

# *Instrumentos de Medição*

# **Instrumentos de Medição**

Inmetro – Abril de 2017

## 1 – Introdução

Não nos damos conta, mas no nosso dia a dia utilizamos instrumentos de medição o tempo todo. Os exemplos são inúmeros: quando vamos ao supermercado e compramos um quilograma de maçã; quando vamos a um posto de combustível e abastecemos vinte litros de gasolina em nosso carro; quando compramos dois metros de fio em uma loja de materiais elétricos. Em todos esses casos, nossas compras foram feitas com base em medidas, e, para obtê-las, foram empregados instrumentos de medição: uma balança, um medidor volumétrico e uma trena, respectivamente.

Tais instrumentos de medição, utilizados no âmbito da metrologia legal, estão no comércio, nas áreas de saúde, segurança e meio ambiente e na definição ou aplicação de penalidades (efeito fiscal).

Nesta aula, vamos saber um pouco mais sobre esses instrumentos, suas aplicações e características. Também vamos entender por que é importante escolher corretamente o instrumento a ser utilizado, de acordo com o nível de exatidão que precisamos e com a magnitude da grandeza a ser medida.

## 2 – Por que medir?

Desde a Antiguidade, o homem vem buscando aperfeiçoar seus padrões de medidas e sistemas de medição para facilitar o comércio e a troca de mercadorias, e isso tomou força quando começaram as produções em grande escala, a construção de casas, barcos, máquinas, etc.

Atualmente, a metrologia está muito evoluída, mas ainda é um desafio tecnológico cada vez maior: medidas mais exatas e precisas podem trazer resultados mais adequados para as atividades humanas. Dependendo do tamanho da grandeza a ser medida, são necessários instrumentos ou métodos diferentes, por isso é possível medir com exatidão adequada desde pequenos objetos até o diâmetro da Terra.

Medir é comparar uma grandeza física, direta ou indiretamente, com outra grandeza física previamente escolhida, chamada padrão. Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), medição é o processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza.

Por exemplo, medir o comprimento de um objeto é compará-lo com um metro ou uma trena, utilizada como padrão. Assim, realizamos um processo de medição e o padrão é o nosso instrumento de medição.



Um sistema de medição pode consistir de apenas um instrumento de medição. A escolha de qual instrumento utilizar depende do método de medição a ser adotado.

Os métodos de medição podem ser classificados como diretos ou indiretos. No método direto, utilizamos diretamente o instrumento para obter o resultado da medição desejada, enquanto no método indireto as medições são efetuadas indiretamente ou por comparação com valores conhecidos.

## 2.1 – Tipos de Instrumento de Medição

Um instrumento de medição pode ser um instrumento de medição indicador ou uma medida materializada. Um instrumento de medição indicador é definido como:

**Instrumento de medição que fornece um sinal de saída, o qual contém informações sobre o valor da grandeza medida.**

E uma medida materializada é definida como:

**Instrumento de medição que reproduz ou fornece, de maneira permanente durante sua utilização, grandezas de um ou mais tipos, cada uma com um valor designado.**

Dependendo da situação, uma medida materializada pode ser utilizada como instrumento de medição ou como padrão. Dessa forma, a indicação de uma medida materializada é o valor a ela designado.

Alguns exemplos típicos de medidas materializadas são: peso-padrão, medida de capacidade (que fornece um ou mais valores, com ou sem escala de valores), resistor-padrão, escala graduada, bloco-padrão, gerador-padrão de sinais, material de referência certificado.



*Figura 2 – Balança eletrônica (instrumento de medição indicador para medição de massa) e pesos-padrão (medidas materializadas)*

No que diz respeito a instrumentos de medição indicadores, existe uma grande diversidade de tipos de equipamentos com diferentes características e campos de aplicação.

### **2.1.1. Instrumentos de medição com mostrador analógico**

Em geral, um instrumento de medição indicador com mostrador analógico fornece a indicação de uma grandeza medida através do deslocamento de um ponteiro sobre uma escala graduada.



*Figura 3 – Leitura de uma grandeza em um instrumento de medição analógico*

Devido ao seu aspecto construtivo, o instrumento analógico assegura uma estreita correspondência entre a variação na grandeza medida e a indicação do mostrador. Atualmente o uso destes equipamentos é mais adequado quando as grandezas a serem medidas não apresentam grandes variações instantâneas e a leitura pretendida não necessita de grande exatidão.

