

5 Metodologia

No presente trabalho foram realizadas medições diretas, mesma grandeza (mensurando) e unidade. As medições foram realizadas usando um padrão de pressão (calibrador de pressão), calibrado e rastreável à Rede Brasileira de Calibração (RBC). A grandeza avaliada (pressão) pertence ao Sistema Internacional de Unidades (SI) e deriva de três grandezas de base: massa, tempo e comprimento. A unidade SI é o Pascal (Pa) que é representada no SI por $m^{-1}.kg.s^{-2}$, mas este trabalho considera também uma unidade não-SI, o milímetro de mercúrio (mmHg), por ser esta a unidade usada na área de aplicação do instrumento. O milímetro de mercúrio, apesar não ser uma unidade SI, pode ser convertida para o Pascal utilizando o fator de conversão de 0,13332 kPa para cada 1 mmHg [23]. O múltiplo *k* foi usado para facilitar o cálculo e a expressão do resultado. Exemplo de cálculo: *5 mmHg equivalem a 5 multiplicado por 0,13332 kPa, resultando em 0,67 kPa.*

Uma parte deste processo de medição foi realizada nas dependências do Laboratório de Metrologia do *Centro de Educação Federal e Tecnológica de Química de Nilópolis-RJ* (CEFET Química) utilizado pelo Curso Técnico de Metrologia e o Curso de Tecnólogo em Gestão da Produção e Metrologia (Figura 21).



Figura 1 – Laboratório de Metrologia do CEFET Química de Nilópolis – RJ

O laboratório metrologia utilizado, possui todas as condições necessárias para a realização das medições com relação à climatização, monitoração de umidade e pressão. Este laboratório também é uma estação gravimétrica, com a aceleração da gravidade no local determinada, calibrada e rastreável ao observatório nacional.

A outra parte do processo de medição foi realizada nas dependências de uma clínica médica, mantendo todas as condições necessárias para a realização das medições com relação à climatização e monitoração de umidade e pressão. Neste local foram utilizados os mesmos instrumentos usados nas dependências do CEFET Química: manômetro padrão de pressão, barômetro, termo-higrômetro e cronômetro.

Toda a metodologia descrita pode ser usada para os dois tipos de esfigmomanômetros mecânicos não-invasivos: aneróide e coluna de mercúrio, conforme OIML R 16-1:2002 e NIE-DIMEL-006.

5.1. Amostras usadas no trabalho

Para a realização deste trabalho foram utilizados 29 esfigmomanômetros. Os esfigmomanômetros numerados de 26 a 29 foram usados para determinar o valor de referência da incerteza de medição para o presente trabalho. O esfigmomanômetro identificado com o número 1 e os numerados de 3 a 25 são aneróides, o esfigmomanômetro identificado pelo número 2 é de coluna de mercúrio. Os esfigmomanômetros usados no presente trabalho possuem características de tempo de uso distintas conforme a Tabela 6. Os esfigmomanômetros de números 2, 4, 15 e 17 foram analisados mais de uma vez. O esfigmomanômetro número 2 (coluna de mercúrio) foi analisado antes e depois de uma queda acidental, recebendo as identificações 2A e 2B. Os de número 4, 15 e 17 (aneróides) foram analisados antes e depois do ajuste e receberam as identificações 4A, 4B, 4C, 15A, 15B, 17A e 17B. Mesmo sendo reavaliados e configurando a realização de uma nova medição, estes esfigmomanômetros foram considerados como amostras individualizadas.

Tabela 1 – Esfigmomanômetros avaliados neste trabalho.

