

CALIBRAÇÃO DE UM VASO COM UM LÍQUIDO DIFERENTE DA ÁGUA

V.Y. Aibe¹, C.R.C. Rodrigues¹, D.M.E. Santo Filho¹, J.J. Santos Jr.¹, A.P. Barbosa¹

¹ Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Divisão de Metrologia Mecânica, Av. Nossa Senhora das Graças, 50 – Xerém, Duque de Caxias, R.J., CEP 25250-020, Brasil, e-mail laflu@inmetro.gov.br

Resumo: As medidas de capacidade de volume são utilizadas para comercialização de líquidos, para verificação e aprovação de modelos na metrologia legal, para calibração de medidores de vazão e totalizadores de volume, nos processos industriais, nos ensaios para quantificar líquidos e em outras aplicações. Assim sendo, a medição de volume é um fator importante para a garantia da qualidade de produtos e serviços em muitos processos produtivos, nos ensaios e nas calibrações, tendo importância, em termos financeiros, visto que os instrumentos de medição de vazão ou totalizadores de volume e massa, quando utilizados para comercialização, são caixa registradora da operação comercial. Instrumentos não adequados às especificações da condição de medição ou mal operados podem causar grandes prejuízos financeiros.

Neste trabalho estuda-se a diferença entre os resultados da calibração de um vaso padrão, realizada com água e com óleo. Nas condições de operação do vaso padrão, a temperatura ambiente é muito diferente da temperatura do laboratório de calibração. Nessa condição, fatores de influência normalmente não considerados tornam-se relevantes no resultado da medição.

Palavras chave: volume, vaso padrão, calibração.

1. INTRODUÇÃO

Os vasos utilizados como padrão de volume podem ser calibrados geralmente pelo método gravimétrico ou método volumétrico. Nestas calibrações podem ser utilizados

diferentes fluidos, como por exemplo, água. Geralmente utiliza-se a água como fluido para calibração devido à sua estabilidade durante a calibração e ao baixo custo, comprovados experimentalmente.

Neste trabalho será apresentada a comparação entre os resultados obtidos da calibração com água e óleo, pois, conforme a geometria do vaso, isso pode levar a um erro sistemático relevante, em relação à incerteza obtida na calibração, devido à variação dos filmes de líquidos que ficam nas paredes do vaso padrão. Outro fator relevante é a diferença entre a temperatura de calibração (20 °C) e a de referência (35 °C).

2. MENSURANDO E GRANDEZAS DE ENTRADA

Na calibração do instrumento, vaso padrão, o mensurando [1] é o volume do líquido que entra no instrumento, com película de líquido formada previamente, na sua parte interna, considerado da marcação do nível inferior no tubo externo até o nível superior, na temperatura de referência de 35 °C. Foram consideradas relevantes as seguintes grandezas de entrada para o cálculo do volume, conforme mostra a figura [2] abaixo.

