam-se dessa maneira as vantagens de cada um dos modos de controle. A vantagem de se incluir a ação derivativa no controlador P + I.

Note que, com o P + I + D, o processo se estabiliza mais rapidamente e temos um desvio máximo reduzido.





**Figura 1.20: Comparação dos controladores**

Fonte: CTISM

### Observação

O controlador P + I + D tem três parâmetros de ajuste:

- Ganho ou faixa proporcional;
- Taxa de *reset* ou tempo integral;
- Tempo derivativo.

É utilizado quando se deseja uma grande rapidez de correção, ausência de *offset*, aliado a um desvio máximo reduzido. Em geral, não há necessidade de ação derivativa no controle de nível e pressão.

No caso de vazão, utilizam-se os modos proporcional e integral. A adição do modo derivativo em vazão se torna contraproducente. O modo derivativo é adicionado normalmente no controle de temperatura por ser considerada uma variável de reação lenta.

### Resumo

Para um melhor entendimento dos processos industriais, é necessário o estudo e conhecimento de nomenclaturas e dispositivos lógicos com sua conceituação, para que se estabeleça um padrão de estudo referente às plantas industriais.

## Atividades de aprendizagem



1. Diferencie processos contínuos e processos discretos ou manufaturas.
2. Defina variável controlada do processo.
3. Defina variável manipulada do processo.
4. Defina variável de carga ou secundária do processo.
5. Qual a fórmula que define a troca de energia no processo?
6. Explique resistência, capacitância e tempo morto.
7. Quais as funções básicas do controle?
8. Cite os modos de controle e explique.

Poste as atividades no AVEA em um arquivo com as respostas das questões, para que elas façam parte de sua avaliação.



# Aula 2 – Conceitos fundamentais de metrologia

## Objetivos

Conhecer os principais instrumentos de medição dos processos industriais.

Identificar os sistemas de medição no processo.

Conhecer a normalização ISA para instrumentação.

## 2.1 Classes dos instrumentos

Os processos são diferentes para diversos tipos de produtos, como, a fabricação dos derivados do petróleo, produtos alimentícios, a indústria de papel e celulose, etc.

Pressão, vazão, temperatura, nível, pH, condutividade, velocidade, umidade, são exemplos de variáveis cujo controle é importante para manter constantes seus valores nos processos.

O sistema de controle que permite fazer isto se define como aquele que compara o valor da variável do processo com o valor desejado e toma uma atitude de correção de acordo com o desvio existente, sem a intervenção do operador.

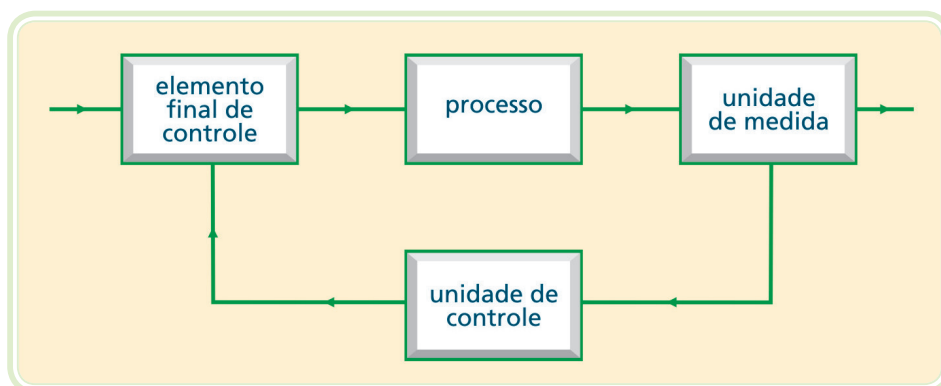
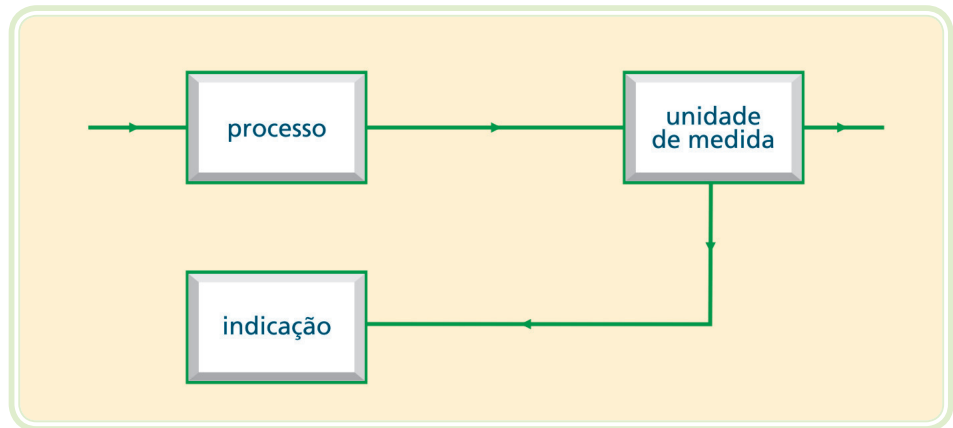


Figura 2.1: Malha de controle fechada

Fonte: CTISM

As malhas de controle podem ser abertas ou fechadas. Na Figura 2.1 vemos uma malha fechada e na Figura 2.2, uma malha de controle aberta.



**Figura 2.2: Malha de controle aberta**

Fonte: CTISM

## 2.2 Características, padrões e erros dos instrumentos

Alves (2005) aponta os principais instrumentos de controle:

**Faixa de medida (*range*)** – são os valores medidos no instrumento que estão dentro do limite mínimo e máximo da capacidade indicada.

