

Referências Bibliográficas

- [1] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Guia para a Expressão da Incerteza de Medição** – terceira edição brasileira - Rio de Janeiro: ABNT, INETRO 2003. 120 p.
- [2] MONTEIRO, Elisabeth Costa; LESSA Marcelo Lúcio. A Metrologia na Área de Saúde: Garantia da Segurança e da Qualidade dos Equipamentos Eletromédicos. **ENGEVISTA**, v. 7, n. 2, p. 51-60, dezembro 2005. Artigo.
- [3] COSTA MONTEIRO, Elisabeth. Confiabilidade nas Biomedicações e suas repercussões éticas. **Revista Metrologia e Instrumentação**. Pag. 6 a 11, ago/Nov 2007.
- [4] ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL. **OIML R 16-1:2002 - Non-invasive mechanical sphygmomanometers**. Disponível em <<http://www.oiml.org/publications/R/R016-1-e02.pdf>>. Acesso em 20/01/2007.
- [5] ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL. **OIML R 7:1979 - Clinical thermometers (mercury-in-glass, with maximum device)**. Disponível em: <<http://www.oiml.org/publications/R/R007-e79.pdf>>. Acesso em 20/01/2007.
- [6] MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC.; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria 127 de 05 de setembro de 2001**.
- [7] MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria 153 de 12 de agosto de 2005**.

[8] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Em 8/05/97, o Inmetro concluiu a análise em esfigmomanômetros através da verificação do estado de calibração dos mesmos. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/esfigmo.asp>>. Acesso em 13/01/2007.

[9] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **NIE-DIMEL-006 (Rev01 – 2005)** - Procedimentos de Verificação e Inspeção de Esfigmomanômetros Mecânicos.

[10] CAMERON, John R.; SKOFRONICK, Jame G.; GRANT, Roderick M. **Physics of The Body**. Second Edition, 1999 – Medical Physics Publishing. ISBN 0-944838-90-1.

[11] HENEINE, Ibrahim Felipe. **Biofísica Básica**. editora atheneu, sp, 2006.

[12] ALBINALI, Hajar. **History of Medicine 4,500-Year Voyage: From Pulse Tension to Hypertension H.A.** Volume 6 No.3, September-November 2005. Disponível em: <<http://www.hmc.org.qa/heartviews/VOL6NO3>>. Acesso em 20/03/2007.

[13] INTROCASO, Luiz. **História da Medida da Pressão Arterial**. Arquivo Brasileiro Cardiol. volume 67, (nº 5), 1996.

[14] Figura modificada de: <http://www.medphys.ucl.ac.uk/teaching/undergrad/projects/2003/group_03/how.html>. Acesso em 23/03/2007.

[15] **III CBHA – Consenso Brasileiro de Hipertensão Arterial**. Campos do Jordão, São Paulo, de 12 a 15 de Fevereiro de 1998. Disponível em: <<http://departamentos.cardiol.br/dha/consenso3/consenso3.asp>>. Acessado em 12/01/2007.

[16] ROUSE, A.; MARSHALL, T. The extent and implications of sphygmomanometer calibration error in primary care. Department of Public Health and Epi-

demology, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham B152TT, UK. **Journal of Human Hypertension** (2001) 15, 587–591. Artigo.

[17] **Seventh Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure – VII JNC.** Disponível em: <<http://www.nhlbi.nih.gov/guidelines/hypertension/jnc7full.pdf>>. Acesso em 13/01/2007.

[18] **Sphygmomanometers: Internal Analysis of Different Technologies By Welch Allyn, Inc.** E.W. Wright January 11, 2000. Disponível em <<http://www.welchallyn.com>>. Acesso em 14/03/2007.

[19] TURNER, M.J.; KAM, P.C.; BAKER, A.B. **Metrology in Medicine.** Department of Anaesthetics, University of Sydney; Department of Anaesthetics, Emergency Medicine & Intensive Care, University of New South Wales.

[20] BASAK, Okay, KARABEYSEK, Sebnem. Accuracy of Sphygmomanometers. **Journal of Medical Sciences**, 29 (1999) 487-491- © TÜBITAK. Artigo.

[21] Tabela modificada de: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resultado_pesquisa.asp?seq_classe=1&ind_publico=&sel_tipo_ato_legal=--&nom_orgao=&sel_tipo_instrumento_medida=&sel_orgao_regulamentador=&descr_marca=&descr_modelo=&sel_categoria=--&num_ato=&anoassinatura=&palavra_chave=esfigmoman%F4 metros & btnPesquisar = Pesquisar>. Acesso em 27/08/2008.

[22] Tabela modificada de: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resultado_pesquisa.asp?seq_classe=1&ind_publico=&sel_tipo_ato_legal=--&nom_orgao=&sel_tipo_instrumento_medida=&sel_orgao_regulamentador=&descr_marca=&descr_modelo=&sel_categoria=--&num_ato=&anoassinatura=&palavra_chave=termometros & btnPesquisar = Pesquisar>. Acesso em 27/08/2008.

[23] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Sistema Internacional de Unidades - SI.** 8. ed. Rio de Janeiro, 2003. 116 p. ISBN 85-87-87090-85-2.

