

# 1. Conceitos de Instrumentação

---

Instrumentação é a ciência que aplica e desenvolve técnicas para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos industriais.

Nas indústrias caracterizadas como “indústrias de processos”, a instrumentação de campo faz parte do sistema de controle e de automação. As principais grandezas físicas encontradas e medidas em tais processos industriais são pressão, nível, vazão, temperatura, massa, densidade, pH, deslocamento, velocidade angular entre outras. Este capítulo visa introduzir conceitos básicos para a classificação, especificação e análise de instrumentos de campo dentro do enfoque da automação industrial.

## CLASSIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

### Classificação por Função

Os instrumentos em sistemas de automação são interligados para realizar uma determinada tarefa de controle ou monitoramento em processos industriais. A um conjunto desses instrumentos chama-se malha, e os instrumentos que compõem uma malha são então classificados pela função que executam, conforme a lista a seguir:

- Transdutores: são os dispositivos ou elementos que detectam alterações nas variáveis físicas de processo e fornecem uma grandeza de saída em geral elétrica. O elemento do transdutor, ou elemento primário, que entra em contato direto com a variável física a ser medida (mensurando) é denominado sensor. Quando o elemento é responsável pela “detecção” de determinada condição no processo pode ser também denominado detector.



Figura 1.1. Exemplos de elementos sensores

- Transmissor: instrumento que tem a função de converter sinais do transdutor, geralmente sinais elétricos de baixa potência, em outra forma de sinal (analógico ou digital) capaz de ser enviada à distância para um instrumento receptor, normalmente localizado longe do ponto de medição.



Figura 1.2. Exemplos de transmissores integrados aos respectivos elementos primários

- **Indicador:** instrumento para indicação visual da quantidade medida e eventualmente enviada por um transmissor. Todo instrumento indicador possui uma faixa de indicação. Em indicadores analógicos pode-se denominar esta por faixa de escala. A escala possui divisões (parte de uma escala compreendida entre duas marcas sucessivas) com seus correspondentes valores expressos na unidade de engenharia indicada. As escalas podem ser lineares (coeficiente de proporcionalidade constante ao longo da escala) ou não lineares (exemplo: escala logarítmica, escala quadrática).

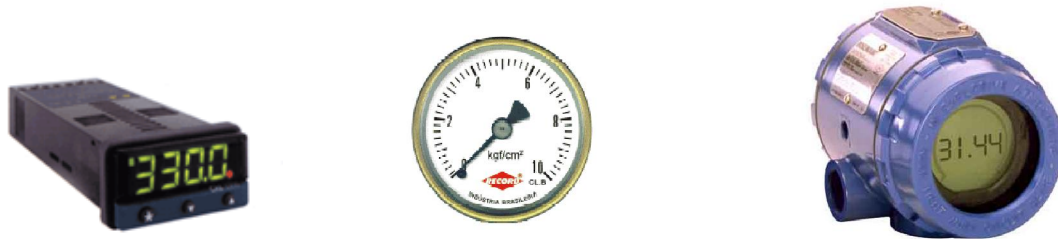


Figura 1.3. Exemplos de Indicadores

- **Registrador:** instrumento que registra graficamente valores instantâneos medidos ao longo do tempo, valores estes enviados por transmissores, controladores, etc.

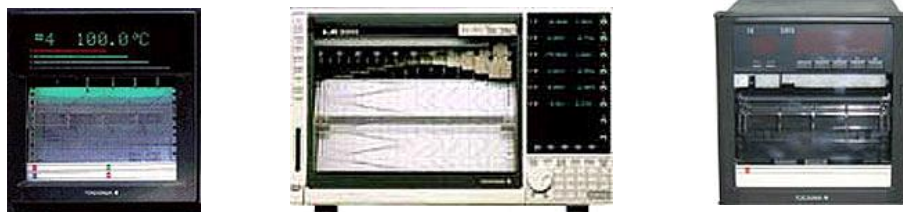


Figura 1.4. Exemplos de Registradores

- **Conversor:** instrumento cuja função é a de receber uma informação na forma de um sinal, alterar esta forma e a emitir como um sinal de saída proporcional ao de entrada.



Figura 1.5. Exemplos de Conversores

- Unidade Aritmética: instrumento que realiza operações aritméticas em seus sinais de entrada de acordo com uma determinada expressão, e fornece um sinal de saída resultante.
- Integrador: Instrumento que indica e/ou registra um valor obtido pela integração de sinais medidos em determinado período de tempo.
- Controlador: Instrumento que compara um valor medido (variável primária ou *primary value* ou “PV”) com um valor desejado (referência ou *set point* ou “SP”) e, baseado na diferença entre eles (erro), emite um sinal de correção (variável manipulada ou *manipulated variable* ou “MV”) a fim de que a atuação no processo causada pela MV leve o erro calculado a zero.



Figura 1.6. Exemplos de Controladores

- Elemento final de controle ou atuador: Instrumento cuja função é a de transformar um sinal (MV) vindo em geral de um controlador em uma atuação física efetiva no processo, por exemplo, válvulas, motores ou atuadores pneumáticos.