Esfigno Nº	Local da medição	Marca	Modelo	Procedência	Tipo de uso	Status	Histórico	Data de aquisição
1	Cefet	A	Aneróide	Inglaterra	Hospitalar	Em uso	-	2000
2A	Cefet	A	Coluna de Mercúrio	Inglaterra	Caseiro	Em uso	-	1987
2B	Cefet	A	Coluna de Mercúrio	Inglaterra	Caseiro	Em uso	Após queda	1987
3	Cefet	B	Aneróide	Japão	Caseiro	Em uso	-	1998
4A	Cefet	C	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Em uso	-	abr/06
4B	Cefet	C	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Em uso	Após derretiment	abr/06
4C	Cefet	C	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Em uso	Após ajuste do zero	abr/06
5	Cefet	D	Aneróide	Brasil	Caseiro	Em uso	-	nov/99
6	Clínica	D	Aneróide	EUA	Hospitalar	Em uso	-	2005
7	Clínica	E	Aneróide	EUA	Hospitalar	Em uso	-	2005
8	Cefet	F	Aneróide	EUA	Caseiro	Em uso	-	1998
9	Cefet	G	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Sem uso	-	jul/06
10	Cefet	G	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Sem uso	-	jul/06
11	Cefet	G	Aneróide	Brasil	Caseiro	Em uso	-	jul/00
12	Cefet	G	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Em uso	-	abr/06
13	Cefet	H	Aneróide	Inglaterra	Hospitalar	Em uso	-	2000
14	Cefet	I	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Em uso	-	mai/06
15A	Cefet	I	Aneróide	Brasil	Caseiro	Em uso	-	mai/04
15B	Cefet	I	Aneróide	Brasil	Caseiro	Em uso	Após ajuste do zero	mai/04
16	Clínica	I	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Em uso	-	2007
17A	Cefet	J	Aneróide	Brasil	Caseiro	Sem uso	-	jun/07
17B	Cefet	J	Aneróide	Brasil	Caseiro	Sem uso	Após ajuste do zero	jun/07
18	Clínica	K	Aneróide	EUA	Hospitalar	Em uso	-	2005
19	Clínica	K	Aneróide	EUA	Hospitalar	Em uso	-	2005
20	Clínica	K	Aneróide	EUA	Hospitalar	Em uso	-	2006
21	Clínica	K	Aneróide	EUA	Hospitalar	Em uso	-	2003
22	Cefet	L	Aneróide	Brasil	Caseiro	Em uso	-	jul/00
23	Cefet	L	Aneróide	Brasil	Caseiro	Em uso	-	ago/00
24	Clínica	M	Aneróide	EUA	Hospitalar	Em uso	-	2006
25	Clínica	M	Aneróide	EUA	Hospitalar	Em uso	-	2006
26	Cefet	C	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Sem uso	-	mai/08
27	Cefet	C	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Sem uso	-	mai/08
28	Cefet	C	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Sem uso	-	mai/08
29	Cefet	C	Aneróide	Brasil	Hospitalar	Sem uso	-	mai/08

5.2. Padrão de pressão

O padrão de pressão usado consiste em um manômetro padrão (calibrador de pressão) da marca Fluke, modelo 718 30G (ilustrado na Figura 22) com resolução de 0,13 kPa (0,1 mmHg). O instrumento usado possui certificado de calibração (vide Anexo 1), garantindo a confiabilidade das características metrológicas usadas neste trabalho.



Figura 2 – Ilustração do Manômetro Fluke Modelo 718 30G.

O manômetro padrão (calibrador de pressão) utilizado possui uma incerteza de 0,02% ($\pm 0,31$ mmHg ou $\pm 0,04$ kPa) que atende à faixa de incerteza menor que 0,1 kPa (0,8 mmHg), definida na recomendação OIML R 16-1:2002 e NIE-DIMEL-006:2005 [3, 8]. Este calibrador apresenta leituras de pressão em 5 algarismos, nas seguintes unidades de medida: psi, inH₂O, inHg, kPa, cmH₂O, bar, mbar, kg/cm², inHg, e mmHg [24].

5.3. Instrumentos de apoio utilizados

Para atender aos relacionados às variáveis ambientais, foi realizado o monitoramento das condições ambientais relativas à pressão, temperatura e umidade durante a realização das medições. Também foi monitorado o tempo atendendo ao requisito da NIE-DIME-006:2005 (tempo de estabilização do manômetro) [9].

No monitoramento da pressão atmosférica foi utilizado um barômetro aneróide analógico com resolução de 100 Pa (1 mbar), ilustrado na Figura 23, e para temperatura e umidade foi utilizado um termo-higrômetro com resolução de 0,1 °C para temperatura e 1 % para umidade (ilustrado na Figura 24). A resolução adotada para o barômetro foi escolhida em função da disponibilidade e portabilidade do instrumento. O monitoramento do tempo foi realizado utilizando um cronômetro analógico de contagem crescente com resolução de 0,02 s e totalização mínima de 1 h (ilustrado na Figura 25) atendendo ao requisito da NIE-DIMEL-006:2005, item 8.g, que define uma resolução de 0,1 s e totalização mínima de 15 min [9]. Como a NIE-DIMEL-006:2005 recomenda 0,1 s para a resolução do cronômetro, a resolução usada no presente trabalho é 5 vezes menor que a recomendada reduzindo sua influência relativa ao erro, e à incerteza no resultado de medição [9].



Figura 3 – Ilustração do barômetro aneróide usado no presente trabalho.