[24] FLUKE CORPORATION. **Fluke 718 Series Pressure Calibrator**. PN 1549632, March 2000, Rev. 3, 3/06 (Portuguese) © 2000-2006 Fluke Corporation, Printed in USA. Manual do fabricante.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14105 - Manômetros com sensor de elemento elástico - Recomendações de fabricação e uso**. Rio de Janeiro, 1998.

[26] MENDES, Alexandre; ROSÁRIO, Pedro Paulo. **Metrologia e Incerteza de Medição**. São Paulo: Editora EPSE, 2005.

[27] SOMMER K. D., KOCHSIEK M. **Role of measurement uncertainty in deciding conformance in legal metrology**. OIML bulletin, volume XLIII - number 2 -2002.

[28] SILVA JUNIOR, S.H.; COSTA MONTEIRO, E. Incerteza de Medição do Manômetro Usado em Esfigmomanômetros. **IV Latin American Congress on Biomedical Engineering**. P. 890-894. 2007.

[29] SILVA JUNIOR, S.H.; COSTA MONTEIRO, E. Incerteza de Medição na avaliação da conformidade de esfigmomanômetros mecânicos. **Aceito para publicação nos anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica**. Novembro, 2008. P. 1-4.

[30] EUROPEAN CO-OPERATION IN LEGAL METROLOGY. **Elements for deciding the appropriate level of confidence in regulated measurements (Accuracy classes, MPE in service, nonconformity, principles of uncertainty)**. WELMEC 4.2, ISSUE 1. WELMEC Secretariat Federal Office of Metrology and surveying (BEV), Arltgasse 35A - 1160 Vienna, Austria.

[31] DAIMLERCHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. **Measurement Systems Analysis - Reference Manual**. Third Edition, March 2002. USA. Pág. 88.

[32] ARAGÃO, Pedro Wanderley de; PRAZERES, João de Oliveira; FARIAS A., Vânia Maria de; MARTINS, Carlos Alberto de Souza. **Pressão Arterial do Anes-**

tesiólogista durante o Ato Anestésico-Cirúrgico no Período Matutino. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, Vol. 52, Nº 5, Setembro - Outubro, 2002.

[33] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2003. 75p. ISBN 85-87090-90-9.

[34] Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/vim/vimgum.asp>>. Acesso em 15/02/2008.

[35] Disponível em <<http://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/>>. Acesso em 15/02/2008.

[36] **Estatística**. <<http://www.ence.ibge.gov.br/estatistica/default.asp>>. Acesso em 13/12/2007.

[37] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3534-1:1993 – Statistics and Symbols - part 1: probability and general statistical terms**. Genebra, Suíça.

APÊNDICE 1

Fundamentos da Metrologia

Metrologia é a ciência das medições [33]. A palavra metrologia é formada pelos termos METRO que significa medir e LOGIA que significa estudo.

O homem precisa medir para conhecer o seu ambiente e se orientar com ele. O homem primitivo, na busca da caça, já realizava medição de forma instintiva das grandezas como tempo, distância e força. A palavra medir transmite uma idéia de comparação. Esta comparação é realizada entre grandezas de mesma espécie. Medição é comparar uma dada grandeza com outra de mesma espécie, sendo usualmente expressa por uma unidade multiplicada por um número.

A primeira edição do Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) foi elaborada pelo Grupo de Trabalho Internacional, o ISO/TAG 4, coordenado pela International Standards Organization (ISO) [32]. A primeira edição do VIM foi organizada por uma comissão que incluía representantes das seguintes organizações: BIPM, IEC, ISO e OIML e foi publicada pela ISO, em francês e Inglês, em 1984. A primeira edição foi traduzida para o português e, por força da Portaria Inmetro nº 102, de 10 de junho de 1988, passou a ser adotada oficialmente no Brasil. Atualmente a responsabilidade é do Comitê Conjunto para Guias em Metrologia (JCGM), especificamente do Grupo de trabalho 2 (WG-2) formado por especialistas indicados pelas seguintes organizações [35]:

- Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM);
- Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC);
- Federação Internacional de Química Clínica (IFCC);
- Organização Internacional de Normalização (ISO);
- União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC);
- União Internacional de Física Pura e Aplicada (IUPAP);
- Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML);

- Cooperação Internacional na Acreditação de Laboratórios (ILAC).

A segunda edição foi traduzida para o português (Brasil) e, por força da Portaria Inmetro nº 029, de 10 de março de 1995, passou a ser adotada oficialmente no Brasil. Esta tradução, em sua terceira edição, publicada pelo Inmetro em 2003, pode ser adquirida na versão impressa ou obtida na versão digital através do site do Inmetro [34].

No item 2.1 do VIM, medição é definida como um conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza [33]. Na medição devem ser considerados: o princípio de medição, o método e o procedimento de medição. O princípio de medição faz referência a sua base científica, que pode ser o efeito ou fenômeno relacionado à determinação do valor de uma grandeza. O método e o procedimento de medição atribuem confiabilidade e reprodutibilidade à medição; determina como será realizada a medição de forma genérica, como exemplo: medição por comparação entre grandezas. O procedimento é o passo a passo para se realizar uma medição específica, considerando a sequência de operação dos instrumentos e equipamentos envolvidos e características ambientais como: temperatura, umidade e pressão atmosférica.