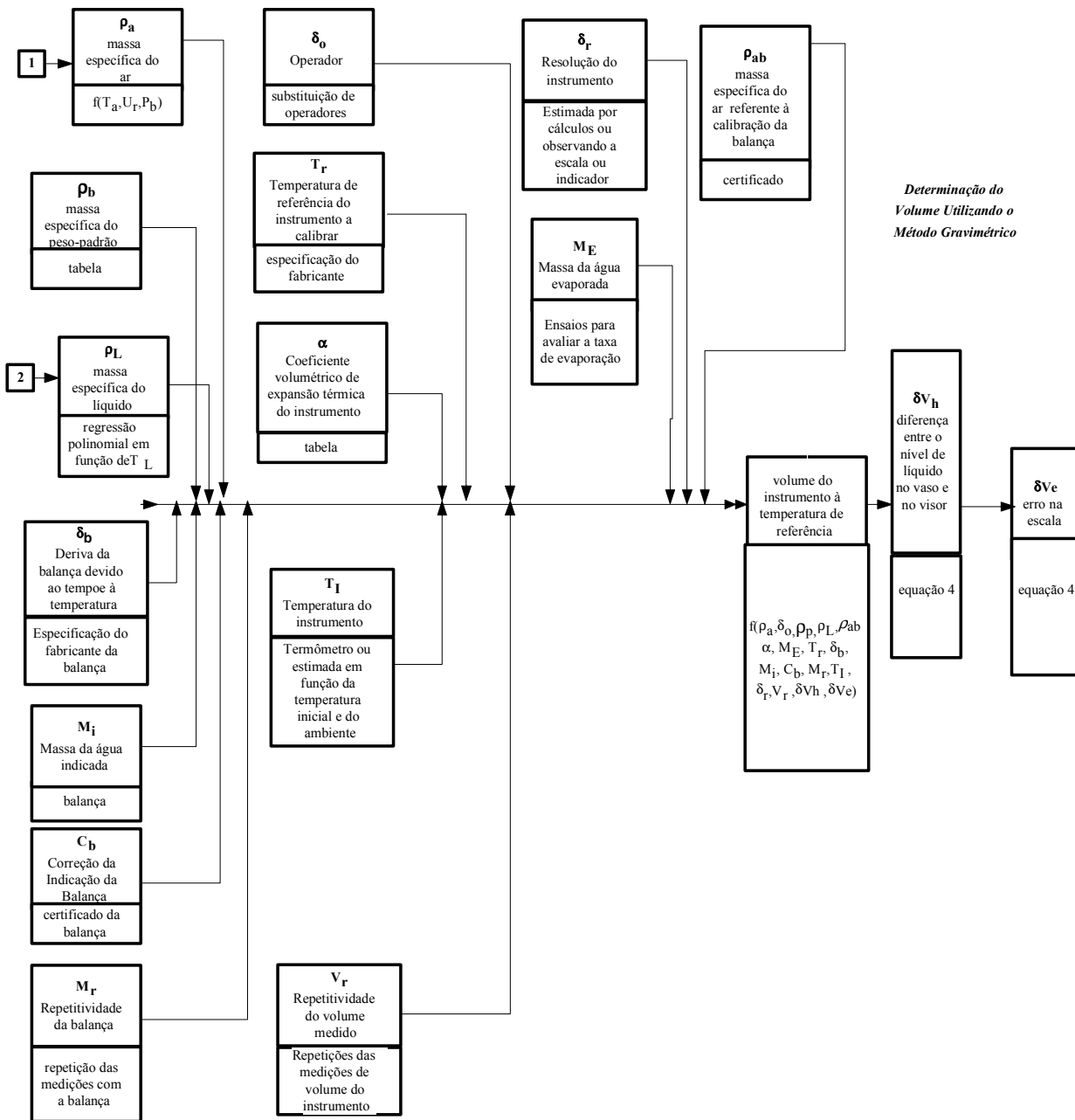


Fig.1. Diagrama mostrando o mensurando e as grandezas de entrada

3. PROCEDIMENTO

Foram utilizados dois líquidos na calibração pelo método gravimétrico, água e óleo, na temperatura próxima de 20 °C.

Determinou-se o volume do líquido transferido da marcação do nível superior no tubo externo até o nível inferior.

Foi utilizado um reservatório com líquido num nível superior ao vaso para o seu enchimento pela entrada inferior, controlado com uma válvula de três vias.

As temperaturas do ambiente e do líquido na entrada, no vaso e na saída foram monitoradas.

O líquido drenado foi coletado para o frasco de conter e determinada a sua massa.

As condições ambientais temperatura, pressão e umidade foram monitoradas. O tempo de escoamento entre as marcas foi cronometrado.

Foram feitas dez medições e calculados a média e o desvio padrão experimental dos volumes de líquido transferido .



Fig.2 Vaso Calibrado

A massa específica para a água e para o óleo foram obtidas pelo polinômio abaixo [3], que foi usado na faixa de temperatura de 15°C a 40°C.

Onde:

$$\rho_L (T_L) = \sum_{i=0}^4 a_i \cdot t_L^i + \delta\rho_L \quad (1)$$

t_L^i é a temperatura da água em graus Celsius;

As constantes da água são

a_0 é igual a 999,853 08 kg/m³;

a_1 é igual a 6,326 93 x 10⁻² °C⁻¹ kg/m³;

a_2 é igual a -8,523 829 x 10⁻³ °C⁻² kg/m³;

a_3 é igual a 6,943 248 x 10⁻⁵ °C⁻³ kg/m³;

a_4 é igual a -3,821216 x 10⁻⁷ °C⁻⁴ kg/m³.