Figura 1.7. Exemplo de Elemento Final de Controle

Os instrumentos descritos em sistemas de automação estão em geral interligados entre si da seguinte forma:

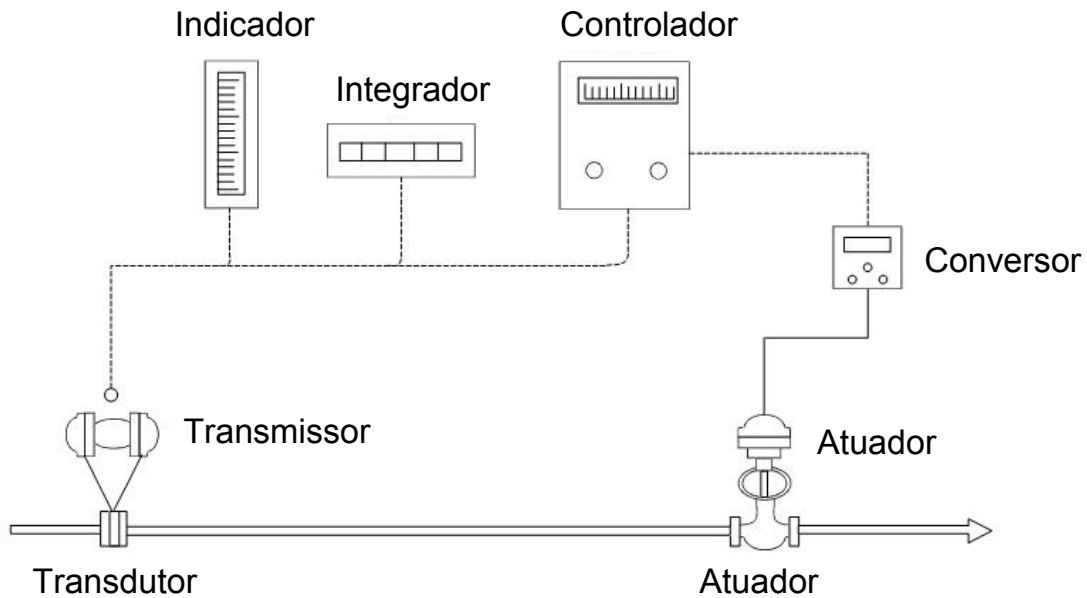


Figura 1.8. Configuração Típica (Exemplo na medição de uma linha de líquido ou vapor/gás)

### Classificação por sinal transmitido ou suprimento

Os elementos apresentados também podem ser classificados conforme o tipo de sinal transmitido ou o seu suprimento. A seguir serão apresentados de forma simplificada os principais tipos com suas respectivas vantagens e desvantagens.

- Elementos Pneumáticos

Neles é utilizado um gás comprimido para modulação do sinal, cuja pressão é alterada conforme o valor que se deseja representar. A variação da pressão do gás é linearmente manipulada em uma faixa específica e padronizada internacionalmente, para se representar a variação de uma grandeza física ou sinal desde seu limite inferior até seu limite superior. O padrão de modulação de pressão para a representação de grandezas e para a transmissão ou recepção em instrumentos pneumáticos mais utilizado no setor industrial é o de 3 a 15psi (aprox. 0,2 a 1,0 kgf/cm<sup>2</sup>), para a faixa de 0% a 100% do sinal em questão.

Os sistemas de transmissão analógica normalmente representam o valor de 0% da grandeza de medida com um sinal diferente de zero por uma questão de diagnóstico ou identificação de falhas em casos de rompimento do meio de comunicação (neste caso a linha de gás comprimido). O gás mais utilizado para transmissão é o ar comprimido, em alguns casos também se emprega o Nitrogênio.

Uma grande vantagem em seu utilizar instrumentos pneumáticos está no fato de se poder operá-los com segurança em áreas onde existe risco de explosão (refinarias de petróleo, por exemplo).

Desvantagens:

- a) Necessidade de tubulação de ar comprimido (ou outro gás) para suprimento e sinalização.
- b) Necessidade de equipamentos auxiliares tais como compressores, filtros, unidades de tratamento, etc, para fornecer aos instrumentos ar comprimido devidamente tratado.
- c) Devido ao atraso intrínseco e à perda de carga na transmissão de sinais pneumáticos, estes não podem ser enviados à longa distância, sem o uso de reforçadores. Normalmente a transmissão é limitada a aproximadamente 100 m.
- d) Vazamentos ao longo da linha de transmissão, nas conexões ou mesmo nos instrumentos são difíceis de serem detectados.
- e) Não permite conexão direta a computadores.
- f) Trata-se de um fluido compressível.

- Hidráulico

Similar ao pneumático e com desvantagens equivalentes, o tipo hidráulico utiliza-se da variação de pressão exercida em óleos hidráulicos para transmissão de sinal ou potência. É especialmente utilizado em aplicações onde torque elevado é necessário ou quando o processo envolve pressões elevadas.

As vantagens relacionadas ao uso de instrumentos hidráulicos estão relacionadas à incompressibilidade do fluido e à capacidade destes em gerar grandes forças e assim acionar com resposta rápida equipamentos de grande carga e dimensão.