No item 1.1 do VIM, para atribuir uma dimensão ao resultado de uma medição, a metrologia utiliza uma grandeza mensurável que pode ser definida como 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, a exemplo do comprimento, tempo, massa, temperatura, resistência elétrica, concentração de quantidade de matéria ou a uma grandeza específica, comprimento de uma barra ou resistência elétrica de um fio. Grandezas que podem ser classificadas, uma em relação outra, em ordem crescente ou decrescente, são denominadas grandezas de mesma natureza: trabalho mecânico, calor e energia [33].

O item 1.18 do VIM define que valor de uma grandeza é composta por um número multiplicado por uma unidade de medida, como exemplo: Comprimento de uma barra: 2 m ou 200 cm; Massa de um corpo: 152 kg ou 1520 g; Quantidade

de matéria de uma amostra de água (H_2O): 0,012 mol ou 12 mmol (milimol). Pode ser atribuído à grandeza um valor verdadeiro ou um valor verdadeiro convencional [33].

No item 1.9 do VIM, um valor verdadeiro de uma grandeza é definido como o valor consistente com a definição de uma dada grandeza específica podendo existir mais de um valor para a definição de uma dada grandeza [31]. O valor verdadeiro convencional (vvc), definido no item 1.20 do VIM, é um valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, às vezes por convenção, como tendo uma incerteza apropriada para uma dada finalidade. O valor verdadeiro convencional é às vezes denominado valor designado, melhor estimativa do valor, valor convencional ou valor de referência e freqüentemente um grande número de resultados de medições de uma grandeza é utilizado para estabelecer um valor verdadeiro convencional [33].

O item 2.6 do VIM define que uma grandeza específica quando submetida à medição é chamada de mensurando. O mensurando também pode ser chamado de objeto da medição [33]. Como exemplo de mensurando pode-se citar a medição da resistência interna de uma bateria de 12 V a 25 °C. Neste exemplo a grandeza resistência é o objeto da medição.

Toda medição está sujeita a variações que podem ser de causas comuns (conhecidas e controladas) ou causas especiais (conhecidas e não controladas). Estas variações podem ser grandezas que não são o mensurando afetando o resultado do objeto da medição, um exemplo é o erro causado pela temperatura ambiente na medição de comprimento por uma trena metálica. O item 2.7 do VIM define estas grandezas como grandezas de influência [33].

O item 3.1 do VIM define que o resultado de medição é o valor atribuído ao mensurando através de um processo de medição. Uma expressão completa do resultado de uma medição inclui informações sobre a incerteza de medição. No item 3.3 do VIM recomenda-se para o resultado de medição: indicar claramente se é a indicação de um instrumento; se é o resultado não corrigido (resultado de uma medição, antes da correção, devida aos erros sistemáticos) ou o resultado corrigi-

do (resultado de uma medição, após a correção, devida aos erros sistemáticos conforme item 3.4 do VIM); se corresponde ao valor médio de várias medições [33].

A indicação de um instrumento, definida no item 3.2 do VIM, é o valor de uma grandeza fornecido por um instrumento de medição. A indicação é denominada direta, quando o valor lido é multiplicado pela constante do instrumento para fornecer a indicação [33].

Metrologia e Estatística

A estatística, que pode ser entendida como um conjunto de técnicas e métodos de pesquisa que entre outros tópicos, envolve o planejamento do experimento (no caso da metrologia, a medição a ser realizada), a coleta qualificada dos dados, a inferência, o processamento, a análise e o registro das informações. O desenvolvimento, o aperfeiçoamento de técnicas estatísticas de obtenção e a análise de informações permitem o controle e o estudo adequado de fenômenos, fatos, eventos e ocorrências em diversas áreas do conhecimento. A Estatística tem por objetivo fornecer métodos e técnicas para administrar racionalmente situações sujeitas a incertezas.

A Estatística remonta à antiguidade, quando operações de contagem populacional já eram utilizadas para obtenção de informações sobre os habitantes, riquezas e poderio militar dos povos. Após a idade média, os governantes na Europa Ocidental, preocupados com a difusão de doenças endêmicas, que poderiam devastar populações e, também, acreditando que o tamanho da população poderia afetar o poderio militar e político de uma nação, começaram a obter e armazenar informações sobre batizados, casamentos e funerais. Entre os séculos XVI e XVII, as nações com aspirações mercantilistas, começaram a buscar o poder econômico como forma de poder político. Os governantes, por sua vez, sentiram a necessidade de coletar informações estatísticas referentes a variáveis econômicas tais como: comércio exterior, produção de bens e de alimentos.

Atualmente os dados estatísticos são obtidos, classificados e armazenados em meio magnético e disponibilizados em diversos sistemas de informação acessíveis a pesquisadores, cidadãos e organizações da sociedade que, por sua vez, podem utilizá-los para o desenvolvimento de suas atividades. A expansão no pro-

cesso de obtenção, armazenamento e disseminação de informações estatísticas têm sido acompanhadas pelo rápido desenvolvimento de novas técnicas e metodologias de análise de dados estatísticos [36].

A estatística como ferramenta de suporte está presente de várias formas na metrologia, no planejamento da medição, na sua realização, na obtenção de dados e na análise crítica destes dados.

Termos como exatidão, precisão, erro sistemático, repetitividade, reprodutibilidade são definidos e determinados através de técnicas estatísticas (e.g.: desvio padrão, variância e média). São usados também para quantificar a dispersão e tendência em um conjunto de valores de medição [1].