**Alcance (*span*)** – é a diferença algébrica entre o valor superior e o inferior da faixa de medida do instrumento.

**Erro** – é a diferença entre o valor lido ou transmitido pelo instrumento em relação ao valor real da variável medida.

**Exatidão** – quando o instrumento de medição dá respostas próximas a um valor verdadeiro.

**Rangeabilidade (*largura de faixa*)** – é a relação entre o valor máximo e o valor mínimo, estes lidos com a mesma exatidão na escala de um instrumento.

**Zona morta** – é a máxima variação que a variável pode ter sem que provoque alteração na indicação ou sinal de saída de um instrumento.

**Sensibilidade** – é a mínima variação que a variável pode ter, provocando alteração na indicação ou sinal de saída de um instrumento.

**Histerese** – é o erro máximo apresentado por um instrumento para um mesmo valor em qualquer ponto da faixa de trabalho, quando a variável percorre toda a escala nos sentidos ascendente e descendente.

**Repetibilidade** – é a máxima diferença entre diversas medidas de um mesmo valor da variável, adotando sempre o mesmo sentido de variação.

## 2.3 Tipos dos instrumentos

Podemos denominar os instrumentos e dispositivos utilizados em instrumentação de acordo com a função que desempenham no processo.

### 2.3.1 Indicador

“Dispositivo que apenas indica o valor de uma determinada variável de processo sem interferir no processo.” (ALVES, 2005). Como podemos observar na Figura 2.3.

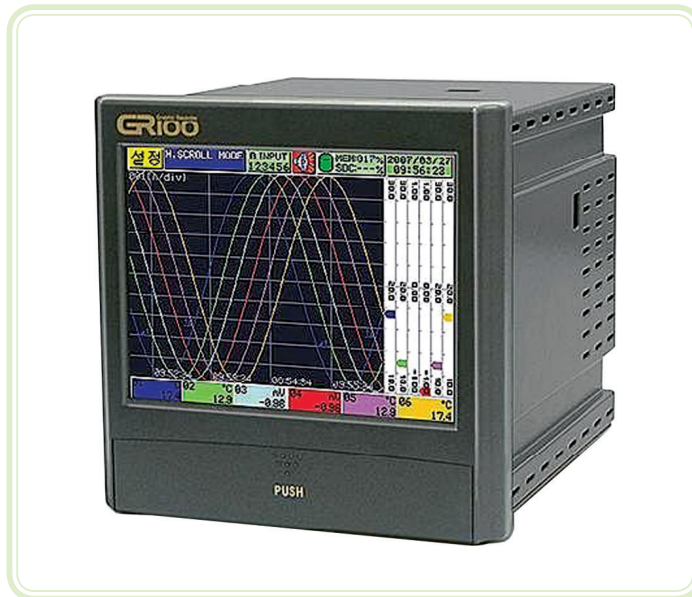


**Figura 2.3: Indicador**

Fonte: <http://www.vico.com.br/tacometrospainel.htm>

### 2.3.2 Registrador

Instrumento que registra a variável através de um traço contínuo ou pontos em um gráfico. Atualmente as informações são armazenadas em modo digital. Observamos na Figura 2.4, um registrador gráfico.



**Figura 2.4: Registrador**

Fonte: <http://www.instrumentacao.net/introducao/iniciacoes.php>

### 2.3.3 Transmissor

A Figura 2.5 apresenta um instrumento que determina o valor de uma variável no processo através de um elemento primário, tendo o mesmo sinal de saída (pneumático ou eletrônico) cujo valor varia apenas em função da variável do processo.



**Figura 2.5: Transmissor**

Fonte: <http://www.instrumentacao.net/introducao/iniciacoes.php>



### 2.3.4 Controlador

A Figura 2.6 mostra um instrumento que compara a variável controlada com um valor desejado e fornece um sinal de saída, a fim de manter a variável controlada em um valor específico ou entre valores determinados. A variável pode ser medida diretamente pelo controlador ou indiretamente através do sinal de um transmissor ou transdutor.



**Figura 2.6: Controlador do processo**

Fonte: <http://www.contemp.com.br/produtos.php?area=1&segment=1&categoria=1&subcategoria=1&produto=5&tipo=egmento=0>

### 2.3.5 Elemento final de controle

Observe na Figura 2.7 esse instrumento. Ele modifica diretamente o valor da variável manipulada de uma malha de controle.



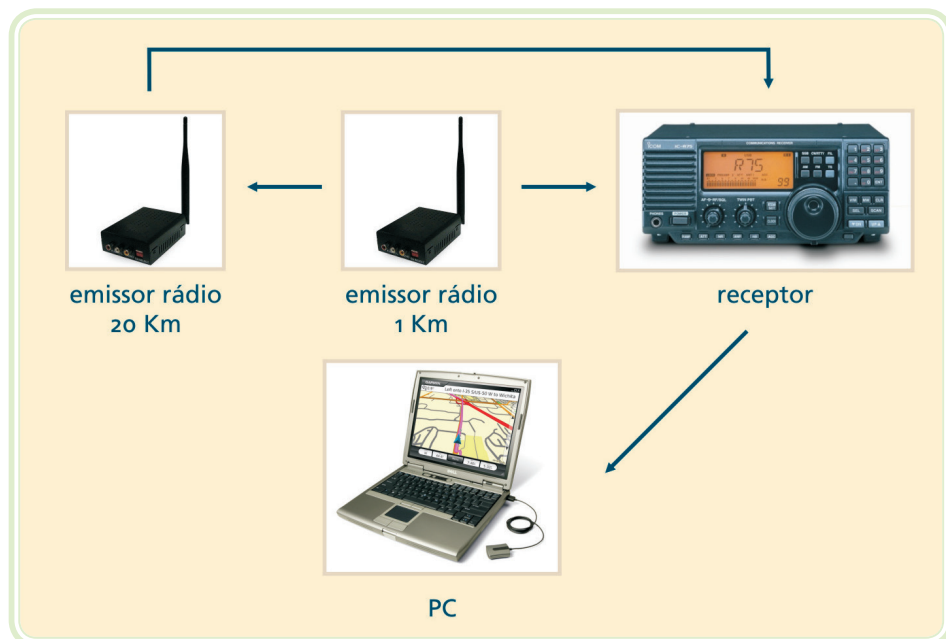
**Figura 2.7: Válvula de controle**

Fonte: <http://www.eibis.com/eibis/eibiswww/eibisdoc/4221pt.htm>

## 2.4 Sistemas de medição

### 2.4.1 Telemetria

Chamamos de telemetria a técnica de transportar medições obtidas no processo a distância, em função de um instrumento transmissor. Veja a Figura 2.8.



