

IMPLEMENTAÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA CALIBRAÇÃO DE BAIXAS VAZÕES

Roberto M. Girardi

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)
Praça Mal Eduardo Gomes, 50
12.228-900 São José dos Campos, SP, Brasil

***Resumo.** Neste trabalho é feita a descrição de um dispositivo projetado e construído para realizar calibração de medidores de vazão (tubos de Venturi, placas de orifício e etc) em uma faixa entre 0,4 l/s até 5 l/s. São fornecidos detalhes importantes relativos à configuração do dispositivo e da metodologia experimental, os quais melhoram a exatidão dos resultados obtidos. Para se fazer a calibração do dispositivo foi desenvolvido um sistema, baseado em dois diodos, um emissor e outro receptor de luz, para medida do intervalo de tempo requerido para uma bolha percorrer um certo volume no interior de um tubo de vidro. O dispositivo desenvolvido foi usado para a calibração de um tubo de Venturi, obtendo-se bons resultados principalmente para as baixas vazões. Para valores mais elevados de vazão observou uma dispersão pouco maior para o coeficiente de descarga, evidenciando que melhorias ainda são requeridas para a melhoria do dispositivo.*

***Palavras-chave:** Baixa vazão, Dispositivo de calibração, Coeficiente de descarga, Instrumentação*

1. INTRODUÇÃO

A motivação para o presente trabalho é a calibração de um tubo de Venturi projetado para realizar a medida da vazão succionada pelo modelo reduzido de um dispositivo de ventilação natural, o qual deve ser ensaiado em túnel de vento.

Em linhas gerais, o dispositivo acima é constituído por uma caixa d'água superior, localizada a certa altura do solo, e por uma caixa d'água inferior localizada no nível do solo. A caixa d'água superior é ligada a caixa inferior através de uma tubulação, na qual existem duas válvulas, uma para controle da vazão de água e a outra que funciona totalmente aberta ou fechada. Na caixa d'água superior chega uma outra tubulação, por onde escoar ar succionado da atmosfera. Com exceção das tubulações de água e de ar descritas acima, a caixa superior é vedada. Desta forma, a água que flui da caixa superior para a caixa inferior provoca a sucção do ar pela tubulação de ar, na qual é instalado o medidor de vazão que se deseja calibrar. Em uma primeira aproximação, pode-se afirmar que a vazão volumétrica de água que chega na caixa inferior é igual à vazão volumétrica de ar succionada da atmosfera, a

qual passa pelo medidor. No entanto, devido a efeitos de compressibilidade do ar no interior da caixa superior, pode-se mostrar que a afirmação anterior não é correta.

Além de aspectos teóricos, será feita uma descrição de detalhes práticos importantes do dispositivo de calibração, tais como o sistema de contrapesos e a solução encontrada para minimizar a vibração ocasionada pela queda d'água na caixa inferior, a qual interfere na precisão da medida da variação do peso de água com o tempo.

Antes que o aparato descrito acima fosse usado para calibrar o tubo de Venturi, houve necessidade de se fazer uma calibração no próprio calibrador, principalmente porque existe a questão do efeito de compressibilidade do ar, o qual acarreta pequenas diferenças entre as vazões volumétricas de ar e da água. Para tanto, foi utilizado um dispositivo que mede pequenas vazões de ar através do deslocamento de bolhas de sabão no interior de um tubo de vidro.

Embora a caixa d'água superior tenha uma base com área relativamente grande, a vazão de água que flui para a caixa d'água inferior tem uma pequena variação com o tempo. Devido a isto, é necessário se utilizar um aparato experimental constituídos por transdutores, cujos sinais são enviados para um sistema de aquisição de dados.

Por fim, será descrito o procedimento experimental e os resultados obtidos com a calibração de um tubo de Venturi.

2. DISPOSITIVO PARA CALIBRAÇÃO DE BAIXAS VAZÕES

Nesta seção é feita, inicialmente, uma descrição detalhada do dispositivo para calibração de medidores de vazão proposto neste trabalho. Em seguida apresenta-se a análise teórica que mostra o problema associado a compressibilidade do ar na caixa d'água superior e, por fim, são fornecidos detalhes práticos importantes para se obter medidas com boa exatidão.