A exatidão é definida no item 3.5 do VIM, como o grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando. A exatidão é considerada um conceito qualitativo [33].

O termo precisão possui caráter quantitativo e é definido como o grau de concordância entre resultados obtidos de medições consecutivas sob condições específicas. A precisão é expressa usualmente como desvio-padrão, variância, repetitividade e ou reprodutibilidade [1]. Na metrologia, conforme recomendado no item 3.5 do VIM, não se deve usar a precisão para expressar a exatidão [33].

No item 3.6 do VIM, o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição é definido como repetitividade. Mesmas condições de medição são denominadas condições de repetitividade que podem incluir: mesmo método de medição; mesmo analista ou observador; mesmas condições ambientais como temperatura, pressão e umidade; mesmo local; curto espaço de tempo entre medições. A repetitividade indica quantitativamente características de dispersão entre resultados [33].

O termo reprodutibilidade é definido no item 3.7 do VIM, como o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição. As condições de reprodutibilidade só serão válidas se as condições alteradas forem especificadas. Estas condições incluem: método de medição; analista ou observador; condições ambientais; local;

tempo entre medições. Da mesma forma que a repetitividade e a reprodutibilidade podem ser expressas, quantitativamente, em função das características da dispersão dos resultados [33].

A metrologia considera a distribuição normal ou distribuição de Laplace Gauss, como uma distribuição de probabilidade de uma variável aleatória contínua X , cuja função de densidade de probabilidade é:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2\right] \quad (15)$$

Nesta expressão, $-\infty < x < +\infty$, μ é a esperança e σ o desvio da distribuição normal conforme o item 1.37 da ISO 3534-1 e o item 4.4.2 do ISO GUM [14, 1]. Esta distribuição é considerada, por representar a forma como o resultado de medição pode variar considerando também o instrumento de medição [37].

Incerteza e erro

Dentre os parâmetros usados na metrologia, destacam-se o erro e a incerteza. A incerteza é composta de muitos componentes. Alguns destes componentes podem ser estimados com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios padrão experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidades assumidas, baseadas na experiência ou em outras informações. A incerteza de medição é um parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando, a um instrumento de medição e outros [33].

A incerteza de medição pode ser expressa, por exemplo, por meio do desvio padrão (ou um múltiplo dele), ou a metade de um intervalo correspondente a um nível de confiança definido conforme definição do item 3.9 do VIM [33].

O erro pode ser classificado em: erro de medição, erro relativo, erro aleatório e erro sistemático. O erro, de uma forma genérica, é calculado pela subtração entre o resultado da medição e o valor verdadeiro do mensurando. Quando o valor

verdadeiro não é conhecido, utiliza-se em seu lugar um valor verdadeiro convencional (*vvc*) [33].

O erro de medição é chamado de erro absoluto da medição, conforme definição do item 3.10 do VIM e é calculado subtraindo o valor da medição do *vvc*. O erro de medição não deve ser confundido com o valor absoluto do erro que é a representação do erro de medição sem sinal ou módulo. Quando o erro de medição é dividido por um valor verdadeiro do objeto de medição é denominado erro relativo conforme definido no item 3.12 do VIM [33].

No item 3.13 do VIM, os erros aleatórios e sistemáticos são calculados sob condições de repetitividade e representam um modelo de dispersão dos resultados de medição. O erro aleatório é definido como o resultado de uma medição subtraída da média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando ou pela diferença entre o erro de medição e o erro sistemático. Na prática somente um número finito de medições pode ser realizado, possibilitando apenas determinar a estimativa do erro aleatório [33].

O erro sistemático definido no item 3.14 do VIM é média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando. Também pode ser calculado subtraindo o erro do erro aleatório. No caso do erro sistemático, suas causas não podem ser totalmente conhecidas [33].

Os erros de medição podem ser compensados pela aplicação da correção ou de um fator de correção. Conforme o item 3.15 do VIM, a correção consiste em adicionar ao valor da medição o erro sistemático com o sinal trocado. O fator de correção é um fator numérico pelo qual o resultado não corrigido de uma medição é multiplicado para compensar um erro sistemático.

Nos dois casos a compensação não é completa em função de o erro sistemático não ser perfeitamente conhecido com relação às suas causas [33].

Cálculo da incerteza de medição

O cálculo da incerteza de medição no presente trabalho foi baseado no ISO GUM. Este documento teve origem no ano de 1977 por uma solicitação do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), a mais elevada autoridade mundial em metrologia, para que o BIPM empreendesse um estudo e fizesse propostas para resolver a falta de consenso relativa à expressão da incerteza nas medições. O ISO GUM foi publicado em 1993 e reimpresso, em versão corrigida, em 1995, com o apoio e em nome de sete organizações científicas: BIPM; IEC; IFCC; ISO; IUPAC; IUPAP; OIML [11].

Atualmente, o guia está sob a responsabilidade do JCGM, Grupo de Trabalho 1 (WG-1). Este grupo de trabalho é formado por representantes do [35]:

- Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM);
- Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC);
- Federação Internacional de Química Clínica (IFCC);
- Organização Internacional de Normalização (ISO);
- União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC);
- União Internacional de Física Pura e Aplicada (IUPAP);
- Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML).
- Cooperação Internacional na Acreditação de Laboratórios (ILAC).