**Figura 2.8: Telemetria**

Fonte: CTISM

## 2.4.2 Transmissores

Os transmissores são instrumentos que medem uma variável do processo e a transmitem a distância a um instrumento receptor, indicador, registrador, controlador ou a uma combinação desses. Existem vários tipos de sinais de transmissão: pneumáticos, elétricos, hidráulicos e eletrônicos.

### 2.4.2.1 Transmissão pneumática

Em geral, os transmissores pneumáticos geram um sinal pneumático variável. Isto está dentro de normas que garantem uma margem de pressão para esta modalidade.



**Figura 2.9: Válvula de transmissão pneumática**

Fonte: <http://www.eibis.com/eibis/eibiswww/eibisdoc/4221pt.htm>

### 2.4.2.2 Transmissão eletrônica

Os transmissores eletrônicos geram vários tipos de sinais em painéis. Os mais utilizados são 4 a 20 mA, 10 a 50 mA e 1 a 5 V.

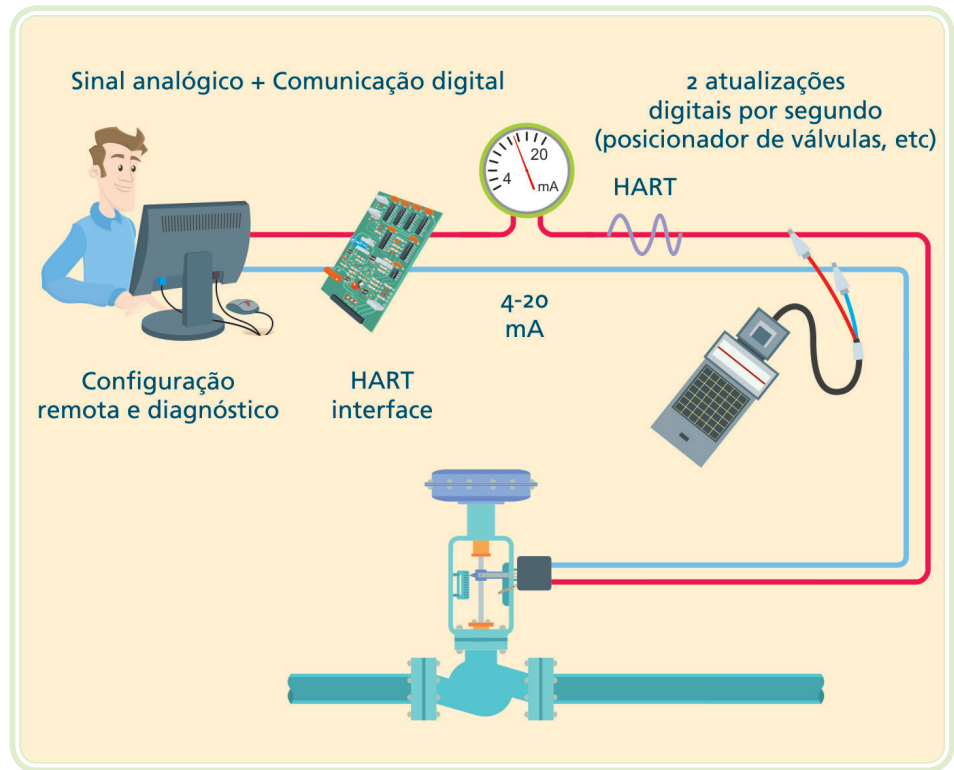
### 2.4.2.3 Protocolo HART (*Highway Address Remote Transducer*)

O HART é baseado no sistema mestre/escravo, permitindo a existência de dois mestres na rede simultaneamente. As desvantagens são uma limitação



Para saber mais sobre os benefícios do protocolo de comunicação HART® em sistemas de instrumentação inteligentes, acesse: <http://www.smar.com/brasil/hart.asp>

quanto à velocidade de transmissão das informações e a falta de economia de cabeamento (precisa-se de um par de fios para cada instrumento).



**Figura 2.10:** O protocolo HART® permite que dois equipamentos mestres acessem informação de um mesmo equipamento de campo (escravo)  
Fonte: CTISM



