



Instrumento Virtual para Medição de Velocidade de Fluido com Sensor Termo-Resistivo

Renan Aguzzoli Travi, Amauri Oliveira

Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, renantravi@gmail.com, amari@ufba.br

Abstract: This paper present a virtual instrument (VI) for fluid flow measurement (Virtual Anemometer) based on a data acquisition board and LabVIEW. This VI uses the principle of electrical equivalence with a heated thermistor at a constant temperature. This is a low cost alternative to fluid flow measurement for these who has a data acquisition system.

Keywords: Instrumento Virtual, sensor termo-resistivo, Velocidade de fluido.

1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho, é apresentado um instrumento virtual (IV) para medição de velocidade de fluido (Anemômetro Virtual) no qual é utilizada uma placa de aquisição de dados que juntamente com o software LabVIEW. Este IV obtém a tensão de um sensor termo-resistivo e a temperatura do ar e, com posse desses dois valores estima a velocidade do ar.

O IV utiliza o princípio da equivalência elétrica [1] para estimar o valor da velocidade do fluido, i. e., o calor perdido pelo sensor termo-resistivo por convecção forçada, proveniente da velocidade do ar, é repostado por potência elétrica na forma de calor por um circuito realimentado. Este circuito consiste de uma ponte de Wheatstone e um amplificador operacional, em que um dos braços da ponte é o sensor termo-resistivo [2]. A tensão de saída da ponte é amplificada e realimentada para deixar a resistência e, por sua vez, temperatura do sensor constante (a saída do amplificador alimenta a ponte). Um aumento da velocidade do fluido causa uma maior perda de calor do sensor por convecção forçada, que tende a diminuir sua temperatura e aumentar sua resistência. Como consequência do sistema realimentado, é fornecida uma maior potência elétrica ao sensor, mantendo sua resistência e temperatura constante. No caso de um decréscimo de velocidade o oposto ocorre.

Nesta configuração, a tensão sobre o sensor depende, não apenas da velocidade do fluido, mas também de sua temperatura. Devido a isto, é necessário saber a temperatura do fluido para que se possa fazer a compensação desta grandeza, e obter o valor da velocidade.

No trabalho são mostrados os fundamentos e resultados experimentais.

Para aqueles que dispõem de um sistema de aquisição de dados, o IV apresentado é uma alternativa de baixo custo para medição de velocidade de escoamento de fluido.

Os anemômetros que usam o princípio da equivalência elétrica apresentam boa sensibilidade a baixas velocidades, podem ser utilizados para medição de velocidade média e turbulência e os sensores são de baixo custo.

O princípio utilizado no IV para medição de escoamento de fluido com compensação da temperatura de fluido, também pode ser implementado com microcontrolador gerando um instrumento dedicado de baixo custo.

2. FUNDAMENTOS

A resposta do sensor termo-resistivo submetido a uma potência elétrica no ar em movimento forçado, com velocidade v , segue a seguinte equação [3]:

$$P_e = h.S.(T_s - T_f) + m.c.\frac{\partial T_s}{\partial t} \quad (1)$$

Em que:

P_e	- Potência Elétrica;
$h.S.(T_s - T_f)$	- Energia perdida pelo sensor para meio;
h	- Coeficiente de transmissão de calor na superfície do sensor;
S	- Área da superfície do sensor (área da superfície de troca de calor);
T_s	- Temperatura do sensor;
T_f	- Temperatura do fluido;
$m.c.\frac{\partial T_s}{\partial t}$	- Variação da energia interna do sensor;
m	- massa do sensor;
c	- calor específico do sensor
t	- tempo
e ,	

$$h = a + b.v^n \quad (2)$$

Em que, v é a velocidade do fluido e a , b e n são constantes determinadas experimentalmente. Esta equação é conhecida como Lei de King modificada [2] e [4].

A resistência do sensor termo-resistivo utilizado, do tipo NTC, sofre uma variação em função da temperatura de forma exponencial, da por:

$$R_s = R_o \cdot e^{\beta \cdot (\frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_o})} \quad (3)$$

Em que, R_o é a resistência do sensor em uma temperatura de referência T_o .

Sabe-se que no equilíbrio térmico estático, para T_f e v constantes, a equação (1) pode ser reescrita como:

$$\frac{V^2}{R_s} = (a + b \cdot v^n) \cdot S \cdot (T_s - T_f) \quad (4)$$

Onde V é a tensão sobre o sensor termo-resistivo.