Um processo de medição pode ser modelado por uma relação matemática entre as grandezas de saída (resultado), em função das grandezas de influência (fontes de incerteza), também chamadas de grandezas de entrada, sendo as grandezas de entrada que impactam na determinação das grandezas de saída. É costume representar as grandezas de entrada por $X_1, X_2, X_j, \dots, X_k, \dots, X_n$, o índice k varia de 1 a n , e n denota o número de grandezas. A equação matemática é definida por: $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_k, \dots, X_n)$, Y é a grandeza de saída; f é a função de ligação e X a grandeza de entrada [1].

O valor verdadeiro de uma grandeza não é conhecido, sendo usada uma estimativa deste valor. A medição direta pode ser usada para se estimar o valor de uma grandeza, pela média aritmética das medidas resultantes das n medições; in-

formação de catálogos de fabricantes de instrumentos de medição e resultados de experiências anteriores com a grandeza a ser medida.

Em uma medição é obtido um conjunto de resultados de medição composto por n valores, $X_1, X_2, \dots, X_n$. A estimativa para o valor mais provável para este conjunto, geralmente, é a média aritmética da amostra dos n valores individuais, que é definida pela expressão [1]:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \quad (16)$$

$\bar{X}$ = média aritmética dos resultados
 x_k = valores individuais do conjunto de valores
 n = tamanho do conjunto de valores

A repetitividade de um processo de medição depende dos equipamentos usados, do método de medição utilizado e do operador que realiza a medição.

A ferramenta estatística mais usada para quantificar a repetitividade é o desvio padrão S , expresso por [1]:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (17)$$

S = desvio padrão
 n = número de valores individuais
 $\bar{x}$ = média aritmética das repetições
 x_k = valores individuais do conjunto

Na prática, o processo de medição pode possuir algumas limitações na resposta para grandes desvios do valor da média. Para resultados de pequenas medições, uma estimativa pode ser feita pelo desvio padrão obtendo, assim, o desvio padrão experimental expresso por [1]:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (18)$$

A estimativa do desvio padrão do valor da média não corrigida do mensurando é dado por [1]:

$$S(\bar{x}) = \frac{S(x_k)}{\sqrt{n}} \quad (19)$$

A equação anterior é chamada de desvio padrão experimental da média ou incerteza *tipo A*. A incerteza padrão está associada com a incerteza dos valores medidos, logo [1]:

$$u(\bar{x}) = S(\bar{x}) \quad (20)$$

A incerteza padrão do *tipo B*, $u(x_i)$, é determinada através de informações científicas baseadas em todas as informações possíveis da variabilidade do mensurando. A variabilidade do mensurando pode ser derivada de: resultados de medições prévias, experiência parcial ou total do comportamento e propriedades relevantes dos materiais e instrumentos, especificações de fabricantes, dados fornecidos em calibrações, certificados de calibração, incertezas fornecidas nos manuais de fabricantes e etc.

Quando é considerado o limite superior (a_+) e o limite inferior (a_-) para os efeitos sistemáticos no mensurando e na ausência de qualquer outra informação, deve-se assumir uma distribuição de probabilidade retangular, isto é [1]:

$$x_i = \frac{1}{2}(a_+ - a_-) \quad (21)$$

E o quadrado da incerteza padrão é [1]:

$$u(x_i)^2 = s(x_i) = \frac{1}{12}(a_+ - a_-)^2 \quad (22)$$

Se a diferença for igual a $2a$, a eq. (22) torna-se [1]:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (23)$$

Entretanto, se os limites especificados forem atribuídos com um nível de confiança correspondente a 3 desvios padrão da distribuição de probabilidade da produção do fabricante, então a contribuição da incerteza do instrumento deve ser de [1]:

$$u(x_i) = \frac{a}{3} \quad (24)$$

Uma vez calculadas as incertezas padrão do *Tipo A* e do *Tipo B*, a incerteza padrão combinada, $u_c(y)$, é obtida da seguinte forma [1]:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i)} \quad (25)$$

Esta transformação leva em consideração o coeficiente de sensibilidade (c). O conhecimento do coeficiente de sensibilidade permite entender o quanto uma variável pode influenciar no resultado final de uma medição indireta.

O coeficiente de sensibilidade também pode ser usado na determinação da correspondência entre duas grandezas quando a mediação é feita de forma indireta isto é, a grandeza de entrada é diferente da grandeza de saída. São exemplos comuns, os transdutores de pressão, temperatura e termopares e outros. O cálculo é feito em função das derivadas parciais das grandezas de influência, como expresso a seguir:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial a} \right)^2 u_a^2} \quad (26)$$

O coeficiente de sensibilidade é a derivada parcial em relação à grandeza de influência a da função que se pretende calcular a incerteza.

Quando as grandezas são estatisticamente independentes, a equação deve ser usada para qualquer que seja a relação matemática (f) entre estas.