2.1 Descrição Detalhada

Na figura 1 é mostrado um esquema do dispositivo de calibração. A caixa d'água superior possui altura de 0.46 m e base quadrada com lado de 1.20 m. Com relação ao piso do laboratório, a base desta caixa d'água esta a uma altura de 4.01 m. Chapas de acrílico (espessura de 6 mm) foram coladas para a fabricação desta caixa d'água e as arestas foram reforçadas com fibra de vidro e resina, de modo a evitar-se vazamentos de água e possíveis entradas de ar na sua parte superior. Da base da caixa d'água superior sai uma tubulação de PVC para água, com diâmetro nominal de 0.050 m, posicionado na direção vertical, com 2.90 m de comprimento. A fixação da extremidade superior do tubo na base da caixa foi feita com flanges de PVC encontrados no mercado, os quais possuem anel de borracha para garantir a vedação. Na extremidade inferior do tubo foi colada uma curva longa de 90 graus, para reduzir as perdas de carga. Desta curva sai um outro trecho reto de tubo, na direção horizontal, no qual pode-se observar duas válvulas. A válvula mais próxima da curva é usada para se controlar a vazão de água que desce para a caixa d'água inferior e, durante um ensaio, esta válvula permanece inalterada. A Segunda válvula funciona totalmente aberta ou fechada e serve para iniciar e finalizar um ensaio com uma determinada vazão. No final deste trecho reto de tubo, foi colado uma curva longa, que direciona o fluxo de água para o interior da caixa d'água inferior.

A caixa d'água inferior é feita de amianto e possui base circular com diâmetro de 0.78 m e altura de 0.57 m, com uma capacidade nominal de 250 l de volume. Para suportar esta caixa foi construída uma estrutura de cantoneiras de ferro, a qual é pendurada em uma segunda estrutura de ferro (no ponto A da Fig. 1), através de cabos de aço. O peso do conjunto

formado pela caixa de amianto, pela estrutura de ferro e pelos cabos de aço é 510 N. O objetivo desta montagem foi a viabilização da medida do peso da água que flui para a caixa inferior, a qual foi, inicialmente, feita por uma célula de carga de 9810 N, instalada no ponto A.

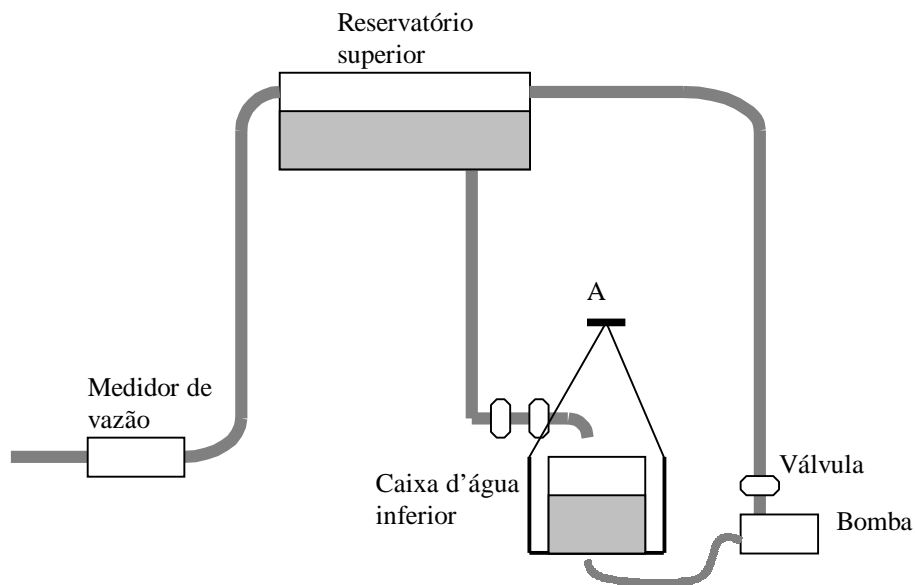


Figura-1 Dispositivo para calibração de medidores de vazão

O retorno da água para a caixa d'água superior é feito com auxílio de uma bomba hidráulica com potência de 373 watts (0.5 cv). Uma tubulação flexível é usada para ligar o fundo da caixa d'água inferior com a tubulação de entrada da bomba. Desta forma, as pequenas variações da altura do fundo da caixa d'água, ocorridas devido ao enchimento da mesma durante os ensaios, não sofrem resistência acentuada, como ocorreria caso a tubulação flexível fosse trocada por uma tubulação rígida. A saída da bomba é ligada a um tubo reto, com diâmetro nominal de 50 mm, que é posicionado na direção vertical. Este tubo termina em uma curva longa de 90 graus, que permite a conexão de outro pequeno trecho reto com a parte de cima da caixa d'água superior, como pode ser visto na Fig. 1. Logo acima da bomba foi instalada uma válvula que permite a manutenção da bomba e que controla a vazão de água direcionada para a caixa superior.