Esta equação, pode ser reescrita como:

$$V^2 = (A + B \cdot v^n) (T_s - T_f) \quad (5)$$

Em que $A = R_s \cdot a \cdot S$ e $B = R_s \cdot b \cdot S$

Então,

$$v = \left(\frac{V^2 / (T_s - T_f) - A}{B} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

A partir dos valores de V e T_f , o IV utiliza esta equação para estimar o valor da velocidade, v , do fluido. Existe outras alternativas para compensação da temperatura do fluido [5]-[8] mas a utilizada neste trabalho se mostra adequada para implementação em instrumento virtual e apresenta bons resultados.

3. INSTRUMENTO VIRTUAL

Conforme mencionado, IV para medição de velocidade de fluido (Anemômetro Virtual) apresentado neste trabalho utiliza uma placa de aquisição de dados conectada a um PC juntamente com o software LabVIEW. Este IV obtém a tensão de um sensor termo-resistivo e a temperatura do ar e, com posse desses dois valores estima a velocidade do ar (diagrama de blocos da figura 1). O painel do IV gerado pelo LabVIEW é mostrado na figura 2 e o diagrama de blocos correspondente ao painel é mostrado na figura 3.

O circuito realimentado que fornece potência elétrica ao sensor é apresentado no item a seguir. No presente trabalho o valor da temperatura do fluido foi obtido de um termômetro digital conectado ao PC via interface RS232. Este pode ser substituído por um sensor de temperatura, sendo necessário neste caso uma adaptação do diagrama de bloco do LabVIEW.

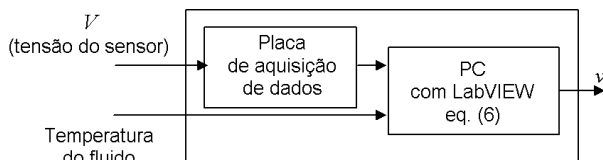


Figura 1. Representação do IV em diagrama de blocos.

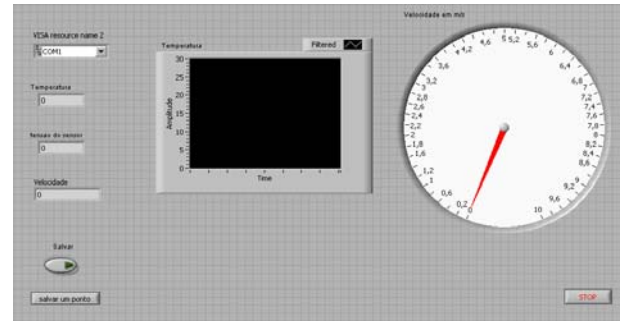


Figura 2. Painel frontal do IV gerado pelo Lab VIEW.

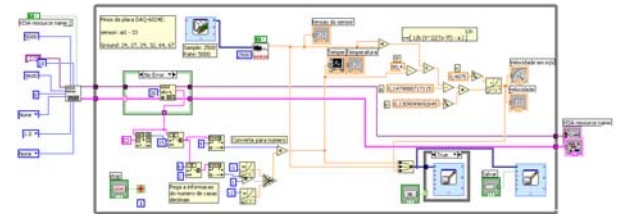


Figura 3. Diagrama de blocos correspondente ao painel frontal.

4. CIRCUITO COM SENSOR TERMO-RESISTIVO A TEMPERATURA CONSTANTE

Analisando o circuito da figura 4, tem-se:

$$V^+ = \frac{R_s \cdot (V_o)}{R_s + R_2} \quad (7)$$

$$V^- = \frac{R_3 \cdot (V_o)}{R_1 + R_3} \quad (8)$$

Considerando o AMPOP como ideal, para uma saída finita sem saturação, conclui-se que:

$$R_s = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1} \quad (9)$$

No trabalho atual R_1 e R_2 são resistores de $220 \, \Omega$, R_1 é de $180 \, \Omega$. Então a resistência do sensor termo-resistivo será também de $180 \, \Omega$ e sua temperatura de operação será de $80,4^\circ\text{C}$ (dados do sensor termo resistivo usado: termistor NTC, modelo 1K2A1 produzido pela BetaTherm Sensors $\beta = 3263 \, \text{k}$, $R_o = 1 \, \text{k}\Omega$ a uma temperatura $T_o = 25 \, ^\circ\text{C}$).

