

Introdução à instrumentação

Objetivos do capítulo

Este capítulo apresentará o conceito de instrumentação, as várias unidades de medida utilizadas, bem como a razão pela qual o controle de processo depende significativamente da instrumentação. Além disso, o capítulo ajudará na familiarização com a terminologia de instrumentos e padrões.

Este capítulo discute:

- Os princípios de uma malha de controle de processo.
- Os elementos de uma malha de controle.
- A diferença entre os vários tipos de variáveis.
- Considerações sobre uma instalação de processamento.
- Unidades, padrões e prefixos usados na medição de parâmetros.
- Comparação das unidades de medida no SI e no Sistema Britânico.
- A precisão de um instrumento e os parâmetros que afetam seu desempenho.

1.1 Introdução

A instrumentação é a base para o controle de processos na indústria. No entanto, também está presente em muitos tipos de aquecedores de água domésticos e HVAC*, onde a temperatura variável é medida e utilizada para controlar o fluxo de gás, óleo ou eletricidade para o aquecedor de água ou para sistema de aquecimento, ou ainda para controlar a energia elétrica utilizada pelo compressor para a refrigeração. Além disso, a instrumentação é utilizada em aplicações de controle de processos industriais complexas, como as utilizadas na indústria de petróleo ou química.

* N. de T.: A sigla HVAC (*heating, ventilating and air conditioning* – aquecimento, ventilação e ar condicionado) constitui a tecnologia destinada ao conforto do interior de ambientes, sobretudo em edifícios e em veículos.

No controle industrial, um grande número de variáveis, que compreende desde a vazão, temperatura e pressão até o tempo e a distância, pode ser detectado simultaneamente. Todas podem ser variáveis interdependentes em um único processo que exige sistemas microprocessados complexos e desempenham um controle total. Devido aos rápidos avanços na tecnologia, os instrumentos atualmente em uso podem se tornar obsoletos em um futuro próximo, visto que novas técnicas de medição mais eficientes são constantemente concebidas.

Essas mudanças são impulsionadas pela necessidade de melhorar a exatidão, qualidade, precisão e desempenho. Para medir parâmetros de forma precisa, foram desenvolvidas técnicas que eram impossíveis há poucos anos.

1.2 Controle de processo

Para produzir um produto com qualidade consistentemente alta, um controle de processo adequado é necessário. Um exemplo de controle de processo de fácil compreensão seria o fornecimento de água a uma série de estações de tratamento, onde a temperatura da água deve ser mantida constante, independentemente da demanda. Um bloco de controle simples é mostrado na Fig. 1.1a, onde vapor e água fria são aplicados em um trocador de calor, de modo que o calor do vapor d'água é usado para aquecer a água fria até a temperatura de operação necessária. Um termômetro é utilizado para medir a temperatura da água (variável medida), a partir do processo ou do trocador. A temperatura é monitorada por um operador que ajusta o fluxo de vapor (variável manipulada) no trocador de calor para manter a água que sai deste dispositivo em uma temperatura constante. Essa operação é conhecida como controle de processo e, na prática, pode ser automatizada, como é mostrado na Fig. 1.1b.

Controle de processo é o controle automático de uma variável de saída por meio da medição da amplitude do parâmetro de saída a partir do processo, comparando-a com um valor desejado ou estabelecido e realimentando um sinal de erro no intuito de controlar uma variável de entrada, que nesse

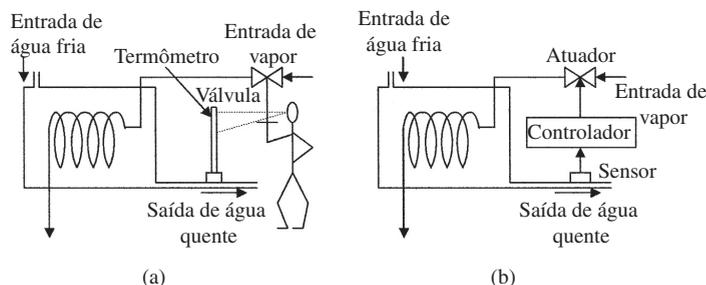


FIGURA 1.1 Controle de processo. (a) Controle manual envolvendo uma malha de processo em um trocador de calor simples. (b) Controle automático envolvendo uma malha de processo em um trocador de calor.

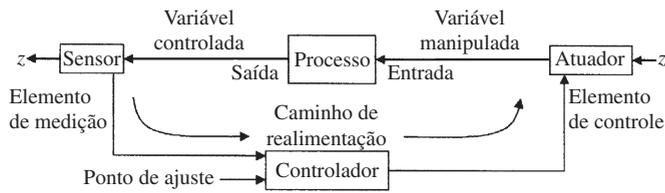


FIGURA 1.2 Diagrama de blocos de uma malha de controle de processo.

caso é o vapor. Observe a Fig. 1.1b. Um sensor de temperatura conectado à tubulação de saída mede a temperatura da água. À medida que a demanda de água quente aumenta ou diminui, a mudança na temperatura da água é detectada e convertida em um sinal elétrico, o qual, por sua vez, é amplificado e enviado a um controlador que o avalia e envia um sinal de correção para um atuador. O atuador ajusta o fluxo de vapor para o trocador de calor, a fim de manter a temperatura da água no valor predeterminado.