As constantes do óleo são

a_0 é igual a 840,92600 kg/m³;

a_1 é igual a -1,02665 x 10⁻² °C⁻¹ kg/m³;

a_2 é igual a 1,47563 x 10⁻³ °C⁻² kg/m³;

a_3 é igual a 2,64588 x 10⁻⁵ °C⁻³ kg/m³;

a_4 é igual a 1,51204 x 10⁻⁷ °C⁻⁴ kg/m³.

$\delta\rho_L$ é a variação da massa específica da água ou do óleo

A massa específica do ar ρ_a , expressa em kg/m³, é calculada por [4]:

$$\rho_a = \frac{k_1 \cdot P_a + \phi \cdot (k_2 \cdot T_a + k_3)}{T_a + T_{a0}} + \delta\rho_a \quad (2)$$

Onde[5]:

T_{a0} é igual a 273,15°C;

p_a é a pressão atmosférica, expressa em hectopascal (hPa);

ϕ é a umidade relativa, expressa em porcentagem (%);

T_a é a temperatura do ar ambiente, expressa em graus Celsius (°C);

k_1 é igual a 0,348 44 kg m⁻³ °C hPa⁻¹;

k_2 é igual a -0,00252 kg m⁻³;

k_3 é igual a 0,020 582 kg m⁻³ °C;

$\delta\rho_a$ é variação devido ao gradiente e alteração da ρ_a durante a calibração, expressa em (kg m⁻³).

Temos a equação adaptada de MB3119 [6]:

$$V_L(T_r) = \frac{M_L}{\rho_L - \rho_a} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{ab}}{\rho_b}\right) \cdot [1 - \alpha_c \cdot (T - T_{35})] \quad (3)$$

Onde:

M_L é a indicação da balança da massa da água transferida ou dispensada.;

ρ_{ab} é a massa específica do ar durante a calibração da balança

Das equações anteriores, tem-se:

$$V_L(T_r) = \frac{M_L}{\left(\delta\rho_L + \sum_{i=0}^4 a_i(T)^i\right) - \rho_a} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{ab}}{\rho_b}\right) \cdot [1 - \alpha_c \cdot (T_r - T_{35})] + \delta V_h + \delta V_e + \delta V_a \quad (4)$$

Onde:

M_L é a indicação da balança da massa da água transferida ou dispensada.;

(obs.: supondo-se que a correção do certificado da balança é sempre a mesma para todas as pesagens);

$V_L(T_r)$ Volume do instrumento a calibrar na temperatura de referência de 35°C;

α_c é o coeficiente volumétrico da expansão térmica do material do instrumento a calibrar em °C⁻¹;

T é a temperatura do dispositivo para transferir, expressa em °C;

T_{35} é igual a 35°C.

δV_h é a diferença entre o nível de líquido no vaso e no visor.

δV_e é o erro devido a resolução na leitura do instrumento a calibrar.

δV_a é a contribuição aleatória.

ρ_b é a massa específica do peso padrão que calibrou a

ρ_b é a massa específica do ar durante a medição da massa de água ou de óleo

ρ_L é a massa específica da água durante a medição da sua massa

α_c é o coeficiente volumétrico da expansão térmica do material do instrumento a calibrar em °C⁻¹;

T é a temperatura do dispositivo para transferir, expressa em °C;

T_{35} é igual a 35°C.

$T_L = T_r - T_{35}$ é a temperatura da água ou do óleo dentro do dispositivo para transferir ou dispensar;

T_v é a temperatura do recipiente. Como durante a calibração a temperatura da água e do recipiente eram próximas, foi considerada igual a T ;

T_{ab} é a temperatura do ar ambiente durante a calibração da balança, expressa em graus Celsius (°C);

P_{ab} é a pressão atmosférica durante a calibração da balança, expressa em hectopascal (hPa);

P_a é a pressão atmosférica durante a medição da massa da água, expressa em hectopascal (hPa). É função de T_a , P_a e ϕ ;

ϕ é a umidade relativa durante a medição da massa da água, expressa em porcentagem (%);

O cálculo dos coeficientes de sensibilidade torna-se mais simples, se forem calculadas a incerteza da massa de água (M_L), massa específica da água (ρ_L) e massa específica do ar (ρ_a) separadamente do que considerar todas as grandezas e parâmetros numa única equação

4.RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

Nas tabelas 1 e 2 abaixo são mostradas as contribuições de cada grandeza de entrada considerada[7][8][9], nas calibrações feitas com água destilada e com óleo mineral, respectivamente.