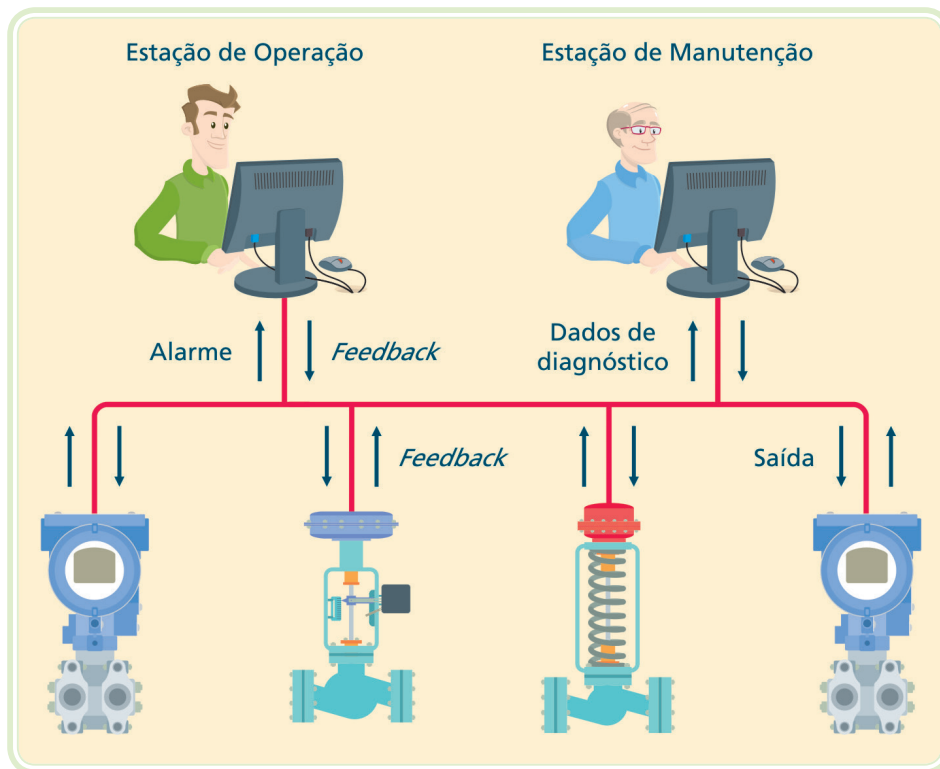
Para saber mais sobre arquitetura *foundation fieldbus*, acesse: <http://www.smar.com/brasil2/fieldbus.asp>

#### 2.4.2.4 Fieldbus

É um sistema de comunicação digital bidirecional que interliga equipamentos inteligentes de campo com o sistema de controle ou com equipamentos localizados na sala de controle, como mostra a Figura 2.11.

Esse padrão permite comunicação entre uma variedade de equipamentos tais como: transmissores, válvulas, controladores, CLP, etc. Eles podem ser de fabricantes diferentes (interoperabilidade) e ter controle distribuído (cada instrumento tem a capacidade de processar um sinal recebido e enviar informações a outros instrumentos para correção de uma variável – pressão, vazão, temperatura, etc.).

Uma grande vantagem é a redução do número de cabos do controlador ligados aos instrumentos de campo. Apenas um par de fios é o suficiente para a interligação de uma rede *fieldbus*, como se pode observar na Figura 2.11.



**Figura 2.11: Sistema *fieldbus***  
 Fonte: CTISM

## 2.5 Normas da instrumentação ISA e simbologia

As normas de instrumentação estabelecem símbolos, gráficos e codificação para identificação alfanumérica de instrumentos ou funções programadas, que deverão ser utilizadas nos diagramas e malhas de controle de projetos de instrumentação. De acordo com a norma ISA-S5, cada instrumento ou função programada será identificado por um conjunto de letras que o classifica funcionalmente e um conjunto de algarismos que indica a malha à qual o instrumento ou função programada pertence. (CASTRUCCI, 1990).

Eventualmente, para completar a identificação, poderá ser acrescido um sufixo. O quadro abaixo (Figura 2.12) mostra um exemplo de instrumento identificado de acordo com a norma preestabelecida.

















De acordo com a norma ISA - S5				
P	RC	001	02	A
variável	função	área de atividade	n° sequencial de malha	sufixo
identificação		identificação de malha		
identificação do instrumento				
P = variável medida - pressão R = função passiva ou de informação - registrador C = função ativa ou de saída 001 = área de atividade onde o instrumento atua A = sufixo				

**Figura 2.12: Exemplo de identificação de instrumento conforme norma**  
 Fonte: CTISM

As simbologias apresentadas nas Figuras 2.13 e 2.14 são utilizadas em fluxogramas de processo e engenharia e seguem a Norma ANSI/ISA-S5.1.