O diagrama da Fig. 1.1b representa uma malha de realimentação simplificada, a qual é mostrada de forma expandida na Fig. 1.2. Em qualquer processo, há uma série de entradas, isto é, há desde produtos químicos até elementos sólidos. Estes são manipulados no processo, sendo que um novo produto químico ou componente surge na saída. As entradas controladas do processo e os parâmetros de saída medidos no processo são chamados de variáveis.

Em uma instalação com controle de processo, o controlador não é necessariamente limitado a uma variável, mas pode medir e controlar muitas variáveis. Um exemplo adequado da medição e controle multivariável encontrado no dia a dia é o processador existente no motor de automóvel. A Fig. 1.3 lista algumas das funções desempenhadas pelo processador do motor. A maioria das variáveis controladas consiste em seis ou oito dispositivos, dependendo do número de cilindros do motor. O processador do motor deve ser capaz de executar todas essas funções em cerca de 5 ms. Esse exemplo de controle do motor pode ser relacionado com as operações desempenhadas no controle de processos.

1.3 Definições dos elementos em uma malha de controle

A Fig. 1.4 divide os elementos individuais dos blocos existentes em uma malha de controle de processo. O elemento de medição é constituído por um sensor, um transdutor e um transmissor que possui a sua própria fonte de alimentação regulada. O elemento de controle possui um atuador, um circuito de controle de alimentação e sua própria fonte de alimentação. O controlador possui um processador com memória e um circuito somador para comparar o ponto de ajuste com o sinal medido de modo a gerar um sinal de erro. O processador usa então o sinal de erro para gerar um sinal de correção que controla o atuador e a variável de entrada. A função e a operação dos blocos em diferentes tipos de aplica-

4 Fundamentos de Instrumentação Industrial e Controle de Processos

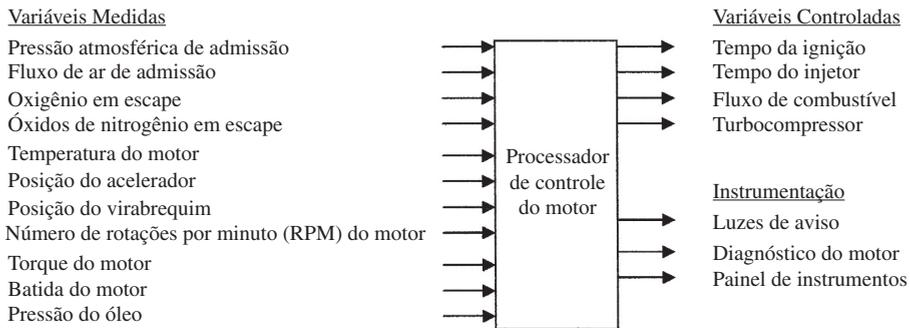


FIGURA 1.3 Motor de automóvel com identificação de algumas variáveis medidas e controladas.

ções serão discutidas nos Capítulos 11, 12 e 14. A definição desses blocos é dada a seguir.

A *malha de realimentação* é o percurso do sinal da saída até a entrada para corrigir qualquer variação entre o valor da saída e o nível definido. Em outras palavras, a saída de um processo é continuamente monitorada, o erro entre o ponto de ajuste e o parâmetro de saída é determinado, e um sinal de correção é, em seguida, enviado de volta para uma das entradas do processo, buscando corrigir eventuais alterações no parâmetro de saída.

Variável controlada ou *medida* é a variável de saída monitorada a partir de um processo. O valor do parâmetro de saída monitorado é normalmente mantido dentro de certos limites estabelecidos.

Variável manipulada é a variável de entrada ou parâmetro de um processo que é alterado por um sinal de controle proveniente do processador para um atuador. Ao alterar a variável de entrada, o valor da variável medida pode ser controlado.

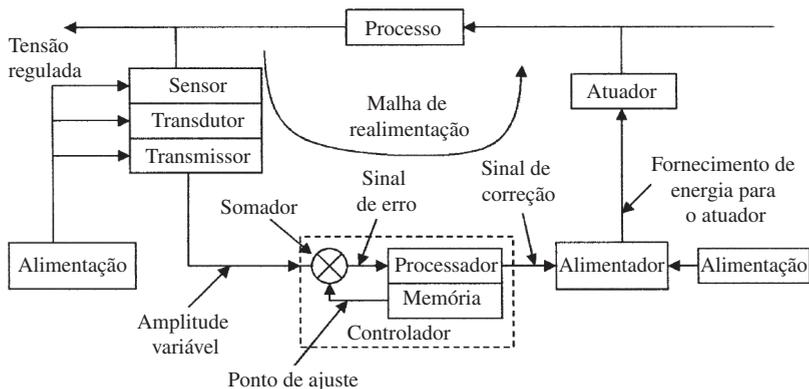


FIGURA 1.4 Diagrama de blocos dos elementos que constituem o caminho de realimentação em uma malha de controle de processo.