Tab.1-Grandezas de entrada para calibração com água

Grandezas de Entrada	Valor Estimado	Incerteza Padrão	Distribuição de probabilidade	Coefficiente de Sensibilidade	Contribuição para Incerteza
X_i	x_i	$u(x_i)$		c_i	$u_i(y)$
M_L	1941,116	$5,000 \times 10^{-3}$	normal	$1,003 \times 10^0$	$5,017 \times 10^{-3}$
T_L	19,816	$1,915 \times 10^{-1}$	normal	$4,591 \times 10^{-1}$	$8,792 \times 10^{-2}$
$\delta\rho_L$	0,00002	$1,133 \times 10^{-5}$	retangular	$-1,953 \times 10^{-3}$	$-2,213 \times 10^{-2}$
ρ_{ab}	0,0012	$2,500 \times 10^{-7}$	normal	$1,539 \times 10^4$	$3,847 \times 10^{-3}$
ρ_b	7,9	$1,155 \times 10^{-1}$	retangular	$3,745 \times 10^{-2}$	$4,325 \times 10^{-3}$
α_v	0,000033	$6,928 \times 10^{-6}$	retangular	$-1,950 \times 10^3$	$-1,349 \times 10^{-2}$
ϕ	58,50	$1,676 \times 10^0$	normal	$-2,010 \times 10^{-4}$	$-3,364 \times 10^{-4}$
T_a	20,125	$6,934 \times 10^{-2}$	normal	$-9,870 \times 10^{-4}$	$-6,864 \times 10^{-5}$
P_a	1013,847	$1,676 \times 10^0$	normal	$2,320 \times 10^{-3}$	$1,706 \times 10^{-3}$
δV_e	-	$1,153 \times 10^0$	retangular	$1,000 \times 10^0$	$1,152 \times 10^0$
δV_h	-	$1,753 \times 10^{-1}$	retangular	$1,000 \times 10^0$	$1,753 \times 10^{-1}$
δV_a	-	$3,639 \times 10^{-1}$	-	$1,000 \times 10^0$	$3,639 \times 10^{-1}$

Tab.2- Grandezas de entrada para calibração com Óleo

Grandezas de Entrada	Valor Estimado	Incerteza Padrão	Distribuição de probabilidade	Coefficiente de Sensibilidade	Contribuição para Incerteza
X_i	x_i	$u(x_i)$		c_i	$u_i(y)$
M_L	1601,085	$5,000 \times 10^{-3}$	normal	$1,216 \times 10^1$	$6,079 \times 10^{-3}$
T_L	20,708	$1,915 \times 10^{-1}$	normal	$-8,320 \times 10^{-1}$	$-1,593 \times 10^{-1}$
$\delta\rho_L$	-	$1,222 \times 10^{-4}$	retangular	$-2,366 \times 10^{-3}$	$-2,893 \times 10^{-1}$
ρ_{ab}	0,0012	$2,500 \times 10^{-7}$	normal	$1,538 \times 10^4$	$3,845 \times 10^{-3}$
ρ_b	7,9	$1,155 \times 10^{-1}$	retangular	$3,744 \times 10^{-2}$	$4,323 \times 10^{-3}$
α_v	0,000033	$6,928 \times 10^{-6}$	retangular	$-1,950 \times 10^3$	$-1,349 \times 10^{-2}$
ϕ	59,40	$1,639 \times 10^0$	normal	$-2,500 \times 10^{-4}$	$-4,091 \times 10^{-4}$
T_a	20,460	$6,934 \times 10^{-2}$	normal	$-1,221 \times 10^{-3}$	$-8,432 \times 10^{-5}$
P_a	1015,268	$7,350 \times 10^{-1}$	normal	$2,810 \times 10^{-3}$	$2,064 \times 10^{-3}$
δV_e	-	$1,153 \times 10^0$	retangular	$1,000 \times 10^0$	$1,153 \times 10^0$
δV_h	-	$1,650 \times 10^{-1}$	retangular	$1,000 \times 10^0$	$1,650 \times 10^{-1}$
δV_a	-	$4,626 \times 10^{-1}$	-	$1,000 \times 10^0$	$4,626 \times 10^{-1}$

Tab.3- resultados da incerteza expandida do volume transferido obtidos segundo guia ISO/GUM [10]

	Volume	Incerteza Expandida	Incerteza Combinada	Fator de Abrangência k	Grau de Liberdade Efetivo γ_{eff}	Incerteza Relativa
	cm^3	(cm^3)	(cm^3)			%
Água	1947,849	2,775	1,387	2	$1,480 \times 10^2$	0,14
Óleo	1946,701	2,912	1,456	2	$8,839 \times 10^2$	0,15

5. CONCLUSÕES

A maior incerteza encontrada foi devido à resolução na leitura do instrumento a calibrar.