Desvantagens:

- a) Necessidade de tubulações de óleo para transmissão e suprimento.
- b) Necessidade de inspeção periódica do nível de óleo bem como sua troca.
- c) Necessidade de equipamentos auxiliares, tais como reservatório, filtros e bombas.

- Elétrico Analógico

A modulação de sinais é realizada na corrente ou na tensão de sinais elétricos. Face à tecnologia atual dos instrumentos eletrônicos microprocessados, este tipo de transmissão é largamente aplicado.

Assim como no caso da transmissão pneumática, o sinal elétrico analógico é linearmente modulado em uma faixa padronizada que representa a faixa de valores possíveis entre o limite mínimo e máximo de uma variável física em um processo industrial qualquer. Como padrão para transmissão a longas distâncias são utilizados sinais em corrente contínua modulados entre 4 a 20 mA. Para curtas distâncias de até 15 metros aproximadamente, também utilizam-se sinais em tensão contínua modulados entre 1 e 5V. Em um capítulo adiante, os sistemas de automação baseados em comunicação no padrão 4 a 20 mA serão detalhados.

Vantagens:

- a) Possibilidade de transmissão em longas distâncias sem atenuações.
- b) A alimentação de instrumentos pode ser realizada pelos próprios condutores elétricos que conduzem o sinal de transmissão.
- c) Pouca necessidade de equipamentos auxiliares.
- d) Alta disponibilidade de sistemas para a interface com computadores.
- e) Fácil implantação circuitos para a realização de operações aritméticas.

Desvantagens:

- a) Exige a utilização de instrumentos e diretrizes especiais em projetos de instalações localizadas em áreas com riscos de explosão.
- b) Os cabos de transmissão de sinal devem ser protegidos contra ruídos.

- Elétrico Digital

Nesse tipo de sinal, "pacotes de informações" sobre a variável medida ou outras informações relacionadas ao processo industrial são enviados através de sinais digitais modulados e padronizados. Para que a comunicação entre o elemento transmissor receptor seja realizada com êxito, adota-se uma "linguagem" padrão ou protocolo de comunicação, similarmente às redes de computadores utilizadas em escritórios. Sistemas de comunicação digital para automação, denominados "*fieldbuses*" ou redes de campo serão detalhado adiante.

Vantagens:

- a) Podem-se utilizar distintos meios (ex. cabos elétricos, fibra óptica, *wireless*) para a transmissão dos dados.
- b) Em geral, este tipo de sinal é relativamente imune a ruídos externos.
- c) Permitem ampla gama de funções de configurações, diagnósticos de falha e ajustes remotos nos instrumentos.

Desvantagens:

- a) Existência de distintos protocolos e tecnologias no mercado, o que dificulta a comunicação entre equipamentos de origens diferentes.

- b) Caso ocorra rompimento no cabo de comunicação em um sistema sem redundância, podem-se perder informações e/ou o controle de malhas.

## **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia**

Todo o estudo dos parâmetros e características de instrumentos de medição para fins de especificação em projetos de automação, calibração ou manutenção, sejam transdutores ou transmissores é realizado com base propriedades estáticas e dinâmicas deste instrumento com relação à sua capacidade de medir dada grandeza física. A área da ciência que lida com medidas e instrumentos de medida é a Metrologia.

Cada país adota um conjunto de normas nacionais de metrologia. No Brasil, estão sujeitos à regulamentação e ao controle metrológico através do INMETRO todos os instrumentos de medição empregados áreas da saúde, da segurança e do meio ambiente, e os produtos pré-medidos. A esta área dá-se o nome de “Metrologia Legal”.

Neste capítulo, serão apresentados alguns dos termos e definições importantes listadas ou não no “Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia”, adotado no legalmente no Brasil pelas Portarias Inmetro nº 102/88 e 29/95. Este vocabulário é compatível com normas internacionais definidas pela IEC (Comissão Internacional de Eletrotécnica).

### **Grandezas e Unidades**

#### 1. Grandeza (o que é mensurável) [(measurable)quantity]

Atributo de um fenômeno, corpo ou substância que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado. O termo grandeza pode referir-se a uma grandeza em um sentido geral (comprimento) ou a uma grandeza específica (comprimento de uma barra).

#### 2. Sistema de grandezas [system of quantities]

Conjunto de grandezas, em um sentido geral, entre as quais há uma relação definida.

#### 3. Grandeza de base

Grandeza que, em um sistema de grandezas, é por convenção aceita como funcionalmente independente de uma outra grandeza. Exemplo: As grandezas comprimento, massa, e tempo são geralmente tidas como grandezas de base no campo da mecânica.

#### 4. Grandeza derivada [derived quantity]

Grandeza definida, em um sistema de grandezas, como função de grandezas de base deste sistema. Exemplo: Em um sistema que tem como grandezas fundamentais o comprimento, a massa e o tempo, a velocidade é uma grandeza derivada, definida como: comprimento dividido por tempo.

#### 5. Unidade (de medida) [unit (of measurement)]

Grandeza específica, definida e adotada por convenção, com a qual outras grandezas de mesma natureza são comparadas para expressar suas magnitudes em relação àquela grandeza.