*Ponto de ajuste** é o valor desejado do parâmetro de saída ou variável a ser monitorada por um sensor. Qualquer desvio em relação a este valor gerará um sinal de erro.

Instrumento é o nome dado a qualquer um dos vários tipos de dispositivos usados na indicação ou medição de grandezas físicas ou condições, desempenho, posição, direção, entre outros parâmetros semelhantes.

Sensores são dispositivos capazes de detectar as variáveis físicas, tais como a temperatura, a intensidade luminosa ou movimento, possuindo a capacidade de fornecer uma saída mensurável que varia em relação à amplitude da variável física. O corpo humano possui sensores nos dedos das mãos, que podem detectar a rugosidade da superfície, a temperatura e a força. Um termômetro é um bom exemplo de um sensor de linha de visão, o qual fornece uma indicação visual da temperatura exata. Em outros sensores, como um sensor de pressão de membrana, um transdutor de pressão pode ser necessário para converter a deformação do diafragma num sinal elétrico ou pneumático antes que possa ser medido.

Transdutores são dispositivos que podem converter uma forma de energia em outra como, por exemplo, um termômetro de resistência que converte a temperatura em resistência elétrica, ou ainda um termopar que converte a temperatura em tensão. Ambos esses dispositivos fornecem uma saída que é proporcional à temperatura. Muitos transdutores são classificados como sensores.

Conversores são dispositivos usados para alterar o formato de um sinal sem provocar alterações na forma de energia, isto é, uma conversão de uma tensão em um sinal de corrente. Atuadores são dispositivos usados para controlar uma variável de entrada em resposta a um sinal proveniente de um controlador. Um exemplo de atuador típico é uma válvula de controle de vazão, capaz de controlar a taxa de vazão de um fluido de forma proporcional à amplitude de um sinal elétrico fornecido pelo controlador. Outros tipos de atuadores são relés magnéticos, que conectam e desconectam o fornecimento de energia elétrica. Exemplos desses são os atuadores que controlam a alimentação de ventiladores e compressores em um sistema de ar condicionado em resposta a sinais obtidos por sensores de temperatura ambiente.

Controladores são dispositivos que monitoram sinais de transdutores e atuam de forma adequada para manter o processo dentro de limites especificados de acordo com um programa predefinido, ativando e controlando os atuadores necessários.

*Controladores lógicos programáveis*** (CLP) são usados em aplicações de controle de processo e são sistemas microprocessados. Pequenos sistemas têm a capacidade de monitorar diversas variáveis e controlar diversos atuadores, com capacidade de expansão para monitorar de 60 a 70 variá-

* N. de T.: Também conhecido por *set point*.

** N. de T.: Também conhecidos por PLCs (*programmable logic controllers*).

veis e controlar um número de atuadores correspondente, o que pode ser necessário em uma refinaria petroquímica. Os CLPs, os quais possuem a capacidade de utilizar a informação de entrada na forma analógica ou digital, bem como sinais de controle de saída analógicos ou digitais, podem se comunicar globalmente com outros controladores, são facilmente programados *on-line* ou *off-line*, e fornecem uma ampla quantidade de dados e informações para o operador. Redes em escada (*ladder*) são normalmente usadas para programar os controladores.

Um *signal de erro* é a diferença entre o ponto de ajuste e a amplitude da variável medida.

Um *signal de correção* é o sinal utilizado para controlar a energia enviada ao atuador para definir o nível da variável de entrada.

Transmissores são dispositivos utilizados para amplificar e formatar sinais, sendo adequados para a transmissão em grandes distâncias com perda nula ou mínima de informação. O sinal transmitido pode possuir vários formatos como, por exemplo, pneumático, digital, tensão analógica, corrente analógica ou como um sinal modulado em radiofrequência (RF). A transmissão digital é mais adequada em sistemas mais recentes porque o controlador é um sistema digital, e como os sinais analógicos podem ser digitalizados com precisão, os sinais digitais podem ser transmitidos sem perda de informação. O controlador compara a amplitude do sinal do sensor com um ponto de referência pré-determinado, o que na Fig. 1.1 corresponde à amplitude do sinal do sensor de água quente. Então, o controlador enviará um sinal que é proporcional à diferença entre a referência e o sinal transmitido para o atuador, de modo que este deva abrir ou fechar a válvula de controle do fluxo de vapor d'água para ajustar a temperatura da água no respectivo valor de referência.

EXEMPLO 1.1 A Fig. 1.5 mostra o diagrama de blocos de um sistema de controle de vazão em malha fechada. Identifique os seguintes elementos: (a) o sensor, (b) o transdutor, (c) o atuador, (d) o transmissor, (e) o controlador, (f) a variável manipulada e (g) a variável medida.

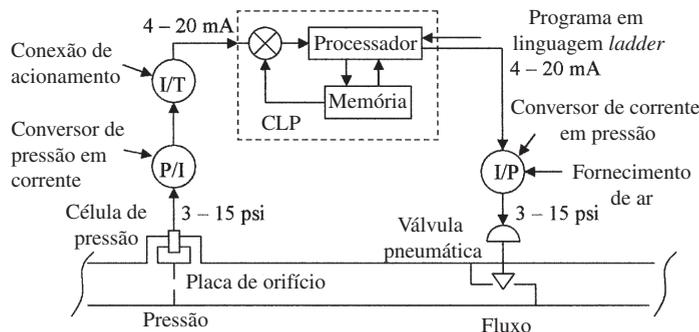


FIGURA 1.5 Controle do processo com um regulador de vazão utilizado no Exemplo 1.1.