A tubulação de ar é conectada em uma das superfícies laterais da caixa superior, na região próxima a tampa da mesma, através de flanges de PVC que possuem anéis de borracha para garantir a vedação. Esta tubulação é feita de PVC, com diâmetro nominal de 50 mm, e é colada a uma curva longa, também feita de PVC, responsável pelo direcionamento da tubulação para baixo. Outra curva longa de 90 graus é usada para ligar o tubo vertical proveniente da caixa superior com um trecho de tubo reto, posicionado na direção horizontal, no qual será ligado o medidor de vazão que se deseja calibrar (no presente trabalho, um tubo de Venturi).

2.2 Modelamento Matemático do Dispositivo

O objetivo desta parte do trabalho é obter uma relação entre a vazão volumétrica de água (Q_w) que sai do reservatório superior com a vazão volumétrica de ar (Q_a) que entra no mesmo. Para tanto, vamos considerar um volume de controle que envolve o reservatório superior (vide Fig. 1) e aplicar a equação da conservação de massa, resultando

$$\frac{d}{dt}(M_R) + m_w - m_a = 0 \quad (1)$$

Onde M_R é a massa de fluido (água e ar) no interior do reservatório superior, m_w e m_a são, respectivamente, os fluxos de massa de água e de ar. Considerando-se que a altura do reservatório superior seja H e que o nível de água, no interior do reservatório, esteja a uma altura h , com relação à base do mesmo, que possui área A , pode-se obter a massa de fluido no interior do reservatório

$$M_R = \rho_w Ah + \rho_r A(H - h) \quad (2)$$

onde ρ_w e ρ_r são, respectivamente, as densidades da água e do ar no interior do reservatório. Lembrando-se que dh/dt é negativo e que $A(dh/dt) = -Q_w$ pode-se reescrever a equação 1 na forma

$$\rho_a Q_a = \rho_r Q_w + A(H - h) \frac{d\rho_r}{dt} \quad (3)$$

onde ρ_a é a densidade do ar na entrada da tubulação de ar, próximo ao medidor de vazão. Deve-se deixar claro que ρ_a e ρ_r são diferentes porque a pressão no interior do reservatório é um pouco menor que a pressão na entrada da tubulação de ar (densidade ambiente), devido à perda de carga que ocorre na tubulação e no medidor que está sendo calibrado. Na equação acima, a altura do nível de água (h) é uma função do tempo assim como $d\rho_r/dt$. Para avaliar a altura do nível da água deve-se considerar que $A(dh/dt) = -Q_w$ e que a vazão de água (Q_w) é aproximadamente constante durante o intervalo de tempo no qual são feitas as medidas. A variação da densidade do ar ρ_r é obtida através da medida da pressão do ar na parte superior do reservatório. Para relacionar estas duas grandezas, admite-se que a expansão que ocorre no reservatório é descrito por um processo politrópico, cujo expoente (n) será determinado através dos resultados obtidos na calibração do dispositivo de calibração (Lembrar que para $n=1$ tem-se um processo isotérmico e para $n=1.4$ tem-se um processo adiabático). Levando-se em consideração as observações acima, obtém-se

$$Q_a = \frac{\rho_r}{\rho_a} Q_w + A \frac{\rho_r}{\rho_a} (H - h_0 + \frac{Q_w}{A} t) \frac{1}{p} \frac{dp}{dt} \quad (4)$$

onde h_0 é a altura do nível de água no início do intervalo de tempo usado para se fazer a aquisição dos dados necessários para se obter a vazão de ar, t é o tempo e p é a pressão na parte superior do reservatório, que está ocupada pelo ar.

A equação acima mostra claramente que a vazão de ar é menor que a vazão de água, pois a densidade no interior do reservatório é menor que a densidade do ar na entrada da tubulação de ar. Além disto, devido às perdas de carga na tubulação de ar e no medidor de vazão, pode-se esperar que a pressão no reservatório superior vá diminuindo com o tempo e, portanto, o segundo termo da direita da equação acima fica negativo e acentua ainda mais a diferença entre as vazões de ar e de água.