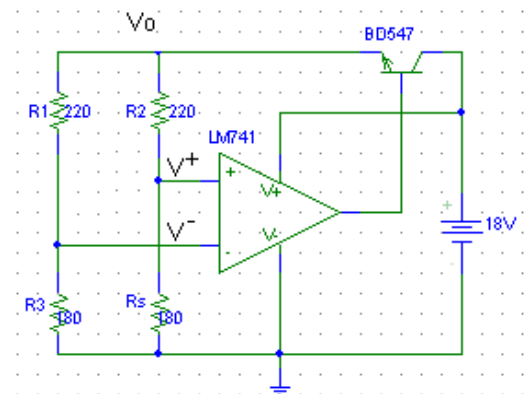


Figura 4: Esquemático do circuito do anemômetro

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os valores dos parâmetros A, B e n da eq. (5), para R_s e T_s constantes, foram determinados experimentalmente com a utilização de uma plataforma experimental representada na figura 5, constituída de uma estufa com temperatura controlada adaptada com um pequeno túnel de vento, gerando um ambiente com ajuste de velocidade e temperatura do fluido.

As curvas de tensão do sensor ao quadrado em função da velocidade para temperaturas próximas de 31,6 °C, 36,3 °C e 40,9 °C são mostradas na figura 6 (observação: o controlador não mantém a temperatura interna da estufa constante, mas sim em torno de um valor com pequena flutuação). Dos dados destas curvas foram gerado os dados da curva da figura 7, de tensão no sensor ao quadrado dividido pela diferença de temperatura entre o sensor e o fluido (ver equação (5)). Os valores dos parâmetros A, B e n são então calculados através da melhor curva que aproxima dos dados desta figura. Os valores encontrados são mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros da eq. (6) para $R_s = 180 \Omega$

n	0,4875
$R_s \cdot S.a = A$	0,14799
$R_s \cdot S.b = B$	0,13091

Na plataforma experimental o controle de temperatura é feito pelo controlador HW1440 representado por 2 (figura 5) e a velocidade é determinada no anemômetro de referência (6) (de marca BK PRECISION modelo 731 A) e a turbina (5) que gera deslocamento do ar entrando no túnel de vento na extremidade próxima ao sensor termo-resistivo (4).

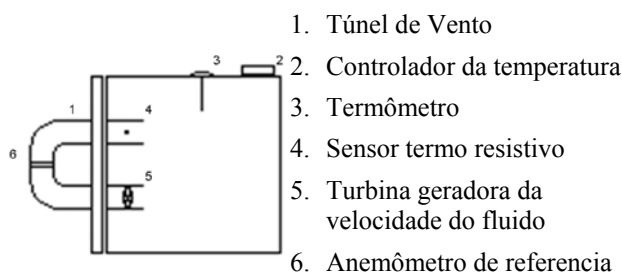


Figura 5: Representação da plataforma experimental onde os ensaios foram realizados

Como observado na eq. (6), e mencionado anteriormente, para a determinação da velocidade do fluido é necessário saber tanto a tensão no sensor termo-resistivo como a temperatura do fluido.

O IV projetado através do software LabVIEW, e utilizado, obtém a tensão no sensor através de uma placa de aquisição de dados e no mesmo instante recebe a temperatura do fluido de um termômetro (3 da figura 5) através de uma interface serial RS232. Com posse desses dois valores o IV estima a velocidade do fluido.

A placa de aquisição de dados utilizada no trabalho foi a PCI-6024E da National Instruments. O termômetro foi o Kiltter, com resolução de 0,01°C.

Na figura 8 é possível verificar os erro percentuais de fundo de escala (Erro(%)FS) esperados para o IV comparativamente com o anemômetro de referencia presente na plataforma, para todos os dados coletados.

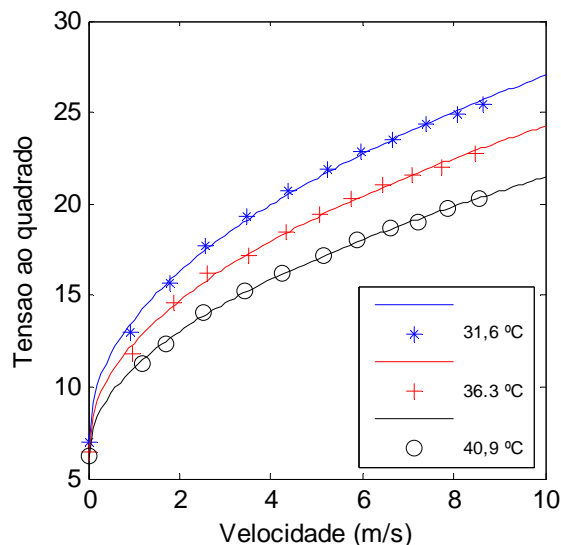


Figura 6: Curvas características do sensor para temperaturas praticamente constantes.