(a) O sensor corresponde à célula de pressão no diagrama. (b) O transdutor corresponde ao conversor. Existem dois tipos de transdutores de pressão: um para converter pressão em corrente e outro para converter corrente em pressão para operar o atuador. (c) O atuador nesse caso é a válvula pneumática. (d) O transmissor é a conexão de acionamento. (e) O controlador é denominado CLP. (F) A variável manipulada é a pressão diferencial desenvolvida pelo fluido que circula através da constrição da placa de orifício. (g) A variável controlada é a taxa de vazão do líquido.

Sistemas de controle de processo simples e ideais têm sido amplamente discutidos. No controle de processos práticos, os cenários são muito mais complexos, com muitos aspectos e variáveis a serem considerados, como a estabilidade, o tempo de reação e a precisão a ser considerada. Muitos dos problemas básicos são discutidos nos capítulos seguintes. ■

1.4 Considerações sobre processos em instalações

A instalação de processo possui certo número de requisitos básicos que incluem as medidas de segurança e fornecimento regulado e confiável de água, energia elétrica e ar.

Uma *fonte de energia elétrica* é necessária para todos os sistemas de controle e deve obedecer todas as normas em vigor na planta. A integridade da fonte de alimentação é mais importante. Muitas instalações possuem sistemas de suporte (*backup*) para fornecer uma fonte de alimentação ininterrupta (*uninterruptible power supply* – UPS) que possa atuar em caso de perda de fornecimento de energia externo. A falta de energia pode implicar o desligamento da planta e perda da produção completa. Um transformador de isolamento deve ser utilizado nas linhas de alimentação para evitar que a interferência eletromagnética (*electromagnetic interference* – EMI) gerada por motores, contadores, relés e outros equipamentos se propague através das linhas de transmissão e afetem instrumentos de controle eletrônicos sensíveis.

O *aterramento* é uma medida muito importante em uma instalação por razões de segurança. Todas as variações do potencial da terra entre equipamentos eletrônicos podem causar erros significativos nos níveis dos sinais. Cada equipamento deve ser ligado a um barramento de cobre pesado que deve ser devidamente aterrado. Malhas de terra também devem ser evitadas, aterrando-se cabos e conexões de retorno de sinal em um único ponto. Em alguns casos, pode ser necessário o uso de isoladores de sinal para minimizar os problemas de conexão com a terra em dispositivos eletrônicos e equipamentos.

Uma *fonte de ar* é necessária para acionar atuadores pneumáticos na maioria das instalações. Instrumentos a ar em equipamentos pneumáticos devem atender aos padrões de qualidade, sendo que o ar deve ser livre de sujeira, óleo, agentes contaminantes e umidade. A umidade congelada, a sujeira e outros fatores semelhantes podem obstruir total ou parcialmente seções e bocais estreitos, fornecendo leituras falsas de parâmetros ou provocando a falha do equipamento como um todo. Compressores de ar são equipados com secadores de ar e filtros, possuindo também um tanque reserva-

tório com capacidade suficientemente grande para manter o fornecimento por vários minutos em caso de falha do sistema. O ar seco e limpo é fornecido a uma pressão de 90 psig (630 kPa×g) e com ponto de orvalho de 20 °F (10 °C) abaixo da temperatura operacional de inverno mínima à pressão atmosférica. Maiores informações sobre a qualidade do ar em instrumentos podem ser encontradas na norma ANSI/ISA-7.0.01-1996, *Quality Standard for Instrument Air* (Padrão de Qualidade de Instrumentos a Ar).

O *abastecimento de água* é necessário em muitas operações de limpeza e resfriamento, além da geração de vapor. O abastecimento doméstico de água contém grandes quantidades de partículas e impurezas e pode ser adequado para resfriamento, mas não para a maioria das operações de limpeza. A filtragem e outros processos semelhantes podem remover alguns dos agentes contaminantes, tornando a água adequada para algumas operações de limpeza. Entretanto, para obter água ultrapura, um sistema de osmose reversa pode ser necessário.

A *instalação e a manutenção* devem ser consideradas durante a localização de instrumentos, válvulas e outros elementos. Cada dispositivo deve possuir fácil acesso para manutenção e inspeção. Também pode ser necessário instalar válvulas manuais de modo que o equipamento possa ser substituído ou consertado sem o desligamento da planta completa. Pode ser necessário contratar serviços de manutenção de determinados equipamentos ou solicitar ao fornecedor a instalação do equipamento, caso não se disponha de pessoal devidamente treinado para tal.