2.3 Detalhes Importantes do Dispositivo

Os detalhes descritos nessa seção foram sendo incorporados no dispositivo durante o desenvolvimento do mesmo, devidos a problemas que surgiram durante a operação e que acarretavam medidas com precisão insuficiente para a calibração de um tubo de Venturi projetado para medir baixas vazões.

No projeto inicial do dispositivo de calibração, a medida do peso de água que cai na caixa inferior era feita através de uma célula de carga, colocada no ponto A da Fig. 1, que deveria suportar os pesos da caixa, da estrutura que a suportava, dos cabos de aço e da água que escoava para a caixa. A soma destes pesos resulta aproximadamente 300 Kgf e, dentro desta faixa, a única célula de carga disponível no laboratório era de 1000 Kgf. Como a variação de peso durante os ensaios (com intervalo de tempo pequeno) é da ordem de grandeza de dezenas de Kgf, a medida dos mesmos não pode ser realizada com uma precisão pequena, da ordem de 1%.

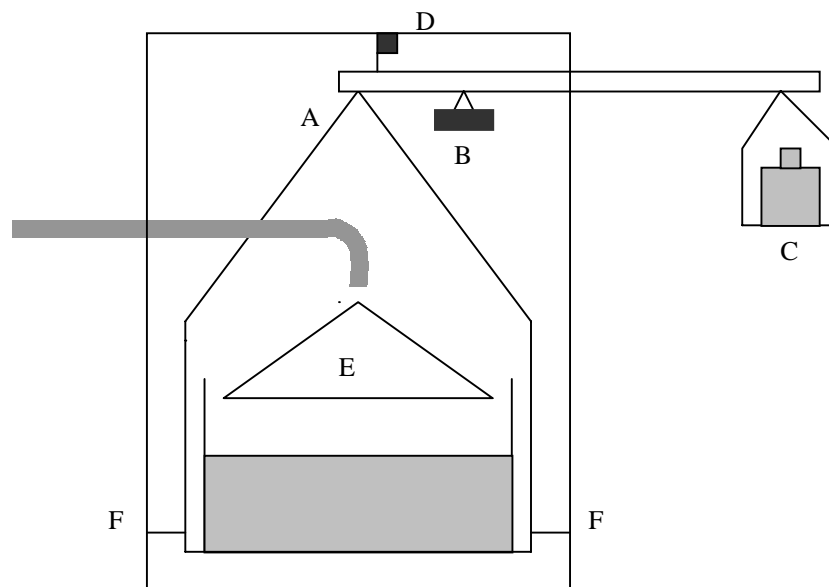


Figura –3 Detalhes do sistema de medida com a célula de carga.

Para resolver o problema relatado acima foi projetado e construído um sistema de contrapesos, como mostrado na Fig. 2. A caixa d'água, o seu suporte, os cabos e a água, pesando 300 Kgf, são ligados ao ponto A de uma barra horizontal, que é apoiada no ponto B e possui um contrapeso pendurado no ponto C. O apoio da barra foi feito na forma de uma faca, de modo a minimizar o atrito, o qual poderia causar problemas de histerese. Neste novo sistema, a célula de carga, instalada na posição indicada pelo ponto D, sente somente a diferença entre os pesos que atuam nos pontos A e C. Desta forma, foi possível utilizar uma célula de carga de 50 kgf e o intervalo de tempo de cada ensaio foi especificado para que este limite não fosse ultrapassado.

Como pode ser visto na Fig. 1, a água proveniente do reservatório superior cai na caixa inferior de uma certa altura, provocando oscilações com amplitude relativamente grandes no sinal da célula de carga. Além disto, esta queda d'água provoca movimentação no volume de água no interior da caixa, acarretando aumento das oscilações mencionadas acima. Para corrigir este problema foram tomadas duas medidas. A primeira foi a instalação de um cone, identificado pela letra "e" na Fig. 2, que espalha o jato concentrado de água e o orienta em direção à superfície lateral da caixa inferior. A segunda medida foi a instalação de lâminas

metálicas finas (identificadas pela letra “f”) na base da estrutura que suporta a caixa d’água. Estas lâminas permitem o movimento vertical da caixa d’água, porém, devido a sua largura, impedem movimentos laterais. Estas medidas reduziram significativamente as oscilações no sinal fornecido pela célula de carga e melhoraram a precisão da medida da variação do peso de água com o tempo.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Como pode ser visto na eq. 4, para se obter a vazão de ar que entra no reservatório superior deve-se medir a vazão de água que cai na caixa inferior (Q_w), as densidades do ar no interior do reservatório (ρ_r) e na entrada da tubulação de ar (ρ_a), a altura do nível de água no interior do reservatório superior no início do intervalo de tempo, no qual se faz a aquisição dos dados (h_o) e a pressão no interior da parte superior do reservatório (p).