As principais limitações do uso dos instrumentos analógicos são:

- ✓ O tempo de leitura é elevado.
- ✓ Para sensibilidades elevadas, as técnicas construtivas são delicadas e de alto custo.
- ✓ A utilização de ponteiros e escalas graduadas conduz a erros de visualização (paralaxe), bem como a erros de estimativa do próprio utilizador.

- ✓ A sua operação é local e manual e existe dificuldade, ou mesmo impossibilidade em termos práticos, de integrá-los em sistemas automáticos de medição.
- ✓ Eles exigem uma calibração em períodos menores devido aos desajustes mecânicos associados à própria utilização dos instrumentos e à elevada sensibilidade em relação às condições ambientais.

### 2.1.2. Instrumentos de medição com mostrador digital

Um instrumento de medição indicador com mostrador digital mostra diretamente o valor da grandeza a medir através de algarismos ou dígitos em um visor.



*Figura 4 – Leitura de uma grandeza em um instrumento de medição digital*

As principais características dos instrumentos digitais são a sua menor sensibilidade a perturbações exteriores, a capacidade de maior resolução e a representação da medida de forma numérica.

Outra característica é a possibilidade de construir equipamentos portáteis com menor dependência das condições de funcionamento. Além disso, a ausência do ponteiro minimiza os erros de leitura do operador.

Há também a possibilidade de armazenamento e a computação de resultados, uma vez que a informação se encontra representada utilizando sinais elétricos.

Quanto às limitações dos instrumentos digitais, as principais são:

- ✓ Reduzida versatilidade de utilização, uma vez que as funções desempenhadas são determinadas de forma rígida pelo “hardware” utilizado.
- ✓ Custo mais elevado que o dos instrumentos analógicos.
- ✓ Inexistência de “software”, que poderá limitar alterações nos instrumentos pelo fabricante ou utilizador.

## **2.2 – Partes de um Instrumento de Medição Indicador**

Todo instrumento de medição indicador é composto por três partes: sensor, dispositivo de elaboração da medida e dispositivo de apresentação da medida.

### **2.2.1 – Sensor**

Elemento de um sistema de medição que é diretamente afetado por um fenômeno, corpo ou substância que contém a grandeza a ser medida.

Exemplos: bobina sensível de um termômetro de resistência de platina, rotor de um medidor de vazão de turbina, tubo de Bourdon de um manômetro, boia de um instrumento de medição de nível, fotocélula de um espectrômetro, cristal líquido termotrópico que muda de cor em função da temperatura.

A característica fundamental de um sensor é sua sensibilidade elevada à grandeza a ser medida associada a uma baixa sensibilidade às grandezas que possam perturbar o resultado da medida.

### **2.2.2 – Dispositivo de Elaboração da Medida (transdutor)**

Dispositivo, utilizado em medição, que fornece uma grandeza de saída, a qual tem uma relação especificada com uma grandeza de entrada.

Exemplos: termopar, transformador de corrente, extensômetro, eletrodo de pH, tubo de Bourdon, tira bimetálica.

O transdutor pode conter elementos destinados a compensar a sensibilidade indesejável do sensor a outras grandezas que não aquela que se deseja medir e/ou elementos que combinam mais de uma grandeza diretamente medida para gerar sinais correspondentes a grandezas compostas.

### **2.2.3 – Dispositivo de Apresentação da Medida (mostrador)**

Dispositivo que transforma a grandeza de saída do transdutor e o apresenta na forma visual sobre uma escala ou visor digital.

Para exemplificar melhor estas três partes de um instrumento de medição, vamos utilizar o barômetro. Num barômetro, o sensor é uma cápsula, em forma de disco, em cujo interior é feito vácuo, conforme seu valor: os valores de pressão são convertidos em valores de comprimento correspondentes à altura da cápsula. A variação da altura da cápsula é elaborada através de um conjunto de alavancas e engrenagens que a transforma em uma posição de ponteiro sobre uma escala calibrada que mostra o valor da pressão medida.