A *segurança* é uma prioridade em uma instalação. O material correto deve ser usado na construção de recipientes, encanamento, vedações e gaxetas para prevenir a corrosão e falhas que podem levar a escapes e derramamentos de materiais perigosos. Todos os equipamentos elétricos devem ser instalados corretamente para a devida atuação dos disjuntores. Sistemas elétricos devem possuir extintores nas proximidades, em caso de incêndios de natureza elétrica. Mais informações podem ser encontradas na norma ANSI/ISA-12.01.01-1999, *Definitions and Information Pertaining to Electrical Instruments in Hazardous Locations* (Definições e Informações Referentes a Instrumentos Elétricos em Locais Perigosos).

1.5 Unidades e normas

Assim como em todas as disciplinas, um conjunto de normas tem evoluído ao longo dos anos para garantir a consistência das informações e evitar confusões. A instituição ISA (*Instrument Society of America* – Sociedade de Instrumentação da América) tem desenvolvido uma lista completa de símbolos para instrumentos, identificação do tipo de instrumento e diagramas de controle de processo, os quais serão discutidos no Capítulo 15.

As unidades de medidas são classificadas em dois sistemas distintos: o sistema britânico, ou inglês, e o sistema internacional, ou SI (*Systeme International d'Unités*), baseado em unidades do sistema métrico, mas existem algumas diferenças. O sistema britânico é o padrão normalmente usado nos Estados Unidos, mas o SI tem sido progressivamente adotado,

portanto os alunos devem estar cientes de ambos os sistemas de unidades e ser capazes de converter as unidades de um sistema para o outro*. Pode haver confusão no caso de algumas unidades, como a massa em libra e o peso em libra**. A unidade de massa em libra é denominada *slug* (cuja utilização atualmente não é comum), que é o equivalente do quilograma do SI. Por outro lado, a unidade de peso em libra corresponde a uma força semelhante ao newton, que é a unidade de força no sistema SI. O fator de conversão de $1 \text{ lb} = 0,454 \text{ kg}$, que é usado para converter a massa (peso) entre os dois sistemas, efetivamente significa que uma força de 1 lb corresponde a uma massa de 0,454 kg; isto é, essa massa é capaz de produzir uma força de 4,448 N ou uma força de 1 lb. Deve-se tomar cuidado para não misturar unidades dos dois sistemas, pois em algumas equações pode haver a necessidade de conversão de valores de modo a se obter um resultado consistente.

A Tabela 1.1 apresenta uma lista das unidades básicas utilizadas em instrumentação e medição nos sistemas britânico e SI, bem como os devidos fatores de conversão. Outras unidades são derivadas destas unidades básicas.

TABELA 1.1 Unidades básicas

Grandeza	Sistema britânico		SI		Conversão para o SI
	Unidade	Símbolo	Unidade	Símbolo	
Comprimento	Pé	ft	Metro	m	$1 \text{ ft} = 0,305 \text{ m}$
Massa	Libra (<i>slug</i>)	lb (<i>slug</i>)	Quilograma	kg	$1 \text{ lb (slug)} = 14,59 \text{ kg}$
Tempo	Segundo	s	Segundo	s	
Temperatura	Rankine	R	Kelvin	K	$1^\circ\text{R} = 5/9 \text{ K}$
Corrente elétrica	Ampère	A	Ampère	A	

EXEMPLO 1.2 Quantos metros há em 110 jardas?

$$110 \text{ jardas} = 330 \text{ ft} = (330 \times 0,305) \text{ m} = 100,65 \text{ m}$$

EXEMPLO 1.3 Qual é o comprimento equivalente a 2,5 m em polegadas?

$$2,5 \text{ m} = (2,5/0,305) \text{ ft} = 8,2 \text{ ft} = 98,4 \text{ polegadas}$$

EXEMPLO 1.4 O peso de um objeto é 2,5 lb. Qual é a força equivalente e a massa no sistema de unidades SI?

$$2,5 \text{ lb} = (2,5 \times 4,448) \text{ N} = 11,12 \text{ N}$$

$$2,5 \text{ lb} = (2,5 \times 0,454) = 1,135 \text{ kg}$$

* N. de T.: No Brasil, o SI é o padrão normalmente utilizado. Porém, o conhecimento das técnicas de conversão de unidades entre os dois sistemas ainda é extremamente importante.

** N. de T.: No estudo da Dinâmica de Corpos na Física, a massa designa a quantidade de matéria de um corpo. Por outro lado, peso representa uma força que pode ser calculada a partir do produto entre a massa e a aceleração da gravidade. Costuma-se utilizar erroneamente o termo “peso” em vez de “massa”.

A Tabela 1.2 fornece uma lista de algumas unidades comumente usadas nos sistemas britânico e SI, o fator de conversão entre as unidades, bem como sua relação com as unidades básicas. Como foi explicado anteriormente, a libra (lb) é usada tanto como unidade de massa quanto como unidade de força.

Assim, a unidade libra em energia e potência corresponde à massa, enquanto a unidade libra em pressão é correspondente à força, onde lb (força) = lb (em massa) × g (força da gravidade).

EXEMPLO 1.5 Qual é a pressão equivalente a 18 psi em unidades do SI?

$$1 \text{ psi} = 6,897 \text{ kPa}$$

$$18 \text{ psi} = (18 \times 6,897) \text{ kPa} = 124 \text{ kPa}$$

Prefixos padrão são normalmente usados para representar vários múltiplos e submúltiplos em grandezas, de modo que seja possível representar uma vasta gama de valores usados em unidades de medida. Esses prefixos são dados na Tabela 1.3.