A vazão de água é obtida através da medida do peso de água que cai na caixa inferior por unidade de tempo. Para tanto, utiliza-se a célula de carga ligada a um condicionador de sinais. O sinal amplificado é ligado a uma placa de aquisição de dados, fabricada pela empresa National Instruments, a qual é controlada pelo programa Labview.

Devido a ruídos elétricos e a vibração decorrente da queda da água na caixa inferior, o sinal de voltagem da célula de carga não pode ser derivado diretamente pelas técnicas numéricas convencionais. Para se obter esta derivada é necessário fazer um ajuste de curvas através de uma reta, pois, devido ao curto intervalo usado para a aquisição dos dados, a vazão de água foi considerada como constante. Neste caso, o coeficiente angular da reta já fornece a derivada temporal do sinal de voltagem da célula de carga. Os demais passos para a obtenção da vazão volumétrica são realizados sem problemas.

A densidade do ar na entrada da tubulação foi obtida com a equação dos gases perfeitos, através das medidas da temperatura ambiente e da pressão atmosférica. A densidade no interior do reservatório foi calculada considerando-se o ar como um gás perfeito, que sofre um processo politrópico. Neste caso, utiliza-se a pressão medida no interior do reservatório superior, a qual varia com o tempo.

Duas tomadas de pressão foram conectadas a um transdutor, que por sua vez foi ligado a um condicionador de sinais e enviado para a placa de aquisição de dados. Para a calibração deste transdutor é utilizado um manômetro Betz, cuja menor divisão é 0.1 mm de coluna d’água. Para obter-se a derivada temporal da pressão, requerida pela eq. 4, segue-se o mesmo procedimento descrito para a determinação da vazão de água.

Para se medir a altura do nível de água no início da aquisição dos dados, foi colada uma escala milimetrada na superfície lateral do reservatório superior. Com o auxílio do sistema ótico de um teodolito, foi possível obter-se com boa precisão o valor de h_o .

Um segundo transdutor de pressão é usado para medir a diferença de pressão no tubo de Venturi. Após amplificado, o sinal deste transdutor também foi enviado para a placa de aquisição de dados.

Após a introdução do sistema de contrapesos, foi possível aprimorar o procedimento experimental, tal que: (i) Inicialmente é feito o ajuste da vazão a ser ensaiada, através da válvula de controle de vazão, (ii) abre-se a segunda válvula para o início do escoamento, (iii) depois que a caixa inferior já recebeu cerca de 200 litros, a célula de carga começa a ser carregada. Isto é possível através do ajuste do valor do contrapeso. Após alguns segundos é acionado o sistema de aquisição de dados, (iv) no mesmo instante faz-se a leitura do nível de água no interior do reservatório superior, (v) após um intervalo de tempo previamente especificado, que variou entre 5 e 20 segundos, o sistema de aquisição encerrava as leituras e

(vi) por fim, a segunda válvula é fechada e a bomba hidráulica é acionada para elevar a água para o reservatório superior.

4. AFERIÇÃO DO DISPOSITIVO DE CALIBRAÇÃO

Como mencionado anteriormente, devido aos efeitos de compressibilidade do ar no interior do reservatório superior existe uma diferença entre a vazão volumétrica de água que cai na caixa inferior e a vazão volumétrica que entra na tubulação de ar. Para se realizar uma aferição do dispositivo de calibração estudado neste trabalho, foi utilizada uma montagem experimental que fornece a vazão de ar através da medida do tempo que bolhas de sabão levam para percorrer uma certa distância, no interior de um tubo de vidro transparente.

Esta montagem pode ser vista na Fig. 3. O tubo de vidro possui comprimento de 1.5 m e diâmetro interno igual a 50.6 mm. A uma distância de 735 mm da seção de entrada do tubo é colocado um dispositivo para detecção da passagem de uma bolha de sabão. Outro dispositivo idêntico é instalado a uma distância de 175 mm do primeiro detetores. Desta forma, conhecendo-se o diâmetro interno do tubo e a distância entre os detetores é possível calcular o volume entre eles. Medindo-se o intervalo de tempo necessário para uma bolha trafegar do primeiro detetores para o segundo pode-se determinar a vazão volumétrica de ar que entra no reservatório superior.