## 2.3 – Instrumentos de Medição e suas Aplicações

Na tabela a seguir, estão listados alguns instrumentos de medição e sistemas de medição utilizados hoje e outros que caíram em desuso.

Instrumento / Sistema de medição	O que mede?
Acelerômetro	Aceleração de um corpo ou da gravidade
Altimetro	Alturas ou altitudes
Ampulheta	Tempo
Anemômetro	Velocidade do vento
Astrolábio	Altura dos astros acima do horizonte
Balança (instrumento)	Massa de um corpo
Balança de torção	Torque (pequenos)
Balestilha	Altura dos astros acima do horizonte
Balão volumétrico	Volume de uma substância líquida
Barômetro	Pressão atmosférica
Biruta	Direção e sentido do vento
Bolômetro	Radiação eletromagnética incidente
Clinômetro	Declividade de um terreno
Conta-giros	Rotações de um motor
Contador Geiger	Radiação ionizante
Coronógrafo	Coroa solar
Cronógrafo	Tempo
Cronometro	Tempo (cronógrafo certificado)
Cronotacógrafo	Velocidade, distância e tempo
Decibelímetro	Nível de pressão sonora
Densitômetro	Densidade óptica em cromos e opacos
Densímetro	Massa específica em líquidos

Instrumento / Sistema de medição	O que mede?
Ecobatímetro	Tempo de eco
Escalímetro	Escala
Esfigmomanômetro	Pressão arterial
Estação total	Ângulo e distância
Etilômetro	Quantidade de álcool no sangue
Fita métrica	Comprimento
Fotômetro	Intensidade luminosa
Frequencímetro	Frequência de um sinal
Galvanômetro	Corrente elétrica e diferença de potencial
Geodímetro	Distância
Goniômetro	Ângulos
Hidrômetro	Volume de líquidos
Higrômetro	Umidade em gases
Hipsômetro	Altitude
Horímetro	Tempo de uso
Inclinômetro	Ângulo de inclinação
LVDT	Deslocamento linear
Manômetro	Pressão manométrica em líquidos e gases
Megômetro	Resistência elétrica
Micrômetro (instrumento)	Comprimento
Multímetro	Grandezas elétricas (diversas)
Nevômetro	Quantidade de neve
Ohmímetro	Resistência elétrica
Oitante	Longitude
Opacímetro	Gases de exaustão de motores ciclo diesel
Osciloscópio	Diferença de potencial
PHmetro	Potencial hidrogeniônico (pH)

Instrumento / Sistema de medição	O que mede?
Paquímetro	Comprimento
Picnômetro	Volume
Piranômetro	Irradiação solar
Pirômetro	Temperatura
Pluviômetro	Quantidade de chuva
Pressostato	Pressão
Radioaltímetro	Altura de um avião
Radiômetro	Força da radiação eletromagnética
Refratômetro	Índice de refração
Régua	Comprimento
Relógio	Tempo
Resistógrafo	Resistência da madeira à penetração
Rotâmetro	Fluxo de um líquido ou gás
Rugosímetro	Rugosidade de uma superfície
Sextante	Abertura angular da vertical de um astro e o horizonte
Suta	Ângulo
Taxímetro	Valor cobrado em relação a distância e tempo
Teodolito	Ângulos verticais e horizontais
Termopar	Temperatura
Termorresistência	Temperatura
Termistor	Temperatura
Termômetro	Temperatura
Torquímetro	Torque
Transferidor	Ângulo
Tubo de pitot	Velocidade de fluidos
Velocímetro	Velocidade
Viscosímetro	Viscosidade de fluidos
Voltímetro	Tensão elétrica

### 3 – Propriedades dos instrumentos de Medição

Vamos estudar agora as diversas propriedades utilizadas para classificar os instrumentos de medição. As definições desses e de outros parâmetros foram retiradas do VIM, que deve ser sua ferramenta permanente de estudo.

#### 3.1 – Indicação

Valor fornecido por um instrumento de medição ou por um sistema de medição.

Uma indicação pode ser representada na forma visual ou acústica ou pode ser transferida a outro dispositivo. A indicação é frequentemente dada pela posição de um ponteiro sobre um mostrador para saídas analógicas, por um número apresentado em um mostrador ou impresso para saídas digitais, por um padrão de códigos para saídas codificadas ou por um valor designado a medidas materializadas.