Símbolo	Função	Símbolo	Função
—	Suprimento ou impulso	— / — / —	Sinal não definido
///	Sinal pneumático	-----	Sinal elétrico
└└└	Sinal hidráulico	///	
~~~~~	Sinal eletromagnético ou sônico (transmissão guiada)	×××	Tubo capilar
○-○-○	Ligação configurada internamente ao sistema (ligação por <i>software</i> )	~ ~ ~	Sinal eletromagnético ou sônico (transmissão não guiada)
×××	Sinal binário pneumático	⊖-⊖-⊖	Ligação mecânica
●-●-●	Sinal <i>fieldbus</i>	-----	Sinal binário elétrico
		///	

**Figura 2.13: Simbologia para fluxograma**  
 Fonte: CTISM

	Instrumentos descritos	Instrumentos compartilhados	Computador de processo	Controlador programável
Painel principal acessível ao operador				
Montado no campo				
Painel auxiliar acessível ao operador				
Painel auxiliar não acessível ao operador				

**Figura 2.14: Simbologia para fluxograma**

Fonte: CTISM

## Resumo

Nesta aula estudamos a base da instrumentação, verificamos a nomenclatura e tipos de instrumentos, passando pela norma ISA e simbologia.

## Atividades de aprendizagem

1. Diferencie malha aberta e malha fechada.
2. Cite tipos de instrumentos do processo.
3. Cite características dos instrumentos.
4. Escreva sobre os sistemas de medição estudados.
5. Qual a finalidade das normas de instrumentação?
6. Qual o objetivo da simbologia da instrumentação?



Poste as atividades no AVEA em um arquivo com as respostas das questões, para que elas façam parte de sua avaliação.





# Aula 3 – Válvulas de controle

## Objetivos

Conhecer as válvulas de controle.

Aplicar e dimensionar as válvulas de controle.

## 3.1 Válvulas direcionais e válvulas proporcionais

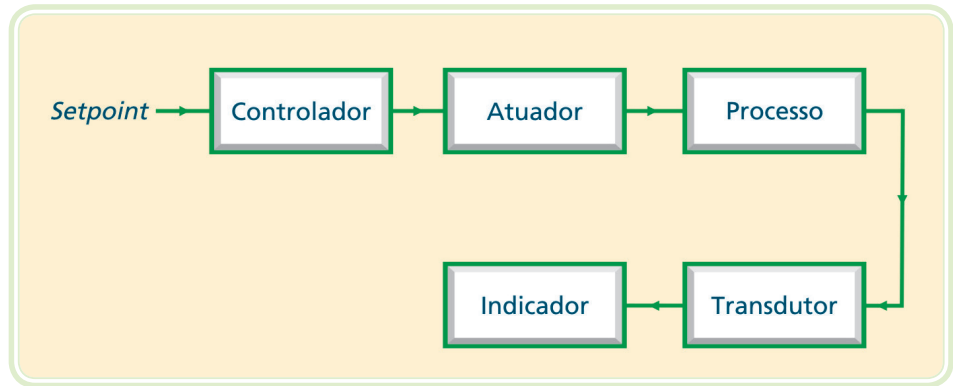
Os circuitos onde se utilizam válvulas de controle podem ser definidos basicamente como circuitos de controle discreto ou *on-off* e circuitos de controle contínuo. No primeiro caso empregam válvulas que recebem sinais de amplitude discreta a fim de modificar a variável de saída, que pode ser pressão vazão ou direção, de forma discreta. Já nos circuitos com atuação contínua empregam-se válvulas com que recebem sinais de amplitude contínua a fim de modificar a variável de saída em valores contínuos.

## 3.2 Sistema de controle em malha aberta e fechada

Com relação a forma de implementação os sistemas de controle, podem ser classificados de duas formas: em malha aberta e em malha fechada.

Nestes sistemas de controle o sinal de saída não afeta a ação de controle, ou seja, não se mede o sinal de saída nem este sinal é enviado de volta para comparação com o sinal de entrada.

- **Malha aberta** – quando o controlador gera o sinal para o atuador, com base no sinal piloto, sem obter nenhuma informação sobre o andamento do processo. É um sistema sem realimentação, sendo que o sinal de entrada é o próprio *setpoint*.

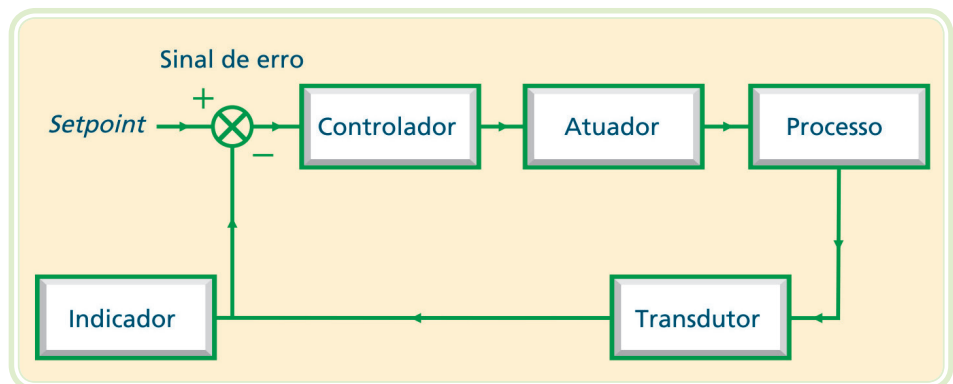


**Figura 3.1: Malha aberta (sem realimentação)**

Fonte: CTISM

Portanto, o sinal de erro excita o controlador de modo a reduzir o erro e trazer o valor do sinal de saída para o valor desejado. O controle em malha fechada recai no uso do sinal do transdutor, também definido como realimentação ou retroação, a fim de reduzir o erro do sistema.

- **Malha fechada** – quando o controlador gera o sinal para o atuador, com base no sinal piloto, porém agora ele recebe informação sobre o andamento do processo, através de um transdutor. O sinal entrada, no caso, corresponde à diferença entre o *setpoint* e o sinal do transdutor, por isso, também é chamado de sinal de erro.



**Figura 3.2: Malha fechada (com realimentação)**

Fonte: CTISM

### 3.3 Sistema de controle à malha fechada x sistema de controle à malha aberta

O controle em malha fechada apresenta a vantagem de ser relativamente insensível a perturbações externas e a alterações de parâmetros do sistema. Em contrapartida os sistemas em malha aberta apresentam menores problemas