Para o volume e o tempo de escoamento em que foi feita a calibração, não foi encontrada uma diferença significativa para os resultados obtidos com água e óleo.

O tempo de escoamento durante a calibração foi de três minutos. Se a válvula for aberta totalmente, o tempo de escoamento é de aproximadamente 3 segundos. Quando se faz um escoamento mais rápido do que três minutos, o volume calibrado pode ser diferente e, conseqüentemente, pode vir a aumentar a diferença de volume das calibrações feitas com água e óleo.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos técnicos Leandro Santos Lima, Luís Fernando Barbosa e Paulo Roberto Marteleto, do Laboratório de Fluidos do Inmetro, pelo auxílio nas medições.

Agradecemos à empresa Cummins Brasil Ltda., que gentilmente nos emprestou o vaso de calibração.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Vocabulário de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia - Portaria Inmetro, N(029, de 10/3/95).
- [2] Aibe, V.Y., Santo Filho, D.M.E., Diagram For Analysis And Representation Of Input Quantities Of A Mensurand For Calculation Of Uncertainty Of Measurement, COBEM 2003 – em publicação.
- [3] ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration – Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology – Volume 97, Number 3, May-June 1992
- [4] ISO/TR 20461 Determination of uncertainty for volume measurements made using the gravimetric method – First Edition 2000-11-01
- [5] Sistema Internacional de Unidades - Publicação Inmetro
- [6] MB 3119 – Vidraria Volumétrica de Laboratório – Métodos de Aferição da capacidade e de utilização - 1989
- [7] Aibe, V.Y., 2002, "Curso de Estatística e Cálculo da Incerteza de Medição". Curso realizado no Inmetro.
- [8] Couto, P.R., Guimarães, 2002, "Curso de Incerteza de Medição de Análises Químicas". Curso realizado no Inmetro.
- [9] Versão Brasileira do Documento de Referência EA-4/02 (Referência Original do Editor: EAL-R2) Expressão da Incerteza de Medição na Calibração.
- [10] Guide to Expression of Uncertainty in Measurement - ISO GUM, 1995.

Autores: M.Sc. Valter Yoshihiko Aibe, Inmetro (Diretoria de Metrologia Científica e Industrial / Divisão de Metrologia Mecânica / Laboratório de Fluidos), Av. Nossa Senhora das Graças, 50, CEP 25250-020, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brasil, Tel 55 (21)2679-9041, vyaibe@inmetro.gov.br

B.Sc. Claudio Roberto da Costa Rodrigues, Inmetro (Diretoria de Metrologia Científica e Industrial / Divisão de Metrologia Mecânica / Laboratório de Fluidos), Av. Nossa Senhora das Graças, 50, CEP 25250-020, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brasil, Tel 55 (21)2679-9041, crrodrigues@inmetro.gov.br

M.Sc. Dalni Malta do Espírito Santo Filho, Inmetro (Diretoria de Metrologia Científica e Industrial / Divisão de Metrologia Mecânica / Laboratório de Fluidos), Av. Nossa Senhora das Graças, 50, CEP 25250-020, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brasil, Tel 55 (21)2679-9041, dsfilho@inmetro.gov.br

M.Sc. José Júlio dos Santos Júnior, Inmetro (Diretoria de Metrologia Científica e Industrial / Divisão de Metrologia Mecânica / Laboratório de Fluidos), Av. Nossa Senhora das Graças, 50, CEP 25250-020, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brasil, Tel 55 (21)2679-9028, jjjunior@inmetro.gov.br

B.Sc. Alex Pablo Barbosa, Inmetro (Diretoria de Metrologia Científica e Industrial / Divisão de Metrologia Mecânica / Laboratório de Fluidos), Av. Nossa Senhora das Graças, 50, CEP 25250-020, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brasil, Tel 55 (21)2679-9028, apbarbosa@inmetro.gov.br