Uma indicação e o valor correspondente da grandeza medida não são necessariamente valores de grandezas do mesmo tipo.

### 3.2 – Intervalo de Indicações

Conjunto de valores compreendidos entre duas indicações extremas.

Um intervalo de indicações é geralmente expresso em termos de seu menor e maior valor. Por exemplo, “99 V a 201 V”. Em algumas áreas, o termo adotado é “faixa de indicações”.

Geralmente, encontramos instrumentos de medição classificados de acordo com seu intervalo nominal de indicações, que é o conjunto de valores compreendidos entre duas indicações extremas arredondadas ou aproximados.

Um intervalo nominal de indicações é geralmente expresso em termos de seu menor e maior valor. Por exemplo, “100 V a 200 V”. Em algumas áreas, o termo adotado é “faixa nominal”.

Vejamos alguns exemplos:

- ✓ Termômetro clínico com intervalo de indicação nominal de 35 °C a 42 °C.
- ✓ Manômetro com intervalo de indicação nominal de 0 a 100 bar.
- ✓ Paquímetro com intervalo de indicação nominal de 0 a 300 mm.
- ✓ Balança com intervalo de indicação nominal de 0 a 1000 g.

### 3.3 – Intervalo de Indicações

Em algumas áreas, os termos adotados são: “faixa de medição”, “faixa de operação” ou “faixa de trabalho”.

O intervalo de medição é menor ou, no máximo, igual à faixa de indicação, e pode ser obtido nos manuais, normas técnicas ou relatórios de calibração.

Um bom exemplo de intervalo de medição é o multímetro digital de 3½ dígitos, ajustado para medir tensão elétrica alternada na faixa de indicação de 0 a 700 V. Este intervalo de indicação é dividido nos seguintes intervalos de medição: 0 a 2 V; 0 a 20 V; 0 a 200 V; 0 a 700 V.

### 3.4 – Sensibilidade

Quociente entre a variação de uma indicação de um sistema de medição e a variação correspondente do valor da grandeza medida.

Em outras palavras, a sensibilidade de um instrumento de medição representa a variação na indicação do instrumento, ou no sinal do sensor, dividida pela variação correspondente na grandeza medida (estímulo), e pode ser calculada da seguinte forma:

$\Delta i$  é o acréscimo ou mudança na indicação (ou variável de saída de um sensor).

$\Delta g$  é o acréscimo ou variação na grandeza física medida.

A sensibilidade de um instrumento de medição pode depender do valor da grandeza medida. A variação do valor da grandeza medida deve ser grande quando comparada à resolução.

Observe alguns exemplos:

- ✓ Um termômetro de resistência de platina, tipo Pt-100, apresenta uma sensibilidade de  $0,38\Omega/^{\circ}\text{C}$ , ou seja, cada  $1^{\circ}\text{C}$  de estímulo provoca uma variação na resistência elétrica de 0,38 ohms.
- ✓ Um termopar tipo K deve apresentar uma sensibilidade de  $39,5\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ . Para um tipo J, a sensibilidade deve ser de  $50,4\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5 – Resolução

Menor variação da grandeza medida que causa uma variação perceptível na indicação correspondente.

Em instrumentos com mostradores digitais, a resolução corresponde ao incremento digital. Vamos analisar um exemplo de um termo-higrômetro digital.



*Figura 5 – Termo-higrômetro digital, com indicação de temperatura (resolução de 0,1 °C) e umidade relativa (resolução 1%)*

Neste termo-higrômetro, a indicação da temperatura é dada com resolução de 0,1 °C, e a umidade relativa, com resolução de 1%, pois são as menores variações que podem ser percebidas para cada grandeza.