#### 6. Símbolo de uma unidade (de medida) [symbol of a unit ( of measurement)]

Sinal convencional que designa uma unidade de medida. Exemplos: “m” é o símbolo do metro, “A” é

o símbolo do Ampère.

#### 7. Sistema de unidades (de medida) [system of units (of measurement)]

Conjunto das unidades de base e unidades derivadas, definido de acordo com regras específicas, para um dado sistema de grandezas. Exemplo: Sistema Internacional de Unidades, SI, baseado atualmente nas sete unidades de base seguintes:

GRANDEZA	Unidade	SI
	Nome	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	Kg
Tempo	Segundo	S
Corrente Elétrica	Ampère	A
Temperatura Termodinâmica	Kelvin	K
Quantidade de Matéria	Mol	Mol
Intensidade Luminosa	Candela	Cd

#### 8. Unidade (de medida) derivada [derived unit (of measurement)]

Unidade de medida de uma grandeza derivada em um sistema de grandezas. Algumas unidades derivadas possuem nomes e símbolos especiais; por exemplo no SI:

GRANDEZA	Unidade	SI
	Nome	Símbolo
Força	Newton	N
Energia	Joule	J
Pressão	Pascal	Pa

#### 9. Unidade (de medida) fora do sistema [oft-system unit (of measurement)]

Unidade de medida que não pertence a um dado sistema de unidades. Exemplos: a) O elétron-volt (aproximadamente de  $1,602 \cdot 10^{-19}$  J) é uma unidade de energia fora do sistema em relação ao SI; b) O dia, a hora, o minuto são unidades de tempo fora do sistema em relação ao SI.

#### 10. Valor (de uma grandeza) [value (of a quantity)]

Expressão quantitativa de uma grandeza específica, geralmente sob a forma de uma unidade de medida multiplicada por um número.

Exemplo: Comprimento de uma barra: 5,34m ou 534 em;

#### 11. Valor verdadeiro (de uma grandeza) [true value (of a quantity)]

Valor consistente com a definição de uma dada grandeza específica. É um valor que seria obtido por uma medição perfeita; valores verdadeiros são, por natureza, indeterminados.



## 12. Valor verdadeiro convencional (de uma grandeza) [conventional true value (of a quantity)]

Valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, às vezes por convenção, como tendo uma incerteza apropriada para uma dada finalidade.

Exemplo: Recomenda-se o valor para a constante de Avogadro como sendo  $6,022\ 1367 \times 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>.

Observações: 1) "Valor verdadeiro convencional" é às vezes denominado valor designado, melhor estimativa do valor, valor convencional ou valor de referência. 2) Frequentemente um grande número de resultados de medições de uma grandeza é utilizado para estabelecer um valor verdadeiro convencional.

## 13. Escala de referência convencional [conventional reference scale] Escala de valores de referência

Para grandezas específicas de uma dada natureza, é um conjunto de valores ordenados, contínuos ou discretos, definidos por convenção e como uma referência para classificar em ordem crescente ou decrescente grandezas de mesma natureza. Exemplo: Escala de pH em química.

## Medições

### 1. Medição [measurement]

Conjunto de operações que tem por objetivo determinar um valor de uma grandeza. As operações podem ser feitas automaticamente

### 2. Metrologia [metrology]

Conforme mencionado anteriormente, a Metrologia é a ciência da medição. Abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou tecnologia.

### 3. Princípio de medição [principle of measurement]

Base científica de uma medição. Exemplos: O efeito termo elétrico utilizado para a medição da temperatura; O efeito Doppler utilizado para a medição da velocidade.

### 4. Método de medição [method of measurement]

Seqüência lógica de operações, descritas genericamente, usadas na execução das medições. Podem ser qualificados de várias maneiras. Exemplo: método diferencial.

### 5. Procedimento de medição [measurement procedure]

Conjunto de operações, descritas especificamente, usado particulares de acordo com um dado método. Um procedimento de medição é usualmente registrado em um documento, que algumas vezes é denominado procedimento de medição ( ou método de medição) e normalmente tem detalhes suficientes para permitir que um operador execute a medição sem informações adicionais.

### 6. Mensurando [mensurand]

Objeto da medição. Grandeza específica submetida à medição. Exemplo: Pressão de vapor de uma

dada amostra de água a 200°C.

7. Grandeza de influência [influence quantity]

Grandeza que não é o mensurando, mas que afeta o resultado da medição deste. Exemplo: A temperatura de um micrômetro usado na medição de um comprimento.

8. Sinal de medição [measurement signal]

Grandeza que representa o mensurando ao qual está funcionalmente relacionada. Exemplos: Sinal de saída elétrico de um transdutor de pressão; Freqüência de um conversor tensão/freqüência.

## **Resultados de Medição**

1. Resultado de uma medição [result of a measurement]

Valor atribuído a um mensurando obtido por medição. Quando um resultado é dado, deve-se indicar claramente se ele se refere: à indicação, ao resultado não corrigido ou ao resultado corrigido e se corresponde ao valor médio de várias medições. Uma expressão completa do resultado de uma medição inclui informações sobre a incerteza de medição.