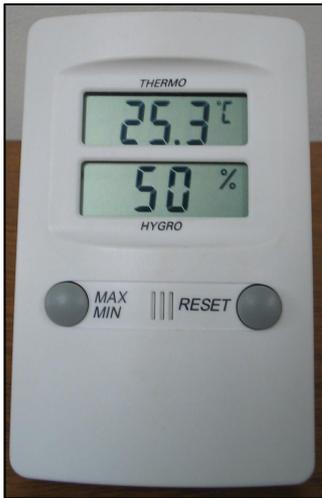


Figura 4 – Ilustração do Termo-higrômetro digital usado no presente trabalho.



Figura 5 – Ilustração do cronômetro usado no presente trabalho.

Todos os instrumentos de apoio utilizados, com exceção do cronômetro, são calibrados e suas incertezas atendem aos objetivos de monitoramento.

Para a medição do tempo não foi possível usar um cronômetro calibrado, mas, para compensar este fato, foi usado um cronômetro com resolução menor que a recomendada pela NIE-DIMEL-006:2005 para garantir a confiabilidade deste instrumento [9].

5.4. Procedimento de medição

Todo o processo de medição usado neste trabalho foi baseado nos documentos OIML R-16-1:2002, NIE-DIMEL-006:2005 e ABNT NBR-14105:1998 [4, 9, 25].

O procedimento realizado consiste na medição do valor da pressão indicada pelo padrão e do valor indicado pelo instrumento que está sendo avaliado. Para este trabalho foram realizados o ciclo carga e descarga para os pontos de indicação (4,0; 9,3; 12,0; 13,3; 20,0; 26,7; 33,3 e 40,0) kPa ou (30; 70; 90; 100; 150; 200; 250 e 300) mmHg definidos no documento fornecido pelo Inmetro (NIE-DIMEL-006 Rev01 – 2005 - Procedimentos de Verificação e Inspeção de Esfigmomanômetros Mecânicos). Este detalhamento dos pontos de indicação consta apenas no documento NIE-DIMEL-006 utilizado pelo Inmetro, não sendo contemplado nestes pontos na recomendação OIML R16-1:2002, que especifica 6,7 kPa (50 mmHg), 13,3 kPa (100 mmHg), 20,0 kPa (150 mmHg), 26,7 kPa (200 mmHg) e 33,3 kPa (250 mmHg) [9].

As medições foram realizadas a uma temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ - OIML R 16-1:2002 e $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ - ABNT NBR-14105:1998) e umidade relativa entre 20 % e 80 %, atendendo à recomendação da OIML R 16-1:2002 [4, 25]. Os itens de 1 a 6 indicados na Figura 26 ilustram com foi realizada a calibração. Os itens numerados referem-se a: 1- esfigmomanômetro em calibração, 2- suporte para fixar o esfigmomanômetro, 3- Padrão de pressão, 4- computador para registro das medições, 5- termo-higrômetro e 6- mangueira para conduzir a pressão ao esfigmomanômetro.



Figura 6 - Modelo de montagem para medição.

Para garantir a estabilidade térmica, todo o material ficou em climatização por uma hora antes do início das medições. O monitoramento da pressão atmosférica não consta como recomendação dos documentos: OIML R 16-1:2002, ABNT NBR-14105 e Inmetro NIE-DIMEL-006 Rev01 – 2005, mas foi monitorada por ser um parâmetro ambiental útil para investigação caso o resultado da medição não seja o esperado.

Foram realizados quatro ciclos de carga e descarga da pressão no manômetro padrão e no manômetro em calibração, gerando oito resultados por ponto de medição. O processo de carga e descarga consiste em carregar pressão até o primeiro ponto de medição, corrigir a pressão para um valor maior ou menor, conforme necessário, aguardar estabilidade por no máximo 1 min e registrar os valores informando que correspondem ao processo de carga. Este procedimento foi repetido para cada ponto de medição. Após atingir o ponto máximo de medição é realizada a descarga da pressão, registrando o valor da pressão em cada ponto que fora realizada a medição no processo de carga. Neste registro faz-se referência ao processo de descarga.

O manômetro de referência utilizado é capaz de gerar pressão e manter pressurizado o manômetro em calibração. Esta característica do manômetro padrão elimina a necessidade de um recipiente externo para manter a pressão constante, conforme requisito da recomendação OIML R 16-1:2002 em seu anexo A e NIE-DIMEL-006:2005 no item 11.4.1 (vide anexos 3 e 4).