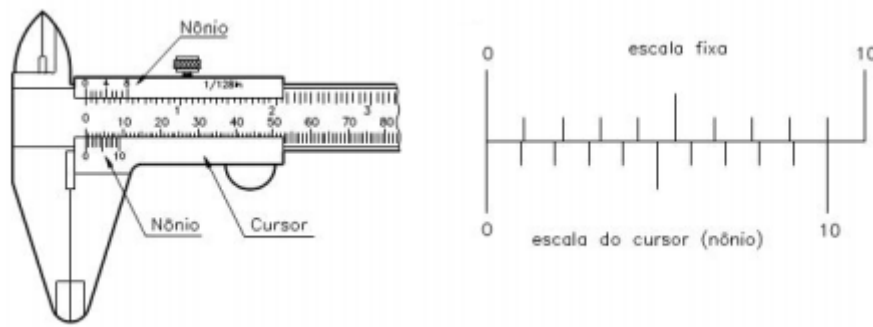
Para mostradores analógicos, a resolução de leitura será sempre o menor valor que, com segurança, pode ser lido em uma medição. Ou seja, a resolução refere-se à menor variação dessa grandeza que pode ser percebida com segurança pelo operador.

Na figura seguinte, representamos um manômetro. O valor de cada divisão da escala com unidades em bar é de 0,5 bar e o operador pode perceber uma variação da pressão de 0,25 bar. Na escala em psi, o valor de cada divisão é de 5,0 psi e o operador pode perceber uma variação da pressão de 2,5 psi.



*Figura 6 – Manômetro analógico (resolução de 0,25 bar e 2,5 psi)*

Outro exemplo bastante comum ocorre quando queremos determinar a resolução de um paquímetro, cuja menor divisão da escala fixa é 1 mm e o nônio possui 10 divisões com um comprimento de 9 mm em relação à escala fixa, conforme a figura a seguir.



**Figura 7 – Paquímetro e detalhe do nônio**

Uma forma geral para calcular a resolução de paquímetros é considerar o nônio com  $n$  divisões iguais para um comprimento  $X$  em relação à escala fixa. Assim, a distância entre duas divisões consecutivas do nônio pode ser calculada por: Após este cálculo, tem-se um numeral em notação decimal, da forma:  $I, D$ , onde  $I$  representa a parte inteira do número decimal e  $D$  é a parte fracionária. Assim, a resolução  $R$  do paquímetro pode ser calculada com a seguinte fórmula:

Voltando ao exemplo do paquímetro da figura anterior, temos:

Nônio com  $n = 10$  partes e comprimento  $X = 9$  mm.

$$I = 0; D = 9$$

Assim, a resolução  $R$  do paquímetro descrito anteriormente é:

Cálculo da resolução para outros tipos de paquímetro

Nônio de  $X = 39$  mm e  $n = 20$  divisões:

$$X/n = 39/20 = 1,95 \text{ mm}$$

$$I = 1; D = 95$$

$$R = (1 + 1) - 1,95 = 0,05 \text{ mm}$$

Nônio de  $X = 49$  mm e  $n = 50$  divisões:

$$X/n = 0,98 \text{ mm}$$

$$I = 0; D = 98$$

$$R = (0 + 1) - 0,98 = 0,02 \text{ mm}$$

### 3.6 – Exatidão de Medição

A exatidão é a característica mais importante de um instrumento de medição, pois determina a aptidão de um instrumento de medição em apresentar respostas próximas ao valor verdadeiro de um mensurando.

Desta forma, a exatidão de medição é definida como:

**Grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de um mensurando.**

Considerando o valor de um padrão de medição como o valor verdadeiro, a exatidão do instrumento está relacionada à sua capacidade em apresentar os resultados das medições o mais próximo possível do valor deste padrão.

A exatidão de medição não é uma grandeza e não lhe é atribuído um valor numérico, e uma medição é dita mais exata quando é caracterizada por um erro de medição menor.

O termo exatidão de medição não deve ser utilizado no lugar de veracidade, assim como o termo precisão de medição não deve ser utilizado para expressar exatidão de medição, o qual, entretanto, está relacionado a ambos os conceitos.

A exatidão de medição é algumas vezes entendida como o grau de concordância entre valores medidos que são atribuídos ao mensurando.

### 3.7 – Precisão de Medição

**Grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas.**

A precisão de medição é geralmente expressa numericamente por indicadores de incerteza, como dispersão, desvio-padrão, variância ou coeficiente de variação, sob condições de medição especificadas.

As condições especificadas podem ser, por exemplo, condições de repetitividade, condições de precisão intermediária ou condições de reprodutibilidade.