em relação a sua estabilidade. Portanto, em sistemas que não apresentam distúrbios e as entradas são conhecidas antecipadamente, o controle à malha aberta apresenta bons resultados. Caso haja a possibilidade de ocorrerem perturbações externas e ou variações nos parâmetros dos componentes, a solução de controle à malha fechada é mais vantajosa.

## 3.4 Tipos de válvulas de controle mais utilizadas

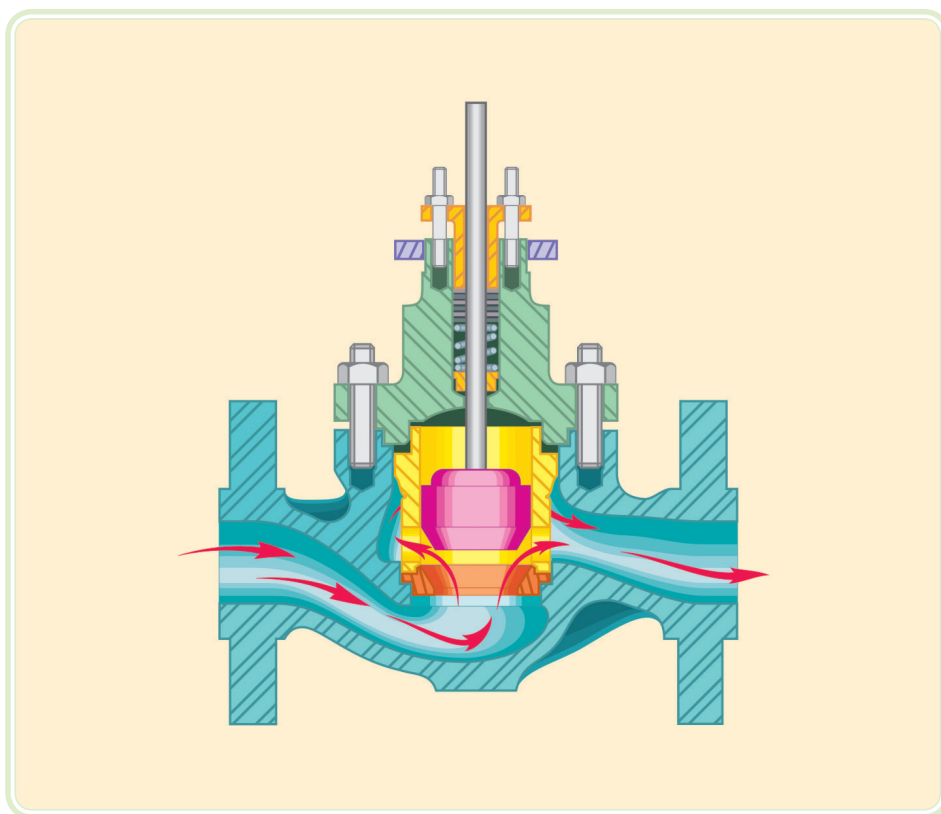
### 3.4.1 Válvula globo

As válvulas globo funcionam abrindo e fechando o caminho de passagem do fluido, através de um obturador, que se movimenta por uma haste que desliza verticalmente, encaixando o obturador sobre um assento horizontal chamado sede localizado no centro da válvula.

Em função do seu tipo construtivo, as válvulas globo fazem com que o fluido seja submetido a mudanças de direção e também a um turbilhonamento em seu interior. Esta condição causa uma elevada perda de carga no interior da válvula.



Assista a um vídeo sobre  
*GLOBE VALVE - ABV - HOT*  
[http://www.youtube.com/  
watch?v=hdd4qllIOSA](http://www.youtube.com/watch?v=hdd4qllIOSA)



**Figura 3.3:** Esquema básico de válvula globo

Fonte: CTISM



Assista a um vídeo sobre  
Luiz D'Ercole  
[http://www.youtube.com/  
watch?v=-jKTS4gBomc](http://www.youtube.com/watch?v=-jKTS4gBomc)

### 3.4.2 Válvula esfera

A válvula esfera funcionalmente é semelhante ao conceito da válvula globo, contudo seu controle é realizado girando a haste, assim movimentando a esfera, a qual permitirá um fluxo determinado dependendo da sua posição de abertura. Este tipo de válvula vem substituindo as válvulas de gaveta em função de algumas vantagens como menor tamanho e peso, sistema de vedação mais eficiente e também apresentam menores perdas de carga.

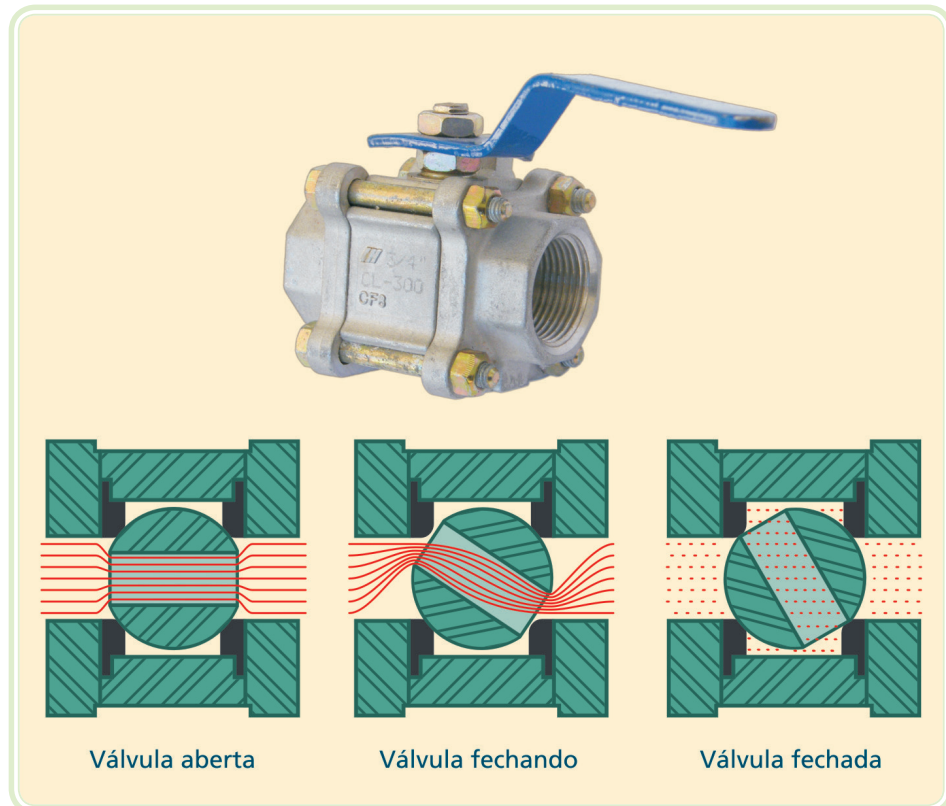


Figura 3.4: Esquema básico de válvula esfera segmentada

Fonte: CTISM

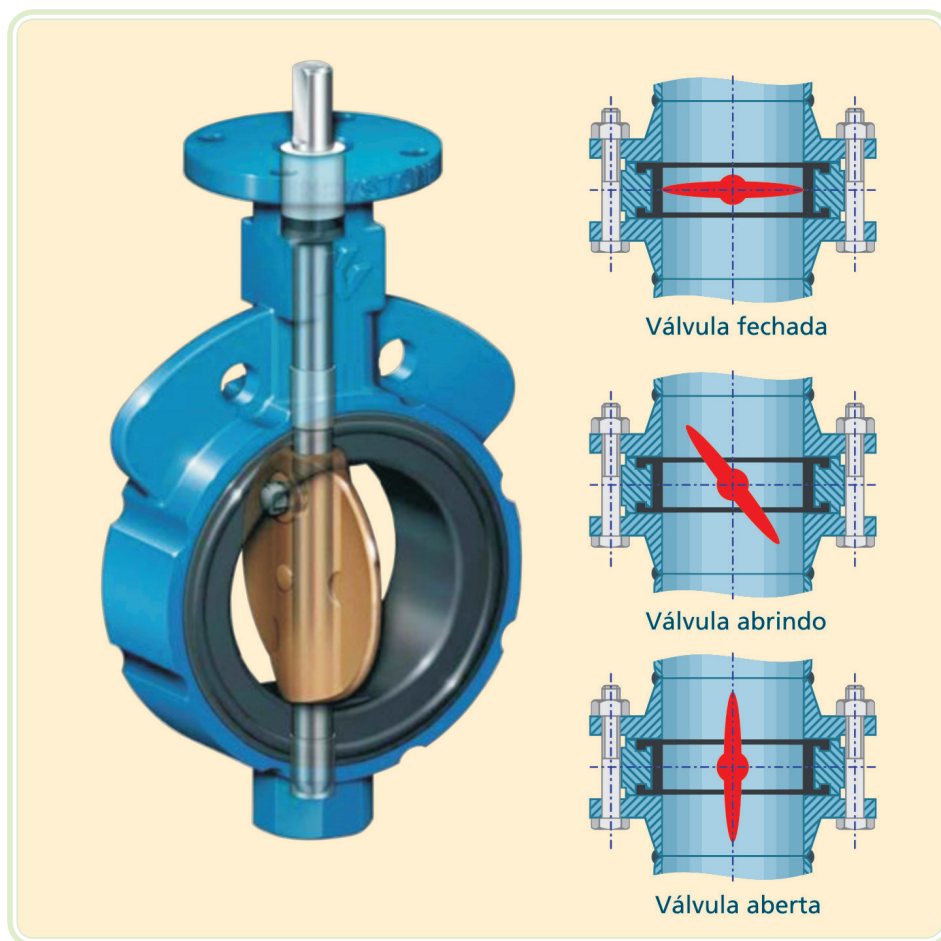


Assista a um vídeo sobre  
EMECH-CCM  
[http://www.youtube.com/  
watch?v=1onPR8jsZSM](http://www.youtube.com/watch?v=1onPR8jsZSM)

### 3.4.3 Válvula borboleta

A válvula borboleta controla o fluxo através de um disco circular, geralmente do diâmetro da tubulação a qual irá ser aplicada. O disco também é movimentado por uma haste rotativa, onde a inclinação em graus desse disco irá controlar o fluxo através da tubulação.

Este tipo de válvula tem maior aplicação em situações onde se necessita de tubulações de diâmetro elevado, e que operem a pressões baixas. Estas válvulas podem ser utilizadas também em operações onde se tenha um meio altamente corrosivo, desde que recebam previamente um tratamento anticorrosivo em seus principais componentes.



**Figura 3.5: Esquema básico de válvula borboleta**

Fonte: CTISM

### 3.4.4 Válvula de controle tipo diafragma ou *saunders*

Este tipo de válvula, cuja configuração é totalmente diferente das outras válvulas de controle, é utilizada no controle de fluídos corrosivos, líquidos altamente viscosos e líquidos com sólidos em suspensão. A válvula de controle tipo diafragma consiste de um corpo em cuja parte central apresenta um encosto sobre o qual um diafragma móvel, preso entre o corpo e o castelo, se desloca para provocar o fechamento. Neste sentido, o elemento flexível, definido como diafragma, isola completamente o mecanismo de acionamento do contato direto com o fluído, permitindo que sejam usados materiais com baixa resistência a corrosão para a construção deste mecanismo.



Para saber mais sobre válvulas de diafragma tipo "D" – passagem reta, acesse: <http://www.peresfernandes.com.br/produtos.asp?id=33>



**Figura 3.6: Válvula de controle tipo diafragma ou saunder**

Fonte: [www.flowserve.com](http://www.flowserve.com)