5.5. Parâmetros obtidos por meio das medições

Os parâmetros obtidos por meio das medições do presente trabalho foram: erro de medição, histerese, erro fiducial, incerteza padronizada tipo A, incerteza padronizada tipo B considerando dados de certificado, incerteza tipo B considerando a resolução do objeto, incerteza tipo B considerando a histerese, incerteza padrão combinada e incerteza expandida.

O erro de medição do manômetro de cada esfigmomanômetro avaliado foi calculado para cada ponto de medição e consiste na diferença entre o valor indica-

do pelo manômetro em calibração e o valor indicado pelo padrão. Para representar o erro foi escolhido o maior valor entre as diferenças calculadas [4, 9, 26].

A histerese do manômetro de cada esfigmomanômetro avaliado foi calculada para cada ponto de medição pela da diferença entre os valores obtidos na carga e descarga da pressão. A histerese para o ponto medido é dada pela maior diferença encontrada [4, 9, 26].

O erro fiducial do manômetro de cada esfigmomanômetro avaliado é dado pela relação entre o erro no ponto de medição e a faixa de trabalho do instrumento e determina a classe de exatidão do manômetro. É calculado para cada ponto de medição e representado para o instrumento como o maior erro fiducial obtido nos pontos de medição. Este parâmetro, porém, não é abordado pela OIML R 16-1:2002. O manômetro usado nos esfigmomanômetros mecânicos não-invasivos pode ser classificado, conforme a ABNT NBR-14105, como de classe de exatidão A1 com erro fiducial de $\pm 1,0\%$ [25, 24,]. Ou seja, o cálculo do erro fiducial é expresso por:

$$\text{Erro fiducial} = (\text{Erro} / \text{FM}) \times 100 \quad (1)$$

Erro = maior erro encontrado no ponto medido

FM = faixa de medição do manômetro

A incerteza padronizada tipo A do manômetro de cada esfigmomanômetro avaliado é calculada através da relação entre o desvio padrão dos resultados obtidos no do processo de medição e a raiz quadrada do número de resultados de medição. Neste modelo é calculada apenas para o padrão de calibração. Esta incerteza mostra a repetitividade, que é a capacidade do instrumento em fornecer valores de medição iguais ou bem próximos um do outro [1]. Seu cálculo é dado por:

$$u_A = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

S = desvio padrão das medições incluindo carga e descarga.

n = total de medições incluindo carga e descarga.

A incerteza padronizada tipo B do manômetro de cada esfigmomanômetro avaliado é calculada em função de dados estatísticos fornecidos em certificados de calibração, incertezas considerando o ajuste e incertezas considerando a distribuição. Seu valor é dado pela relação da incerteza expressa e seu fator de abrangência [1]. No presente trabalho, a incerteza padronizada tipo B foi calculada considerando o certificado de calibração do padrão (eq. 3):

$$u_{B1} = \frac{Upd}{k} \quad (3)$$

Upd = Incerteza do padrão declarada no certificado

k = Coeficiente de abrangência declarado no certificado

Considerando a resolução do objeto (eq. 4):

$$u_{B2} = \frac{Robj}{\sqrt{12}} \quad (4)$$

$Robj$ = Resolução do objeto

$\sqrt{12}$ = Divisor para distribuição retangular

Considerando a histerese (eq. 5):

$$u_{B3} = \frac{Histerese}{\sqrt{12}} \quad (5)$$

$\sqrt{12}$ = Divisor para distribuição retangular

A incerteza padrão combinada do manômetro de cada esfigmomanômetro avaliado é calculada considerando as incertezas padronizadas tipo A e tipo B, identificadas como de influência no resultado da medição [1]. Neste processo de calibração, foram consideradas como incertezas de influência no resultado da me-

dição as incertezas: *tipo A do objeto e do padrão; tipo B do padrão, da histerese e da resolução do objeto.*

A incerteza da resolução do padrão não foi considerada, por estar combinada na incerteza do padrão. O cálculo da incerteza padrão combinada é realizado pela eq.

(6):

$$u_c = \sqrt{(u_{Apd})^2 + (u_{Aobj})^2 + (u_{B3})^2 + (u_{B2})^2 + (u_{B1})^2} \quad (6)$$

u_c = Incerteza padrão combinada

u_{Apd} = Incerteza padronizada tipo A do padrão

u_{Aobj} = Incerteza padronizada tipo A do objeto

u_{B3} = Incerteza da histerese

u_{B2} = Incerteza da resolução do objeto

u_{B1} = Incerteza do padrão

Para o cálculo da incerteza de medição expandida do manômetro de cada esfigmomanômetro avaliado, são calculados os graus de liberdade efetivos (v_{eff}) e o fator de abrangência (k). Os graus de liberdade efetivos são calculados por meio da fórmula de Welch-Satterhwaite (eq. 7) onde as incertezas de influência são consideradas em relação a seu grau de liberdade. Nas incertezas padronizadas tipo B, por possuírem limites de grande confiabilidade, seus graus de liberdade tendem ao infinito sendo considerados iguais a zero. Para o presente trabalho os graus de liberdade efetivos foram calculados pela eq. 8 considerando a eq. 7. O coeficiente de sensibilidade para o modelo proposto pelo presente trabalho foi considerado igual a 1 devido à grandeza de entrada ser igual à grandeza de saída [1].