TABELA 1.2 Unidades comuns aos sistemas britânico e SI

Grandeza	Sistema britânico			SI		
	Nome	Símbolo	Unidades	Nome	Símbolo	Unidades
Frequência	Hertz			Hertz	Hz	s ⁻¹
Energia	Pé-libra	ft × lb	lb × ft ² /s ²	Joule	J	kg × m ² /s ²
Força	Libra	lb	lb × ft/s ²	Newton	N	kg × m/s ²
Resistência	Ohm			Ohm	Ω	kg×m ² por (s ³ × A ²)
Potencial Elétrico	Volt			Volt	V	A × Ω
Pressão	Libra por polegada quadrada	psi	lb/polegada ²	Pascal	Pa	N/m ²
Carga	Coulomb			Coulomb	C	A×s
Indutância	Henry			Henry	H	kg×m ² por (s ² × A ²)
Capacitância	Farad			Farad	F	s ⁴ × A ² por (kg × m ²)
Fluxo Magnético				Weber	Wb	V×s
Potência	<i>Horsepower</i> (“Cavalo de Força”*)	hp	lb × ft ² /s ³	Watt	W	J/s

Conversão para o SI

$$1 \text{ ft} \times \text{lb} = 1,356 \text{ J}$$

$$1 \text{ lb (F)} = 4,448 \text{ N}$$

$$1 \text{ psi} = 6897 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

* N. de T.: Cavalo-vapor (cv) é uma unidade de medida de potência, não sendo uma unidade reconhecida no SI. *Horse-power* (hp ou cavalo de força) é uma unidade de origem inglesa, aproximadamente equivalente ao cv. Porém, não são iguais: o hp 1,38% é maior que o cv, isto é: 1 hp = 1,0138 cv = 745,7 W
1 cv = 0,9863 hp = 735,5 W

TABELA 1.3 Prefixos padrão

Múltiplo	Prefixo	Símbolo	Múltiplo	Prefixo	Símbolo
10 ¹²	tera	T	10 ⁻²	centi	c
10 ⁹	giga	G	10 ⁻³	milli	m
10 ⁶	mega	M	10 ⁻⁶	micro	μ
10 ³	kilo	k	10 ⁻⁹	nano	n
10 ²	hecto	h	10 ⁻¹²	pico	p
10	deka	da	10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ⁻¹	deci	d	10 ⁻¹⁸	atto	a

1.6 Parâmetros de instrumentos

A *precisão* de um instrumento ou dispositivo é a diferença entre o valor indicado e o valor real. A precisão é determinada pela comparação de uma leitura indicada com um padrão conhecido. Padrões podem ser obtidos a partir de dispositivos calibrados ou diretamente do NIST (National Institute of Standards and Technology – Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia)*.

Essa é a organização governamental responsável pelo ajuste e manutenção de padrões e desenvolvimento de novas normas à medida que a nova tecnologia exige. A precisão depende da linearidade, histerese, deslocamento, desvio e sensibilidade. A discrepância resultante é estabelecida como um desvio ± a partir do valor real, sendo normalmente especificada como uma porcentagem da leitura ou deflexão correspondente ao valor total (“fun-do”) da escala (*full scale deflection – %FSD*). A precisão também pode ser expressa como a porcentagem do alcance ou *span*, a porcentagem de leitura ou um valor absoluto.

EXEMPLO 1.6 Um manômetro possui escala que varia de 0 a 50 psi, sendo que a pior variação obtida nas leituras é de ± 4,35 psi. Qual é a precisão %FSD?

$$\%FSD = \pm (4,35 \text{ psi}/50 \text{ psi}) \times 100 = \pm 8,7 \quad \blacksquare$$

A *faixa* de um instrumento especifica as leituras menores e maiores que podem ser medidas, ou seja, um termômetro cuja escala varia de -40 °C a 100 °C tem uma faixa de -40 °C a 100 °C.

O *alcance* ou *span* de um instrumento corresponde à faixa que varia do valor mínimo ao valor máximo da escala, isto é, um termômetro cuja escala varia de -40 °C a 100 °C possui *span* de 140 °C. Quando a precisão é expressa como uma porcentagem do *span*, corresponde ao desvio em relação ao valor real expresso em porcentagem do *span*.

* N. de T.: O NIST é uma agência governamental não regulatória da administração de tecnologia do Departamento de Comércio dos Estados Unidos. No Brasil, um papel semelhante ao dessa agência é desempenhado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia).

A *precisão de leitura* é o desvio do valor real no ponto onde a leitura é obtida e é expressa como uma porcentagem, ou seja, se um desvio de $\pm 4,35$ psi no Exemplo 1.6 foi medido em 28,5 psi, a precisão da leitura seria $(4,35/28,5) \times 100 = \pm 15,26\%$.