A eq. (24) também pode ser expressa por [1]:

$$u_c = U_A^2 + U_B^2 \quad (27)$$

Nas aplicações comerciais, industriais e regulamentadoras (quando a segurança e a saúde do cidadão estão em foco) é necessário determinar um valor de incerteza que defina um intervalo que englobe uma grande porção da atribuição de valores que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando. Esta incerteza é conhecida como incerteza expandida e deve fornecer um nível de confiança igual ou maior a 95%, dada por [1]:

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (28)$$

U = Incerteza expandida

k = Fator de abrangência obtido da distribuição t-student para $n-1$ graus de liberdade efetivos (v_{eff})

Para cada incerteza são calculados seus graus de liberdade em função do número de valores individuais, dado por [1]:

$$v_i = n - 1 \quad (29)$$

v_i = grau de liberdade efetivo de cada incerteza

n = nº de valores individuais

Os graus de liberdade efetivos são calculados com a equação de Welch-Satterhwaite [1]:

$$v_{eff} = \frac{U^4 c(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{U^4 i(y)}{v_i}} \quad (30)$$

v_i = grau de liberdade efetivo de cada incerteza

N = nº de incertezas combinadas

c = coeficiente de sensibilidade da incerteza

Logo, um resultado de medição pode ser expresso por:

$$y \pm U \quad (31)$$

Instrumentos de medição

Os instrumentos de medição são dispositivos utilizados para a medição de uma grandeza e podem ser usados individualmente ou em conjunto com outros dispositivos de medição (itens 4.1 e 4.5 do VIM). Quando o instrumento é usado em conjunto com outros dispositivos complementares, é considerado um sistema de medição. O sistema de medição também pode incluir procedimentos, software e pessoas envolvidas com a medição.

Um instrumento de medição pode apresentar desempenho incompatível com o seu uso devido a desgastes, uso incorreto e influências do meio ambiente (itens 4.30 e 4.31 do VIM). Neste caso o instrumento pode receber um ajuste ou regulagem. O ajuste consiste em realizar no instrumento uma operação que corrija seu desempenho incompatível com o uso pretendido, deixando o instrumento apto para o uso pretendido. Com relação à regulagem, esta é uma característica de alguns instrumentos que permitem corrigir seu desempenho usando recursos do próprio instrumento de medição através do usuário, não necessitando de operações extras como assistência técnica ou reparos.

Quando um instrumento é utilizado para medir o valor de uma grandeza, algumas características devem ser consideradas para garantir confiabilidade e atendimento ao uso e desempenho pretendidos. Estas características são denominadas: faixa nominal, resolução, classe de exatidão, tendência e erro fiducial. Estas características são consideradas críticas na hora de se escolher um instrumento de medição. A faixa nominal (definida no item 5.1 do VIM) refere-se à faixa de indicação que se pode obter em função dos controles do instrumento de medição.

Uma faixa nominal é definida normalmente com limite superior e inferior (e.g: 100 mV a 200 mV). Quando o limite inferior for zero, a definição da faixa nominal é feita apenas por seu limite superior.

Aliada à faixa nominal, a resolução (item 5.12 do VIM) permite expressar com maior nível de detalhe o resultado da medição de uma grandeza. Definida pela menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida. Em instrumentos com dispositivos mostradores digitais a resolução é a variação na indicação quando o dígito menos significativo varia de uma unidade.

A classe de exatidão de um instrumento de medição (item 5.19 do VIM) permite atender a determinadas exigências para determinação do valor de uma grandeza. Faz referência a faixa de erro de um instrumento de medição que pode prejudicar ou não a estimativa do valor de uma grandeza. É em geral indicada por um número ou símbolo adotado por convenção e denominado índice de classe.

Os instrumentos de medição possuem seus erros máximos definidos através de manuais, normas, regulamentos e outros. O erro máximo admissível de um instrumento (item 5.21 do VIM) é o valor mais extremo do erro que um instrumento pode indicar. O erro máximo também pode ser definido em função da tendência do instrumento, que é o erro sistemático da indicação deste instrumento. De acordo com o item 5.25 do VIM, a tendência normalmente é estimada pela média dos erros de indicação do instrumento baseado em um número finito de repetições.

De acordo com o item 5.28 do VIM, os instrumentos de medição possuem um tipo de erro chamado de erro fiducial, que é calculado como o erro de um instrumento de medição dividido por um valor especificado para o instrumento. O valor especificado pode ser a faixa nominal do instrumento ou o limite superior da faixa nominal do instrumento, este valor especificado é conhecido como valor fiducial. Nos manômetros a classe de exatidão é determinada pelo erro fiducial conforme definido no item 1.1 da ABNT NBR 14105:1998 [25].

Calibração

A calibração é um 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. Alguns exemplos de padrões são: Massa padrão; Resistor padrão; Amperímetro padrão; Padrão de frequência. O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações como a determinação das correções a serem aplicadas. Uma calibração pode, também, determinar outras propriedades metrológicas como o efeito das grandezas de influência, neste caso a calibração determina a incerteza de medição.

O resultado de uma calibração deve ser registrado em um documento, algumas vezes denominado certificado de calibração ou relatório de calibração. Este registro permite obter rastreabilidade, que é a 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. Este conceito é geralmente expresso pelo adjetivo rastreável (item 6.10 do VIM).

11

ANEXOS

Anexo 1

Certificado de calibração do padrão parte 1/2.