Equação de Welch-Satterhwaite:

$$v_{eff} = \frac{U^4 c(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{U^4 i(y)}{v_i}} \quad (7)$$

v_i = grau de liberdade efetivo de cada incerteza

N = n° de incertezas

c = coeficiente de sensibilidade

Cálculo dos graus de liberdade para o modelo do presente trabalho:

$$v_{eff} = \frac{(u_c)^4}{(u_{Apd})^4 / n - 1} \quad (8)$$

n = número de resultados do ciclo de carga e descarga

O fator de abrangência é calculado em função da distribuição t-student, com os graus de liberdade efetivos (v_{eff}) calculados na eq. (8) e nível de confiança de 95,45% (0,045 de probabilidade) [1]. No presente modelo, os graus de liberdade das incertezas de calibração são iguais a 7 (oito valores de medição obtidos para cada ponto menos um) e um nível de confiança de 95,45 %.

A incerteza de medição expandida do manômetro de cada esfigmomanômetro avaliado é calculada para um nível de confiança de 95,45 % [1]. Seu cálculo é expresso por:

$$U = k \times u_c \quad (9)$$

A incerteza expandida deve ser expressa com no máximo dois algarismos significativos [1]. O valor da medição deve ser arredondado para o último algarismo significativo da incerteza expandida. Se, no arredondamento da incerteza, o termo desprezado for maior do que cinco por cento do valor da incerteza, arredondar para cima [1]. O modelo para expressão da incerteza de medição expandida é definido na eq. (10):

$$\text{Valor da medição} \pm U \quad (10)$$

O valor de referência usado para representar a incerteza de medição (U) foi definido como sendo a média das incertezas de medição dos esfigmomanômetros

numerados de 26 a 29. Este valor de referência foi usado para montar um intervalo de conformidade mais rigoroso, baseado no modelo de Sommer & Kochsiek [27]. O modelo proposto pelo presente trabalho é ilustrado na Figura 27.

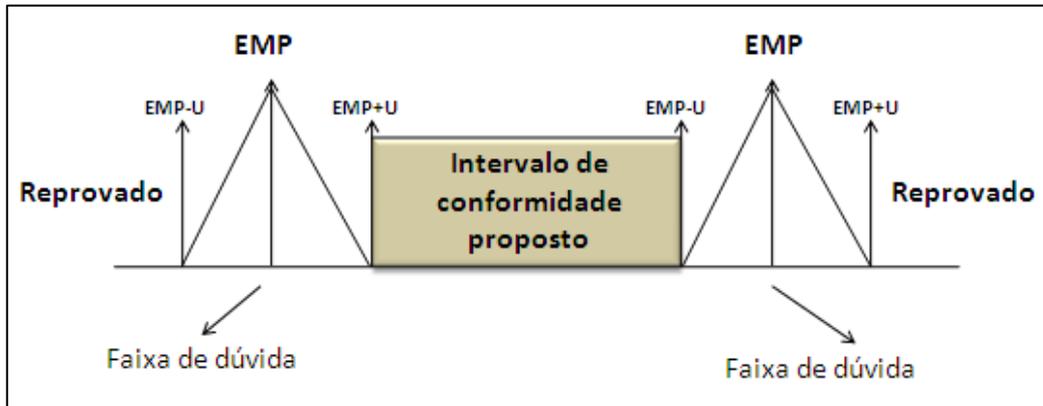


Figura 7 – Ilustração do modelo proposto no presente trabalho, para um intervalo de conformidade mais rígido, considerando a incerteza de medição.

O intervalo proposto é determinado pelas eq.(11) e eq.(12) que utilizam o valor intrínseco do erro máximo permissível (EMP), definido na OIML R-16-1:2002, para determinar os limites, superior e inferior, de conformidade [27].

$$\text{Limite superior} = EMP - U \quad (11)$$

$$\text{Limite inferior} = EMP + U \quad (12)$$

EMP = erro máximo permissível

U = incerteza de medição