### 3.5 Operações da válvula

Quando se decide usar a válvula de controle, deve-se selecionar o tipo correto. Para a seleção da válvula certa deve-se entender completamente o processo que a válvula controla. Conhecer as condições normais de operação e as exigências que a válvula deve satisfazer durante as condições de partida, desligamento do processo e emergência.

O bom desempenho da válvula de controle significa que a válvula:

1. É estável em toda a faixa de operação do processo.
2. Não opera próxima de seu fechamento ou de sua abertura total.
3. É suficientemente e rápida para corrigir os distúrbios e as variações de carga do processo.
4. Não requer a modificação da sintonia do controlador depois de cada variação de carga do processo.

Um fator de mérito muito importante no estudo da válvula de controle é a sua rangeabilidade. Por definição, a rangeabilidade da válvula de controle é a relação matemática entre a máxima vazão sobre a mínima vazão controláveis com a mesma eficiência. É desejável se ter alta rangeabilidade, de modo que a válvula possa controlar vazões muito pequenas e muito grandes, com o mesmo desempenho.

## 3.6 Dimensionamento

O dimensionamento da válvula de controle é o procedimento de calcular o coeficiente de vazão ou o fator de capacidade da válvula ( $C_v$ ).

Uma vez calculado o  $C_v$  da válvula e conhecido o tipo de válvula usada, o projetista pode obter o tamanho da válvula do catálogo do fabricante.

Quando se diz que a válvula tem o  $C_v$  igual a 10, significa que, quando a válvula está totalmente aberta e com a pressão da entrada maior que a da saída em 1 psi e a temperatura ambiente é de 15,6°C, sua abertura deixa passar uma vazão de 10 gpm. O  $C_v$  é basicamente um índice de capacidade, através do qual o engenheiro é capaz de estimar, de modo rápido e preciso, o tamanho de uma restrição necessária, em qualquer sistema de fluido.

A equação básica para dimensionar uma válvula de controle para serviço em líquido é a mesma para todos os fabricantes.

$$Q = C_v f(x) \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

Sendo:

$Q$ : é a vazão volumétrica

$\Delta P$ : é a queda de pressão através da válvula

$\rho$ : é a densidade relativa do líquido

### 3.6.1 Queda de pressão na válvula

Deve-se entender que a válvula de controle manipula a vazão absorvendo uma queda de pressão do sistema. Esta queda de pressão é uma perda econômica para a operação do processo, desde que a pressão é fornecida por uma bomba ou compressor. Assim, a economia deve ditar o dimensionamento da válvula, com pequena perda de pressão. A queda de pressão projetada afeta o desempenho da válvula.

Uma boa regra de trabalho considera um terço da queda de pressão do sistema total (filtros, trocadores de calor, bocais, medidores de vazão, restrições de orifício, conexões e a tubulação com atrito) é absorvido pela válvula de controle.

As vazões normal e máxima usadas no dimensionamento devem ser baseadas nas condições reais de operação, sem aplicação de qualquer fator de segurança.



Assista a um vídeo sobre  
Portfólio Tiago  
Maricate – cavitação  
[http://www.youtube.com/  
watch?v=wb6cOKM9v0w](http://www.youtube.com/watch?v=wb6cOKM9v0w)

### 3.7 Cavitação em válvulas de controle

Com o aumento da velocidade a pressão diminui, como comprova o teorema de *Bernoulli*. Em determinadas situações, esta pressão fica abaixo da pressão de vapor do fluido para a temperatura de trabalho, provocando a cavitação. Logo após passar pela região de vena contracta (menor pressão) a pressão tende a recuperar, é quando estas cavidades são implodidas.

Estas cavidades não causam nenhum efeito maléfico à válvula, o grande problema são as sucessivas implosões destas bolhas que dissipam uma grande quantidade de energia (ondas de choque localizadas que podem chegar a 10000 PSI) causando corrosão muito peculiar. Ainda, danifica não somente os internos, mas também o corpo da válvula, este fenômeno ocorre também em bombas e rotores de turbinas hidroelétricas.