2. Indicação (de um Instrumento de medição) [Indication (of a measuring instrument)]

Valor de uma grandeza fornecido por um instrumento de medição. O valor lido no dispositivo mostrador pode ser denominado de indicação direta, ele é multiplicado pela constante do instrumento para fornecer a indicação. A grandeza pode ser um mensurando, um sinal de medição ou uma outra grandeza a ser usada no cálculo do valor do mensurando.

3. Resultado não corrigido [uncorrected result]

Resultado de uma medição antes da correção devido aos erros sistemáticos

4. Resultado corrigido [corrected result]

Resultado de uma medição após a correção devido aos erros sistemáticos

5. Exatidão de medição [accuracy of measurement]

Grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando. A exatidão é um conceito qualitativo; o termo precisão não deve ser utilizado como exatidão, ele refere-se a uma medida qualitativa acerca da dispersão de medidas, algo semelhante à repetitividade.

6. Repetitividade ou Repetibilidade (de resultados de medições) [repeatability (of results of measurements)]

Grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição. Pode ser expressa quantitativamente em função das características da dispersão dos resultados.

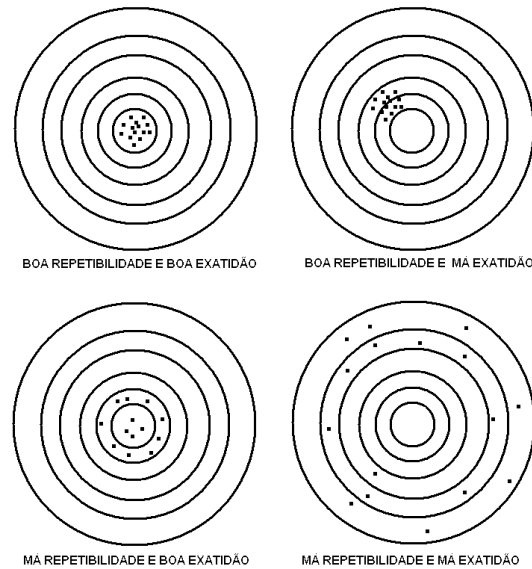


Figura 8.10. Repetibilidade x Exatidão

7. Reprodutibilidade (dos resultados de medições) [reproducibility (of results of measurements)]

Grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição. Para que uma expressão da reprodutibilidade seja válida, é necessário que sejam especificadas as condições alteradas, que podem incluir: Princípio de medição, Método de medição, Observador, Instrumento de medição, Padrão de referência, Local, Condições de utilização e Tempo.

8. Desvio padrão experimental [experimental standard deviation]

Para uma série de “n” medições de um mesmo mensurando, a grandeza “s”, que caracteriza a dispersão dos resultados, é dada pela fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Onde  $x_i$  representa o resultado da “iésima” medição e  $\bar{x}$  representa a média aritmética dos “n” resultados considerados.

9. Incerteza de medição [uncertain of measurement]

Parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando. O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio padrão( ou um múltiplo dele). Entende-se que o resultado da medição é a melhor estimativa do valor do mensurando, e que todos os componentes da incerteza, incluindo aqueles resultantes dos efeitos sistemáticos, como os componentes associados com correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão.

10. Erro (de medição) [error (of measurement)]

Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando. Uma vez que o valor verdadeiro não pode ser determinado, utiliza-se, na prática um valor verdadeiro convencional. Quando for necessário distinguir “erro” de “erro relativo”, o primeiro é, algumas vezes, o primeiro é algumas vezes denominado erro absoluto da medição. Este termo não deve ser confundido com valor absoluto do erro, que é o módulo do erro. Ex: Valor lido= 190°C; valor real= 200°C; erro= -10°C

11. Desvio [deviation]

Valor menos seu valor de referência.

12. Erro relativo [relative error]

Erro da medição dividido por um valor verdadeiro do objeto da medição.

13. Erro aleatório [random error]

Resultado de uma medição menos a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando efetuadas sob condições de repetitividade. O Erro aleatório é igual ao erro menos o erro sistemático. Em razão de que apenas um finito número de medições pode ser feito, é possível apenas determinar uma estimativa do erro aleatório.

14. Erro sistemático [systematic error]

Média, que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando. O Erro sistemático é igual ao erro menos o erro aleatório, analogamente ao valor verdadeiro o erro sistemático e suas causas não podem ser completamente conhecidos;

15. Correção [correction]

Valor adicionado algebricamente ao resultado não corrigido de uma medição para compensar um erro sistemático. A correção é igual ao erro sistemático estimado com sinal trocado;

16. Fator de correção [correction factor]

Fator numérico pelo qual o resultado não corrigido de uma medição é multiplicado para compensar um erro sistemático.

17. Ajuste (de um instrumento) de medição

Operação destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com seu uso. O ajuste pode ser automático, semi-automático ou manual.

18. Regulagem (de um instrumento ) de medição

Ajuste, empregando somente os recursos disponíveis no instrumento para o usuário.