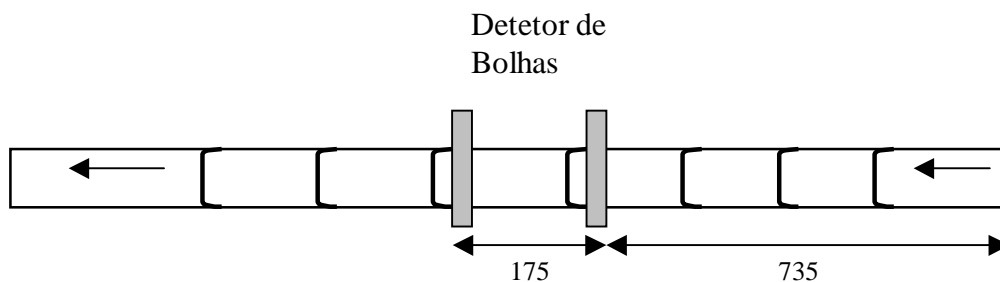


Figura-3 Dispositivo para medida de vazão de ar, através do deslocamento de bolhas

O detetores de passagem de bolhas de sabão é constituído por um diodo laser emissor, instalado em um anel metálico, cujo diâmetro interno é igual ao diâmetro externo do tubo de vidro. O feixe de luz emitido por este diodo cruza o interior do tubo de vidro e incide no lado oposto do anel metálico, onde existe um furo passante. Ao lado deste furo, a uma distância pequena do mesmo e em direção a jusante, é feito outro furo, no qual é instalado um diodo receptor de luz. Desta maneira, com a passagem da bolha de sabão, ocorre uma reflexão da luz laser na superfície da bolha (a qual tem a forma de uma calota esférica) que incide sobre o diodo receptor.

A característica básica diodo receptor é a ocorrência da diminuição de sua resistência elétrica quando a luz incide sobre o mesmo. Neste trabalho, esta característica foi utilizada para se projetar um circuito eletrônico que fornece um pico de voltagem toda vez que a luz incide sobre o diodo receptor. Os sinais de saída dos dois dispositivos de detecção de bolhas são enviados diretamente para a placa de aquisição de dados. O resultado de um ensaio são dois conjuntos de dados, um para cada detector, que contem uma sucessão de pulsos, com os quais é possível determinar o intervalo de tempo que se deseja medir.

Com este procedimento, pode-se calcular a vazão de ar a partir dos resultados medidos pela célula de carga e pela pressão e a partir dos resultados dos detectores de passagem de bolha. Na figura 4 são mostrados os resultados mencionados acima, para diversos valores de vazão. Pode-se observar uma boa concordância entre os dois conjuntos de resultados. Um

detalhe importante é a determinação do expoente do processo politrópico (n), definido na seção 2.2. Os resultados mostrados na Fig. 4 foram obtidos com $n=1.1$. Este valor é o resultado de vários testes com diversos valores de n .

Na Fig. 4 também se observa que a dispersão dos resultados obtidos com o dispositivo de bolhas aumenta com o incremento da vazão.