A precisão de medição é utilizada para definir a repetitividade de medição, a precisão intermediária de medição e a reprodutibilidade de medição.

### 3.8 – Repetitividade

Precisão de medição sob um conjunto de condições de repetitividade.

A condição de repetitividade é uma condição de medição num conjunto de condições, as quais compreendem o mesmo procedimento de medição, os mesmos operadores, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante um curto período de tempo.

Uma condição de medição é uma condição de repetitividade apenas com respeito a um conjunto especificado de condições de repetitividade.

### 3.9 – Reprodutibilidade

A reprodutibilidade representa a aptidão de um instrumento de medição em fornecer indicações muito próximas, em repetidas aplicações do mesmo mensurando, sob condições diferentes de medição. Por definição, reprodutibilidade é a:

Precisão de medição conforme um conjunto de condições de reprodutibilidade.

A condição de reprodutibilidade é a condição de medição num conjunto de condições, as quais compreendem diferentes locais, diferentes operadores, diferentes sistemas de medição e medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares.

Os diferentes sistemas de medição podem utilizar procedimentos de medição diferentes.

Na medida do possível, é conveniente que sejam especificadas as condições que mudaram e aquelas que não.

### 3.10 – Classe de Exatidão

Em geral, instrumentos de medição são classificados de acordo com sua classe de exatidão, a qual pode ser definida como:

**Classe de instrumentos de medição ou de sistemas de medição que atendem a requisitos metrológicos estabelecidos para manter os erros de medição ou as incertezas de medição instrumentais dentro de limites especificados, sob condições de funcionamento especificadas.**

Uma classe de exatidão é usualmente caracterizada por um número ou por um símbolo adotado por convenção. O conceito de classe de exatidão é comumente aplicado a medidas materializadas, mas em metrologia legal muitos instrumentos de medição indicadores também são classificados por classes de exatidão. Exemplos: balanças e hidrômetros.

Cada classe de exatidão de um instrumento de medição estabelece os erros máximos admissíveis que o instrumento pode apresentar para ser considerado pertencente àquela classe. Ou seja, o erro máximo admissível é o valor extremo do erro de medição, com respeito a um valor de referência conhecido, aceito por especificações ou regulamentos para uma dada medição, instrumento de medição ou sistema de medição. Usualmente, os termos “erros máximos admissíveis”, “erros máximos permissíveis”, “erros máximos tolerados” ou “limites de erro” são utilizados quando há dois valores extremos.

O termo “tolerância” não deve ser utilizado para designar erro máximo admissível.

## Resumo

- ✓ A busca pela melhor forma de realizar uma determinada medida é uma necessidade que acompanha o homem desde a Antiguidade, e com a evolução da metrologia, está sendo possível obter medidas cada vez mais exatas que podem trazer resultados mais adequados para as atividades humanas.
- ✓ Instrumentos de medição são dispositivos utilizados para realizar as medições e podem ser utilizados isoladamente ou em arranjos, através de métodos de medição diretos ou indiretos.
- ✓ Um instrumento de medição pode ser um instrumento de medição indicador ou uma medida materializada.
- ✓ Um instrumento de medição indicador com mostrador analógico fornece a indicação de uma grandeza medida através do deslocamento de um ponteiro sobre uma escala graduada.
- ✓ Um instrumento de medição indicador com mostrador digital indica diretamente o valor da grandeza a medir através de algarismos ou dígitos em um visor.
- ✓ Todo instrumento de medição indicador é composto por três partes: sensor, dispositivo de elaboração da medida e dispositivo de apresentação da medida.
- ✓ Existem diversas propriedades utilizadas para classificar os instrumentos de medição, como intervalo de indicações, intervalo de medição, exatidão, precisão, repetitividade, reprodutibilidade, sensibilidade e resolução.

## Referências

Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). 1ª edição luso-brasileira. Portaria Inmetro nº 232, de 8 de maio de 2012.

Cameron, D. N. *Measurement and calibration handbook*. AETC Form 214. Kessler Air Force Base. Mississippi, USA, 1993.

Souza, P. K., Sobrinho, M. D. Apostila de instrumentos de medida e sistemas de instrumentação. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (UFRGS) e Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (Unesp). 2005, 190 p.