19. Calibração ou Aferição (de um instrumento) de medição

Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores

indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

faixa de medida	10	160	psi							
alcance (span)	150		psi							
				<b>RESULTADOS</b>				<b>RESULTADO FINAL</b>		
especificações fabricante				±%	±psi	max. erro (%)		OK		
Exatidão % span				0,4	0,6	0,60		reprovado		
Histerese % span				1	1,5	0,99		aprovado		

valor aplicado		leitura ascendente			leitura descendente			histerese		
psi	%	psi	erro psi	%span	psi	erro psi	%span	psi (abs)	%span	%
10	0,0	10,6	0,6	<b>0,40</b>	10,9	0,9	<b>0,60</b>	0,3	<b>0,20</b>	-0,20
25	10,0	24,32	-0,68	<b>-0,45</b>	25,8	0,8	<b>0,53</b>	1,48	<b>0,99</b>	-0,99
50	26,7	49,78	-0,22	<b>-0,15</b>	50,7	0,7	<b>0,47</b>	0,92	<b>0,61</b>	-0,61
85	50,0	85,53	0,53	<b>0,35</b>	85,9	0,9	<b>0,60</b>	0,37	<b>0,25</b>	-0,25
100	60,0	99,86	-0,14	<b>-0,09</b>	100,6	0,6	<b>0,40</b>	0,74	<b>0,49</b>	-0,49
150	93,3	150,57	0,57	<b>0,38</b>	150,9	0,9	<b>0,60</b>	0,33	<b>0,22</b>	-0,22
160	100,0	160,62	0,62	<b>0,41</b>	160,5	0,5	<b>0,33</b>	0,12	<b>0,08</b>	0,08
PRIMEIRA LEITURA		máximo:	0,62	0,41	máximo:	0,90	0,60	máximo: 0,99		
		mínimo:	-0,68	0,45	mínimo:	0,50	0,33			
Resultados Parciais (%)		max. erro linear. asc. <b>0,45</b>			max. erro linear. desc. <b>0,60</b>			max. erro histerese <b>0,99</b>		
		resultado parcial: <b>reprovado</b>			resultado parcial: <b>reprovado</b>			resultado parcial: <b>aprovado</b>		

Figura 8.11. Exemplo 1 de Tabela de Calibração

faixa de medida	10	160	psi							
alcance (span)	150		psi							
especificações fabricante				±%	±psi	<b>RESULTADOS</b>		<b>RESULTADO FINAL</b>		
Exatidão % span				0,4	0,6	max. erro OK		FINAL		
Histerese % span				1	1,5	0,33 aprovado		APROVADO		
						0,53 aprovado				

valor aplicado		leitura ascendente			leitura descendente			histerese		
psi	%	psi	erro psi	%span	psi	erro psi	%span	psi (abs)	%span	%
10	0,0	10,4	0,4	<b>0,27</b>	10,3	0,3	<b>0,20</b>	0,1	<b>0,07</b>	0,07
25	10,0	25,48	0,48	<b>0,32</b>	24,9	-0,1	<b>-0,07</b>	0,58	<b>0,39</b>	0,39
50	26,7	49,5	-0,5	<b>-0,33</b>	50,3	0,3	<b>0,20</b>	0,8	<b>0,53</b>	-0,53
85	50,0	85	0	<b>0,00</b>	84,7	-0,3	<b>-0,20</b>	0,3	<b>0,20</b>	0,20
100	60,0	99,8	-0,2	<b>-0,13</b>	99,68	-0,32	<b>-0,21</b>	0,12	<b>0,08</b>	0,08
150	93,3	150,3	0,3	<b>0,20</b>	150	0	<b>0,00</b>	0,3	<b>0,20</b>	0,20
160	100,0	160,4	0,4	<b>0,27</b>	160,4	0,4	<b>0,27</b>	0	<b>0,00</b>	0,00
PRIMEIRA LEITURA		máximo:	0,48	0,32	máximo:	0,40	0,27	máximo: 0,53		
		mínimo:	-0,50	0,33	mínimo:	-0,32	0,21			
Resultados Parciais (%)		max. erro linear. asc. <b>0,33</b>			max. erro linear. desc. <b>0,27</b>			max. erro histerese <b>0,53</b>		
		resultado parcial: <b>aprovado</b>			resultado parcial: <b>aprovado</b>			resultado parcial: <b>aprovado</b>		

Figura 8.12. Exemplo 2 de Tabela de Calibração

## Características dos Instrumentos de Medição

### 1. Faixa nominal [nominal range]

Faixa de indicação que se pode obter em uma posição específica dos controles de um instrumento de medição. É normalmente definida em termos de seus limites inferior e superior, por exemplo, 100 a 2000 C.

Diz-se Rangeabilidade (largura de faixa) a relação entre o valor máximo e o valor mínimo, lidos com a mesma exatidão na escala de um instrumento. Exemplo: Para um sensor de vazão cuja escala é 0 a 300gpm (galões por minuto), com exatidão de 1% do span e rangeabilidade 10:1, a exatidão será respeitada

entre 30 e 300gpm.

2. Amplitude ou Alcance da faixa nominal [span]

Diferença, em módulo, entre os dois limites de uma faixa nominal. Em algumas áreas, a diferença entre o maior e o menor valor é denominada faixa. Exemplos: Faixa Nominal: -10V a 10 V, 4 a 20 mA, 1 a 5 V. Amplitude da Faixa Nominal: 20 V, 16 mA, 4 V

3. Valor nominal [nominal value]

Valor arredondado ou aproximado de uma característica de um instrumento de medição que auxilia na sua utilização. Exemplos: 100  $\Omega$  como valor marcado em um resistor padrão, 1 L como valor marcado em um recipiente volumétrico com uma só indicação.