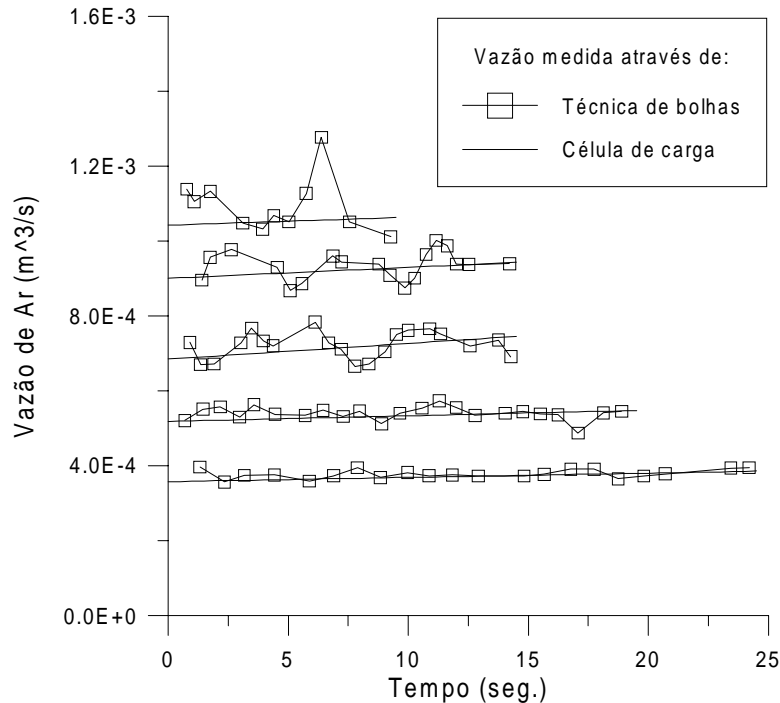


Figura 4 Comparação entre as vazões de ar obtidas através da célula de carga e através do dispositivo de bolhas

5. RESULTADOS

Nesta seção serão mostrados os resultados obtidos com a metodologia apresentada na seção 3, referentes a calibração de um tubo de Venturi feito de fibra de vidro, com diâmetro maior de 44.1 mm e diâmetro menor com 23.0 mm (razão de diâmetros de 0.522).

Na Fig. 5 são mostrados os sinais provenientes da célula de carga e do transdutor de pressão instalado no reservatório superior. O sinal da célula de carga é proporcional ao peso de água que cai na caixa inferior. Neste caso, pode-se observar que este sinal indica a taxa de aumento do peso de água e que a derivada deste sinal fornece a vazão de água que cai na caixa inferior. A pressão no reservatório é praticamente constante, porém, pode-se verificar pequenas perturbações, as quais devem estar associadas a oscilações da massa de fluido no interior do reservatório superior.

A curva de calibração do tubo de Venturi considerado neste trabalho é apresentada na Fig.-6. Pode-se verificar um aumento do coeficiente de descarga para os valores pequenos de número de Reynolds, sendo este um resultado típico, como pode ser visto em Holman (1966). Para valores mais elevados do número de Reynolds existe uma dispersão mais acentuada dos resultados, indicando que melhorias ainda são requeridas no caso de vazões maiores.