	Indústria e Comércio Ltda.	
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO ABSI Nº 37023 / 05 FL 01/02		
LABORATÓRIO ABSI DE PRESSÃO		
REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO (RBC)		
Laboratório de Calibração Acreditado pela CGCRE / INMETRO sob o Nº 056		
CLIENTE: FACULDADES CATÓLICAS		
ENDEREÇO: R. Marquês de São Vicente, 225 – Rio de Janeiro – RJ		
SOLICITANTE: METRACAL SERVIÇOS EM EQUIP. ELETRONICOS E COMERCIAL LTDA		
ENDEREÇO: R. Fagundes Dias, 115 – Saúde – SP		
INSTRUMENTO: Manômetro		
FABRICANTE: FLUKE		
MODELO: 718 30G		
NÚMERO DE SÉRIE: 89962206		
NÚMERO DE IDENTIFICAÇÃO: não consta		
FAIXA DE INDICAÇÃO: 0 – 30 psi		
FAIXA CALIBRADA: 0 – 30 psi		
VALOR DE UMA DIVISÃO: 0,001 psi		
PEDIDO DE SERVIÇO: 36923 / 05		
PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO: 21-P-02(rev.4/1 Fev/05) //22-P-01(rev.4/0 ABRIL/04)		
DATA DA CALIBRAÇÃO: 11 / 11 / 05		
DATA DA SUBSTITUIÇÃO DO CERTIFICADO: 11 / 09 / 06		
PROCEDIMENTO:		
O instrumento foi calibrado em relação a um padrão de trabalho do laboratório ABSI de pressão, com incerteza de $\pm 0,02\%$, conforme certificado Nº.340/05 - ABSI, rastreado a um padrão de referência do laboratório, cuja incerteza é de $\pm 0,06\%$ de acordo com o certificado Nº.0118/01 - LAPRE.		
A calibração foi realizada com o instrumento na sua posição de utilização a uma temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $65\% \pm 10\%$ e gravidade local de $9,7864384\text{ m/s}^2$. O instrumento permaneceu sobre vácuo ou pressão máxima de aproximadamente 5 minutos para estabilidade do sistema de calibração.		
 ALESSANDRO DE SOUZA GERENTE TÉCNICO DO LABORATÓRIO Este certificado atende aos requisitos de credenciamento do INMETRO, o qual avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida. Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na Regulamentação Metrológica.		
Os resultados apresentados no presente documento tem significação restrita e se aplicam somente ao instrumento calibrado. A utilização dos mesmos para fins promocionais depende de prévia autorização da ABSI. A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.		
Rua General Lecor, 979 - CEP 04213-021 - Fone: (0XX11) 2273-1341 - Fone/Fax: (0XX11) 6914-2233 - Ipiranga - São Paulo - SP C.N.P.J. 45.542.123/0001-92 - Ins. Est. 109.242.940.115 - e-mail: absi@absi.com.br - Home Page: www.absi.com.br		

Certificado de calibração do padrão parte 2/2



Indústria e Comércio Ltda.



Continuação do certificado de calibração ABSi nº 37023 / 05

FL.02 / 02

Laboratório de Calibração Acreditado pela CGCRE / INMETRO sob o Nº 056

PRESSÃO DE REFERENCIA UNIDADES

PRESSÃO INDICADA psi

SI	INSTR.	PRIMEIRO CICLO		SEGUNDO CICLO	
MPa	psi	Carrego	Descarrego	Carrego	Descarrego
0,00	0	0,000	0,000	0,000	0,000
0,02	3	3,000	3,000	3,000	3,000
0,04	6	6,001	6,002	6,001	6,002
0,06	9	9,002	9,003	9,003	9,004
0,08	12	12,004	12,005	12,004	12,005
0,10	15	15,004	15,005	15,005	15,006
0,12	18	18,005	18,006	18,005	18,006
0,14	21	21,006	21,007	21,006	21,007
0,17	24	24,007	24,008	24,007	24,008
0,19	27	27,003	27,005	27,004	27,005
0,21	30	29,998	29,998	29,999	29,999

CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS APRESENTADAS PELO INSTRUMENTO EM RELAÇÃO A AMPLITUDE DA FAIXA DE INDICAÇÃO. (%)

INCERTEZA MEDIÇÃO: 0,02

ERRO FIDUCIAL (ÍNDICE DA CLASSE): + 0,03

REPETITIVIDADE: 0,003

HISTERESE: 0,01

OBSERVAÇÃO:

- 1) 1 MPa = $1,450377 \times 10^2$ psi. (MPa = megapascal, unidade de pressão SI)
- 2) A validade de calibração do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema da qualidade de acordo com a norma NBR ISO 10.012 parte 1.
- 3) A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95 %.
- 4) Este certificado cancela e substitui de N° 37023 / 05, emitido em 14 / 11 / 05.