4. Faixa de medição [measuring range] ou Faixa de trabalho [working range]

Conjunto de valores de um mensurando para o qual se admite que o erro de um instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados.

5. Condições de utilização [rated operating conditions]

Condições de uso para as quais as características metrológicas especificadas de um instrumento de medição mantêm-se dentro de limites especificados.

6. Condições limites [limiting conditions]

Condições extremas nas quais um instrumento de medição resiste sem danos e degradação das características metrológicas especificadas, as quais são mantidas nas condições de funcionamento em utilizações subseqüentes. As condições limites para armazenagem, transporte e operação podem ser diferentes.

7. Condições de referência [reference conditions]

Condições de uso prescritas para ensaio de desempenho de um instrumento de medição ou para intercomparação de resultados de medições.

8. Constante de um instrumento [instrument constant]

Fator pelo qual a indicação direta de um instrumento de medição deve ser multiplicada para obter-se o valor indicado do mensurando ou de uma grandeza utilizada no cálculo do valor do mensurando

9. Característica de resposta [response characteristic]

Relação entre um estímulo e a resposta correspondente, sob condições definidas.. A relação pode ser expressa na forma de uma equação matemática, uma tabela numérica ou um gráfico. Quando o estímulo varia como uma função do tempo uma forma de característica de resposta é a função de transferência (transformada de Laplace da resposta dividida pela do estímulo). Exemplo: A força eletromotriz de um termopar como função da temperatura

10. Sensibilidade [sensitivity]

Varição da resposta de um instrumento de medição dividida pela correspondente variação do estímulo. A sensibilidade pode depender do valor do estímulo. Exemplo: Um instrumento com range de 0 a 500°C e com uma sensibilidade de 0,05% terá valor de  $\pm 0,25^\circ\text{C}$ .

11. (Limiar de) Mobilidade [discrimination (threshold)]

Maior variação no estímulo que não produz variação detectável na resposta de um instrumento de medição, sendo a variação no sinal de entrada lenta e uniforme. O limiar de mobilidade pode depender, por exemplo, de atrito ou também do valor do estímulo.

12. Resolução (de um dispositivo mostrador) [resolution (of a displaying device)]

Menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida. Para dispositivo mostrador digital, é a variação na indicação quando o dígito menos significativo varia de uma unidade. Este conceito também se aplica a um dispositivo registrador. Ex: mostrador instrumento 10~160psi com escala de 2 em 2 psi, Resolução = 2 psi.

13. Zona morta [dead band]

Intervalo máximo no qual um estímulo pode variar em ambos os sentidos sem produzir variação na resposta de um instrumento de medição. A zona morta pode depender da taxa de variação e, algumas vezes pode ser deliberadamente ampliada de modo a prevenir variações na resposta para pequenas variações no estímulo. Ex: instrumento 10~160psi – zona morta de  $\pm 1\%$  do span: O instrumento é insensível à variação de  $\pm 1,5$  psi.

14. Estabilidade [stability]

Aptidão de um instrumento de medição em conservar constantes suas características metrológicas ao longo do tempo.

15. Deriva [drift]

Varição lenta de uma característica metrológica de um instrumento de medição. Exemplo: variação na sensibilidade com o passar dos anos.

16. Tempo de resposta [response time]

Intervalo de tempo entre o instante em que um estímulo é submetido a uma variação brusca e o instante em que a resposta atinge e permanece dentro de limites especificados em torno do seu valor final estável.

17. Exatidão de um instrumento de medição [accuracy of a measuring instrument]

Aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro. Exatidão é um conceito qualitativo, existem as seguintes formas de expressão da exatidão: em % do span ; em % do vm ; em unidades de engenharia ; % variável.

Exemplos:

Exatidão em porcentagem do alcance (% span):

instrumento de 10 ~ 160 psi - exatidão de  $\pm 0,5\%$  span

Leitura= 12 psi – valor real= 11,25 ~ 12,75 psi (var.= 12,5%)

Leitura= 150 psi – valor real= 149,25 ~ 150,75 psi (var.= 1%)

Exatidão em porcentagem do valor medido:

instrumento de 10 ~ 160 psi - exatidão de  $\pm 0,5\%$  valor med.

Leitura= 12 psi – valor real= 11,94 ~ 12,06 psi (var.= 1%)

Leitura= 150 psi – valor real= 149,25 ~ 150,75 psi (var.= 1%)

Exatidão em unidades da variável (unidades de engenharia):

instrumento de 10 ~ 160 psi - exatidão de  $\pm 0,5$  psi

Leitura= 12 psi – valor real= 11,5 ~ 12,5 psi (var.= 8,3%)

Leitura= 150 psi – valor real= 149,5 ~ 150,5 psi (var.= 0,6%)

Exatidão variável ao longo da faixa:

instrumento de 10 ~ 160 psi

exatidão de  $\pm 1\%$  (vm) de 10 a 60psi e de 110 a 160psi

exatidão de  $\pm 0,5\%$  (vm) de 60 a 110 psi

Obs.: para manômetros considerar a faixa de 25% a 75%

#### 18. Classe de exatidão [accuracy class]

Classe de instrumentos de medição que satisfazem a certas exigências metrológicas destinadas a conservar os erros dentro de limites especificados. Uma classe de exatidão é usualmente indicada por um número ou símbolo adotado por convenção e denominado índice de classe.