Os danos provocados pela cavitação dependem da intensidade da cavitação, ao tempo de exposição à cavitação, da dureza do material utilizado e do tipo de válvula.

### Resumo

Nessa aula estudamos tipos mais comuns de válvulas de controle, verificamos conceito de dimensionamento e a fórmula geral para este fim, estudamos alguns efeitos na válvula de controle como a cavitação que deve ser observado em um projeto.



## Atividades de aprendizagem



1. Quais as características da válvula globo?
2. Quais as características da válvula de esfera?
3. Quais as características da válvula borboleta?
4. Quais as características da válvula tipo diafragma?
5. Cite a equação básica para dimensionar uma válvula de controle.
6. O que é a cavitação nas válvulas de controle?

Poste as atividades no AVEA em um arquivo com as respostas das questões, para que as mesmas façam parte de sua avaliação.

## Referências

ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

BALBINOT, A.; BRUSAMARO, V. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. Vol. I e II. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

BAZANELLA, A. S.; SILVA JR.; GOMES, J. M. **Sistemas de Controle**: princípios e métodos de projeto. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

BEGA, E. A. **Instrumentação Industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

CASTRUCCI, P. **Controle Automático**: teoria e projeto. São Paulo: Edgard Brücher, 1990.

DE NEGRI, V. J. **Introdução aos Sistemas para Automação e Controle Industrial**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. (Apostila do curso de pós-graduação).

DE NEGRI, V. J. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Automação e Controle**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. (Apostila do curso de pós-graduação).

FIALHO, A. B. **Instrumentação Industrial**: conceitos, aplicações e análises. 2. ed. São Paulo: Érica, 2004.

GONÇALVES, M. G. **Monitoramento e Controle de Processos**. Rio de Janeiro: Petrobras; Brasília: SENAI/DN, 2003.

HELFRICK, A. D.; COOPER, W. D. **Instrumentação Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição**. 1. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1994.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais de Metrologia**: portaria INMETRO nº 029 de 1995 / INMETRO, SENAI – Departamento Nacional. 5. ed. Rio de Janeiro: Ed. SENAI, 2007.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010.

SILVEIRA, P. S.; SANTOS, W. E. dos. **Automação e Controle Discreto**. São Paulo: Érica, 1998.

TEIXEIRA, Paulo R. F.; FARIA, Rubens A. **Instrumentista de Sistemas**. Fundamento de Controle Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2006. PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A.

TELLES, Pedro C. S. **Tubulações Industriais**: materiais, projeto, montagem. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

## Currículo do professor-autor

**Marco Aurélio da Fontoura Gonçalves** é natural de Santa Maria-RS e professor do Colégio Técnico Industrial (CTISM) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). É graduado em Engenharia Mecânica pela UFSM, graduado em Formação Pedagógica – Licenciatura Plena em Ensino Profissionalizante pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) e Técnico em Sistemas Hidráulico e Pneumático pela Escola de Especialistas da Aeronáutica (EEAER), São Paulo. Trabalhou por vários anos na iniciativa privada atuando na manutenção de aeronaves, projetista de máquinas, supervisor de manutenção, gerente de produção. No CTISM ministra as disciplinas CAD/CAM/CAE. É coordenador do Curso Técnico em Eletromecânica (pós-médio), membro do Núcleo de Ensino a Distância e participante em projetos de extensão junto a Pró-Reitoria de Extensão.