ALESSANDRO DE SOUZA
GERENTE TÉCNICO DO LABORATÓRIO

Os resultados apresentados no presente documento tem significação restrita e se aplicam somente ao instrumento calibrado. A utilização dos mesmos para fins promocionais depende de prévia autorização da ABSi. A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Rua General Lecor, 979 - CEP 04213-021 - Fone: (0XX11) 2273-1341 - Fone/Fax: (0XX11) 6914-2233 - Ipiranga - São Paulo - SP
C.N.P.J. 45.542.123/0001-92 - Insc. Est. 109.242.940.115 - e-mail: absi@absi.com.br - Home Page: www.absi.com.br

Anexo 2

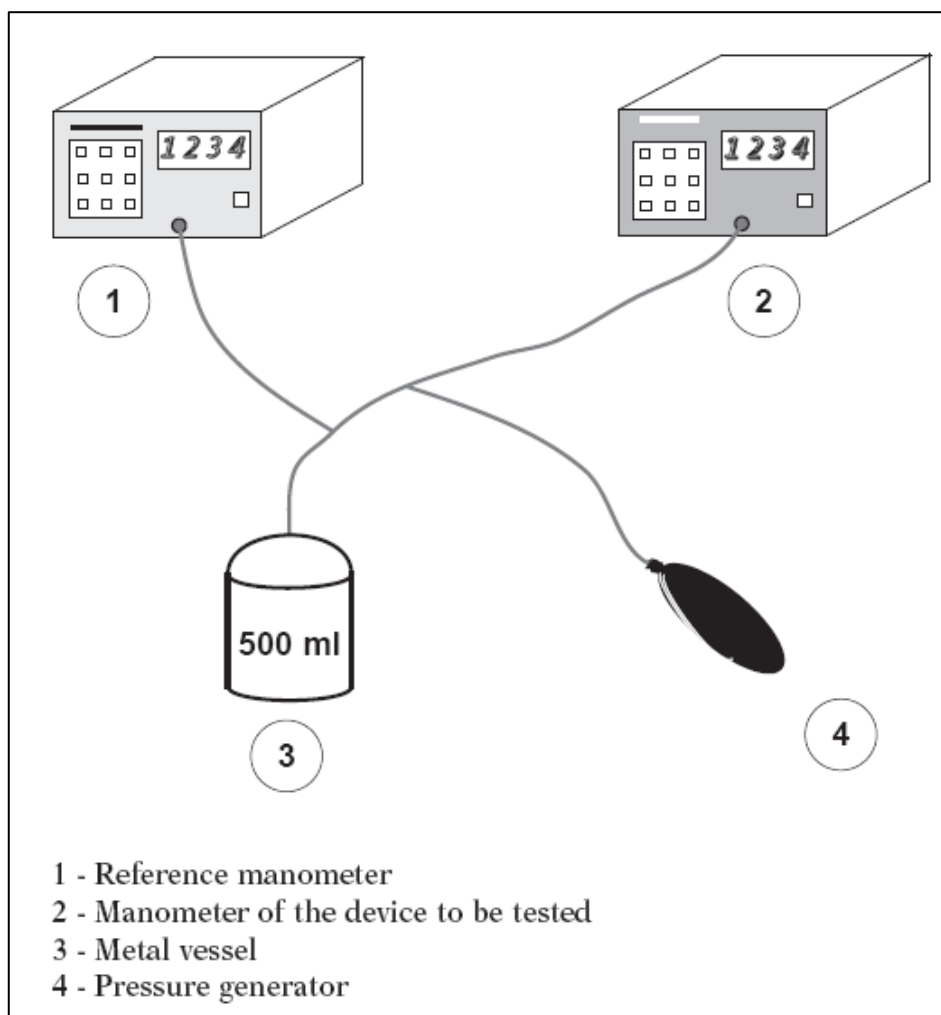
Tabela (distribuição t-student)

Tabela t-Student - Gerada pela função INVT do Excel

BILATERAL

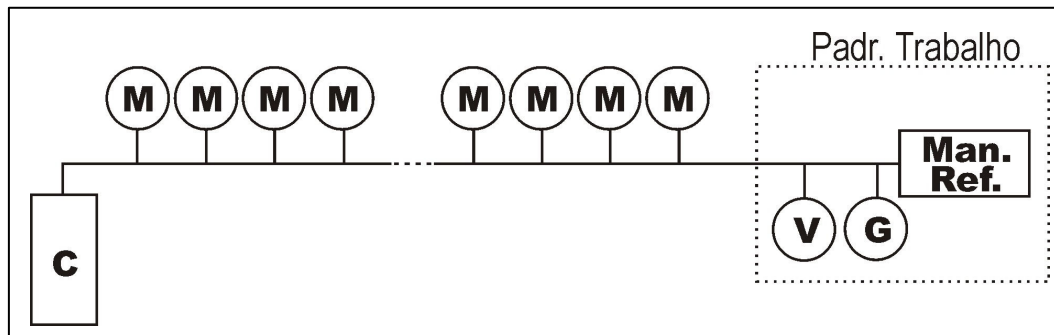
α > GL	0.80	0.50	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0,325	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,289	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,277	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,271	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,267	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,265	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,263	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,262	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,261	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,260	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,260	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,259	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,259	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,258	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,258	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,258	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,257	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,257	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,257	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,257	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,257	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,256	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,256	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,256	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,256	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,256	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,256	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,256	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,256	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,256	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,255	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,254	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,254	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
α	0,253	0,674	0,128	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291
α > GL	0.04	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005

UNILATERAL

Anexo 3**Montagem usada na calibração de esfigmomanômetros conforme
OIML R 16-1:2002**

Anexo 4

Montagem usada na calibração de esfigmomanômetros conforme NIE-DIME-006 (Rev01 – 2005)



Descrição:

M – manômetros (aneróides ou de líquido manométrico) a serem verificados;

C – recipiente cilíndrico de metal rígido;

G – gerador de pressão;

V – válvula de alívio de pressão;

Man. Ref. – manômetro de referência (padrão de pressão).