EXEMPLO 1.7 Na folha de dados de uma balança capaz de pesar até 200 kg, a precisão é dada como $\pm 2,5\%$ de uma leitura. Qual é o desvio nas leituras de 50 lb e 100 lb e qual é a precisão %FSD?

$$\text{Desvio em 50 lb} = \pm (50 \times 2,5/100) \text{ lb} = \pm 1,25 \text{ lb}$$

$$\text{Desvio em 100 lb} = \pm (100 \times 2,5/100) \text{ lb} = \pm 2,5 \text{ lb}$$

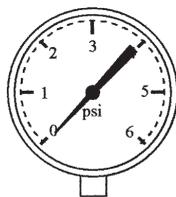
O desvio máximo ocorre em FSD, isto é, ± 5 lb ou $\text{FSD}\% = \pm 2,5\%$. ■

A *precisão absoluta* do instrumento é o desvio do valor real expresso como um número, e não como uma porcentagem, ou seja, se um voltímetro tem uma precisão absoluta de ± 3 V na escala de 100 volts, o desvio é de ± 3 V em todos os valores da escala, por exemplo, 10 ± 3 V, 70 ± 3 V e assim por diante.

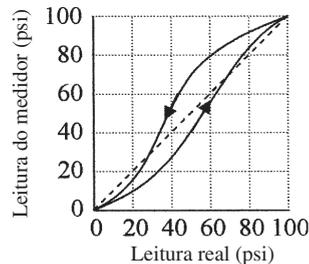
Precisão refere-se aos limites em que um sinal pode ser lido, o que pode ser um tanto subjetivo. No instrumento analógico mostrado na Fig. 1.6, a escala é graduada em divisões de 0,2 psi, a posição da agulha pode ser estimada em até 0,02 psi, e, por conseguinte, a precisão do instrumento é de 0,02 psi. Em uma balança digital, o último dígito pode mudar em incrementos de 0,01 psi, de modo que a precisão é de 0,01 psi.

Reprodutibilidade é a capacidade de um instrumento ler repetidamente o mesmo sinal ao longo do tempo e fornecer o mesmo valor de saída nas mesmas condições. Um instrumento pode não ser preciso, mas pode ter uma boa reprodutibilidade, ou seja, um instrumento pode exibir o valor de 20 psi ao longo de 20 leituras consecutivas, embora possua faixa de 17,5 psi a 17,6 psi.

A *sensibilidade* é uma medida da mudança na saída de um instrumento em virtude da alteração da variável medida, sendo conhecida como função de transferência. Isto é, quando a saída de um transdutor de pressão muda em 3,2 mV para uma mudança de pressão de 1 psi, a sensibilidade é de 3,2



(a)



(b)

FIGURA 1.6 Medidores. (a) Manômetro com escala. (b) Curva de histerese de um instrumento.

mV/psi. A alta sensibilidade em um instrumento é desejável, pois confere a capacidade de obtenção de maiores amplitude de saída, mas este parâmetro deve ser ponderado considerando a linearidade, o alcance e a precisão.

Offset é a leitura de um instrumento com entrada nula.

Deslocamento é a variação na leitura de um instrumento de variável fixa ao longo do tempo.

Histerese é a diferença nas leituras obtidas quando um instrumento aproxima-se de um sinal a partir de direções opostas, isto é, se um instrumento lê um valor na metade da escala a partir do zero, pode-se obter um valor diferente após a realização da leitura do valor máximo da escala. Isso ocorre devido a esforços induzidos no material do instrumento, alterando a sua forma quando ocorre a deflexão de zero até o valor máximo da escala. A histerese é ilustrada na Fig. 1.6b.

EXEMPLO 1.8 Um manômetro está sendo calibrado. A pressão é obtida de 0 psi a 100 psi e as medições retornam a 0 psi. As seguintes leituras foram obtidas com o medidor:

Pressão Real (psi)	0	20	40	60	80	100	80	60	40	20	0
Leitura do Medidor (psi)	1,2	19,5	37,0	57,3	81,0	104,2	83,0	63,2	43,1	22,5	1,5

A Fig. 1.7a mostra a diferença nas leituras quando estas são obtidas a partir de 0 até FSD e quando os valores são lidos a partir de FSD até 0. Existe uma diferença entre as leituras de 6 psi, ou uma diferença de 6% de FSD, isto é, $\pm 3\%$ de forma linear. ■

Resolução é a menor quantidade de uma variável que um instrumento pode medir, ou seja, a menor mudança em uma variável para a qual o instrumento irá responder.

Repetibilidade é uma medida do grau de concordância entre um número de leituras (10 a 12) obtido consecutivamente de uma variável, antes

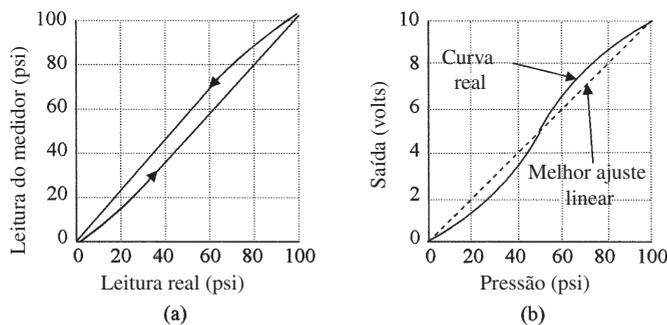


FIGURA 1.7 Imprecisões dos instrumentos. (a) Erro de histerese em um manômetro. (b) Não linearidade em um transdutor de pressão para tensão.

que a variável tenha tempo para mudar. A leitura média é calculada e a diferença no valor das leituras é obtido.