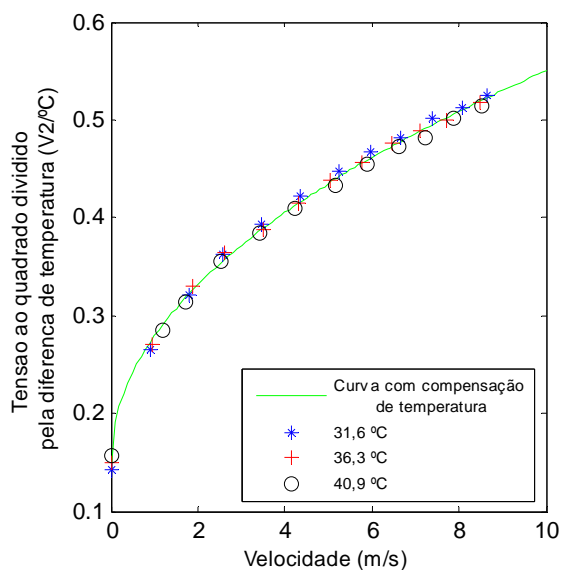


Figura 7: Curva característica do sensor com compensação de temperatura.

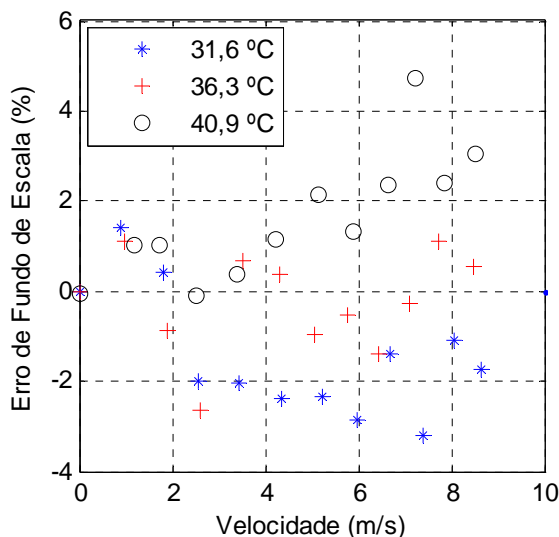


Figura 8: Erro (%) FS do IV.

6. CONCLUSÃO

Foi apresentada uma alternativa eficaz (boa sensibilidade para medição de baixas velocidades, medição de velocidade média e turbulência) e de baixo custo para a medição de velocidade de escoamento de fluidos. Este IV é ideal para a utilização em laboratórios que possuem uma forma de aquisição de dados.

O mesmo princípio pode ser implementado em um microcontrolador tornando possível a construção de um instrumento dedicado de baixo custo para utilização em campo. Neste caso para simplificar o processamento, o valor da tensão do sensor ao quadrado dividido pela diferença de temperatura pode apontar para uma posição de memória que contem o valor de velocidade.

Para implementação do princípio é necessário a determinação de parâmetros do sensor, ou utilizar um sensor com parâmetros conhecido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq(Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro no desenvolvimento do projeto que tornaram possíveis estas investigações.

REFERENCES

- [1] P. C. Lobo, G. S. Deep, R. C. S. Freire, J. S. Rocha Neto, A. M. N. Lima, Dynamic Response of an Electronic Feedback Thermoresistive Electrical Substitution Pyranometer, ASME-1995 Solar Engineering, *Conference Record*, V.2, p. 751-756.
- [2] C. G. Lomas, *Fundamental of hot wire anemometry*, New York: Cambridge University Press, 1986.
- [3] E. O. Doebelin, MEASUREMENT System Application and Design., Tokio: McGraw-Hill Kogakusha Ltda., 1976, cap. 7: flow Measurement, p. 435-499.
- [4] S. Wu, N. Bose, An extended power law model for the calibration of hot-wire/hot-film constant temperature probes, *Int. J. Heat Mass Transfer*, V.37, no 3, p.347-442, 1994.
- [5] R. P. C. Ferreira, R. C. S. Freire, G. S. Deep, J. S. Rocha Neto, A. Oliveira, Hot-Wire Anemometer With Temperature

Compensation Using Only One Sensor. *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, v.50, p.954 - 958, 2001.

- [6] H. Fujita, T. Ohhahi, M. Asakura, M. Yamada and K. Watanabe, "A Thermistor Anemometer for Low-Flow- Rate Measurement", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 44, no. 3, pp. 779-782, Jun. 1995.
- [7] K. Okamoto, T. Ohhashi, M. Asakura and K. Watanabe, "A Digital Anemometer", In: *Conference Proceedings*, IMTC93 - Instrumentation and Measurement Technology Conference, pp. 59-63, 1993.
- [8] L. Marques, G. Tomaszewski, A. T. Almeida, "Switched Thermal Anemometer", In: *Conference Proceedings*, I2MTC2008 - International Instrumentation and Measurement Technology Conference, p. 1783-1786, 2008.