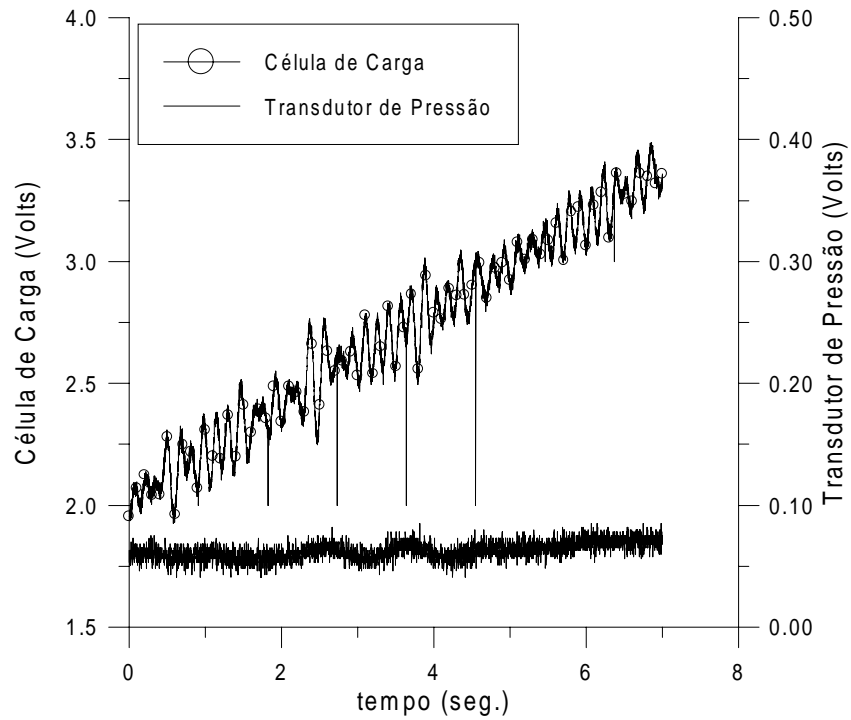


Figura-5 Resultados obtidos durante um ensaio de calibração

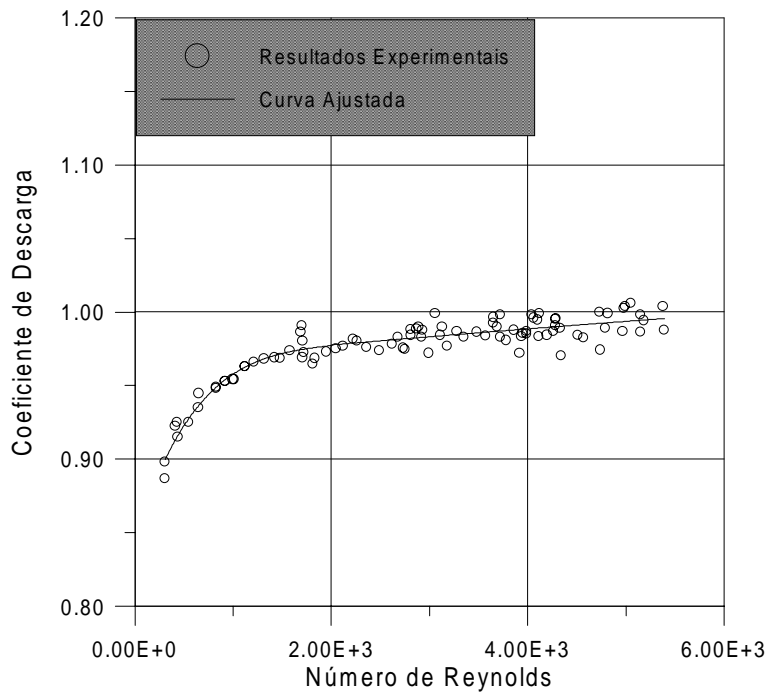


Figura-6 Coeficiente de descarga do tubo de Venturi com razão de diâmetros de 0.522

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é descrito um dispositivo de calibração de medidores para baixos valores de vazão. O efeito da compressibilidade do ar no interior do reservatório superior foi modelado e medidas adicionais devem ser feitas para considera-lo na correção da vazão de ar, determinada a partir da vazão de água que flui para o reservatório inferior.

Foi dada ênfase ao ponto de vista tecnológico, que foi sendo desenvolvido ao longo do trabalho. Detalhes importantes deste desenvolvimento foram descritos e tiveram papel relevante no aumento da precisão das medidas realizadas. Estes detalhes são relativos tanto à configuração do dispositivo de calibração quanto à metodologia usada para a obtenção de resultados experimentais.

O dispositivo que realiza medidas de vazão através do deslocamento de bolhas de sabão no interior de um tubo de vidro é conhecido na literatura, entretanto, o equipamento projetado para obter o intervalo de tempo utilizando-se diodo laser é uma originalidade do presente trabalho e produziu resultados muito bons, como a determinação do expoente do processo politrópico seguido pelo ar no interior do reservatório superior do dispositivo.

O próximo passo na melhoria deste trabalho é a realização de um estudo do comportamento dinâmico do sistema constituído pelo ar no interior do tubo e na parte de cima do reservatório superior. Este estudo deverá ser útil na melhoria da precisão dos resultados experimentais, principalmente para o caso de vazões maiores.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro utilizado na aquisição de equipamentos usados nesta pesquisa.

Ao Pesq. Carlos Guedes Neto, Eng. Luís Z. Lara, aos Tecs. Victor V. Betti e Mário Correa pelo apoio técnico, sem o qual este trabalho não poderia ter sido realizado.

7. REFERÊNCIAS

- Doebelin, E. O., 1983, Measurement Systems: Application and Design. *McGraw-Hill Book Company*, New York, USA.
- Kline, S. J. & McClintock, F. A., 1953 Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments. *Mechanical Engineering*.
- Holman, J.P., 1966, Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill Book Company.
- White, F.M., 1977, Fluid Mechanics, McGraw-Hill, USA.

IMPLEMENTATION OF A LOW FLOW RATE CALIBRATION DEVICE

Abstract. A device for calibrating equipments for low flow rate measurements (Venturi tube, orifice flowmeter), in a range between 0.4 and 5 l/s, is described in this work. Important details, relative to the device configuration and to the experimental technique, are presented and their impact on the experimental result precision is discussed. In order to access the accuracy of the device developed in this work, equipment for detecting the passage of a soap bubble, which is moving inside a glass tube, was developed. Two light diodes are used in this equipment, one emitter and the other receptor, and its functioning principle is based on the light reflection on the curved surface of the bubble. The calibration device was used to calibrate a Venturi tube and good results were obtained, mainly for the low values of flow rate. For the greater values, a scattering for the discharge coefficient was observed, indicating that additional improvements are still required.

Key-words: Low flow rate, Calibration device, Discharge coefficient, Instrumentation.