Linearidade é uma medida da proporção entre o valor real de uma variável a ser medida e a saída do instrumento ao longo de sua faixa de operação. A Fig. 1.7b mostra a curva da entrada de pressão em função da tensão de saída para um transdutor de pressão para tensão com a melhor reta de ajuste linear. Como pode ser visto, a curva real não é uma linha reta. O desvio máximo de +5 psi na reta ocorre para uma saída de 8 V, enquanto -5 psi é verificado em 3 V, correspondendo a um desvio de ± 5 psi ou um erro de $\pm 5\%$ da FSD.

O desvio do valor real em um instrumento pode ser causado por um dos fatores supracitados ou até por uma combinação deles, podendo determinar a escolha do instrumento para uma dada aplicação.

Resumo

Este capítulo introduziu o conceito de controle de processo e malhas de processo simples, os quais serão abordados detalhadamente em capítulos posteriores.

Os principais pontos abordados neste capítulo foram:

1. Uma descrição do funcionamento da malha de um processo básico, com a definição dos termos utilizados no controle do processo.
2. Algumas das exigências básicas em termos de ar, energia elétrica e água para a instalação de processo. Foram descritos os requisitos de segurança.
3. Uma comparação entre as unidades utilizadas para a medição de parâmetros e sua relação com as unidades básicas.
4. A relação entre as unidades dos sistemas britânico e SI, que se baseiam em unidades métricas. A utilização de prefixos padrão para definir múltiplos foi apresentada.
5. A precisão dos sensores e instrumentos, bem como parâmetros como a linearidade, a resolução, a sensibilidade, a histerese e a repetibilidade, utilizados na avaliação da precisão.

Problemas

- 1.1 Qual é a diferença entre variáveis controladas e manipuladas?
- 1.2 Qual é a diferença entre ponto de ajuste, sinal de erro e sinal de correção?
- 1.3 Quantas libras são equivalentes a 63 kg?
- 1.4 Quantos micrômetros são equivalentes a 0,73 mili-polegada?
- 1.5 Quantas libras por polegada quadrada são equivalentes a 38,2 kPa?
- 1.6 Quantas libras-pé de energia são equivalentes a 195 J?
- 1.7 Qual é a força em libras equivalente a 385 N?

- 1.8** Quantos ampères são necessários a partir de uma fonte de 110 V para gerar 1,2 hp? Considere um rendimento de 100%.
- 1.9** Quantos joules são equivalentes a 27 ft × lb de energia?
- 1.10** Qual é a sensibilidade do instrumento cuja saída é de 17,5 mV para uma mudança na entrada de 7 °C?
- 1.11** Um sensor de temperatura possui faixa de 0 a 120 °C e precisão absoluta de ± 3 °C. Qual é a respectiva precisão %FSD?
- 1.12** Um sensor de vazão possui faixa de 0 m/s a 25 m/s e precisão FSD% de ± 4,5%. Qual é a precisão absoluta?
- 1.13** Um sensor de pressão possui faixa de 30 kPa a 125 kPa e a precisão absoluta é ± 2 kPa. Qual é a precisão percentual de escala total e de *span*?
- 1.14** Um instrumento de medição de temperatura possui faixa de -20 °F a 500 °F. Qual é o erro em 220 °F? Suponha que a precisão é de (a) ± 7% de FSD e (b) ± 7% de *span*.
- 1.15** Uma balança de mola tem *span* de 10 kg a 120 kg e precisão absoluta de ± 3 kg. Qual é a sua precisão %FSD e a precisão de *span*?
- 1.16** Um termômetro digital com faixa de temperatura de 129,9 °C tem uma especificação de precisão de ± 1/2 no bit menos significativo. Qual é a precisão absoluta, a precisão %FSD e a resolução?
- 1.17** Um instrumento de medição de vazão tem precisão de (a) ± 0,5% de leitura e (b) FSD% de 0,5%. Se o *span* do instrumento é de 10 fps a 100 fps, qual é a precisão absoluta em 5 fps?
- 1.18** Um manômetro tem *span* de 50 psi a 150 psi e a sua precisão absoluta é de ± 5 psi. Qual é a precisão %FSD e de *span*?
- 1.19** Plote um gráfico das seguintes leituras obtidas em um manômetro para determinar se há histerese e, em caso afirmativo, qual é a histerese como uma porcentagem de FSD?

Pressão real (kpa)	0	20	40	60	80	100	80	60	40	20	0
Leitura do medidor (kpa)	0	15	32	49,5	69	92	87	62	44	24	3

- 1.20** Plote um gráfico das seguintes leituras obtidas em um sensor de temperatura para determinar a linearidade do sensor. Qual é a não linearidade como uma porcentagem de FSD?

Pressão real (kpa)	0	20	40	60	80	100
Leitura do medidor (kpa)	0	16	34	56	82	110