#### 19. Erro (de indicação) de um instrumento de medição [error (of indication) of a measuring instrument]

Indicação de um instrumento de medição menos um valor verdadeiro da grandeza de entrada correspondente. Este conceito aplica-se principalmente quando o instrumento é comparado a um padrão de referência. Uma vez que um valor verdadeiro não pode ser determinado, na prática é utilizado um valor verdadeiro convencional.

#### 20. Erros máximos admissíveis (de um instrumento de medição) [maximum permissible errors (of a measuring instrument)] ou Limites de erros admissíveis (de um instrumento de medição) [Limits of permissible error (of a measuring instrument)]

Valores extremos de um erro admissível por especificações, regulamentos, etc para um dado instrumento de medição.

#### 21. Erro no ponto de controle ( de um instrumento de medição) [datum error (of a measuring instrument)]

Erro de um instrumento de medição em uma indicação especificada ou em um valor especificado do mensurando, escolhido para controle do instrumento.

#### 22. Erro no zero (de um instrumento de medição) [zero error (of a measuring instrument)]

Erro no ponto de controle de um instrumento de medição para o valor zero do mensurando.



23. Erro intrínseco (de um instrumento de medição) [intrinsic error (of a measuring instrument)]

Erro de um instrumento de medição, determinado sob condições de referência.

24. Tendência (de um instrumento de medição) [bias (of a measuring instrument)]

Erro sistemático da indicação de um instrumento de medição. É normalmente estimada pela média dos erros de indicação de um número apropriado de medições repetidas.

25. Repetitividade (de um instrumento de medição) [repeatability (of a measuring instrument)]

Aptidão de um instrumento de medição fornecer indicações muito próximas, em repetidas aplicações do mesmo mensurando, sob as mesmas condições de medição. Estas condições incluem:

- redução ao mínimo das variações devido ao observador;
- mesmo procedimento de medição;
- mesmo observador;
- mesmo equipamento de medição, utilizado nas mesmas condições;
- mesmo local;
- repetições em um curto período de tempo.

A repetibilidade pode ser expressa quantitativamente em termos das características da dispersão das indicações. Ex: instrumento 10~160psi – repetitividade de  $\pm 0,5$  % do span com valor aplicado de 100psi pode indicar variações entre 99,25 psi e 100,75 psi para cada tentativa do mesmo teste.

26. Rastreabilidade

Propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.

27. Padrão

Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência. Exemplos:

- a) Massa Padrão de 1 kg;
- b) Termômetro Calibrado na RBC;
- c) Miliamperímetro padrão;
- d) Manômetro Digital Calibrado na RBC;
- e) Solução de Referência de pH;

28. Histerese

Propriedade de um instrumento de medir pela qual a resposta a um dado estímulo depende da seqüência dos estímulos precedentes. Num instrumento de medição, é o erro máximo apresentado pelo instrumento, para um mesmo valor, em qualquer ponto da faixa de trabalho, quando a variável percorre a escala nos sentidos ascendente e descendentes.

Ex.: Ex: instrumento de 10~160psi em calibração sem ajuste:

valor aplicado	valor lido asc.	valor lido desc.	histerese
----------------	-----------------	------------------	-----------

100 psi	99,8 psi (-0,13%)	99,6 psi (-0,26%)	0,13 % span
50 psi	49,5 psi (-0,33%)	50,3 psi (+0,20%)	0,53 % span

Devemos destacar que o termo "zona morta" está incluído na histerese.

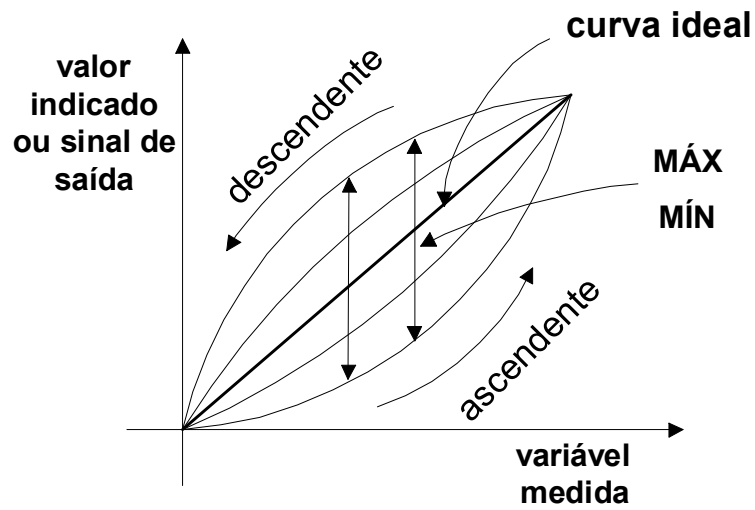


Figura 8.13. Representação da Histerese