

MEDIÇÃO DE VELOCIDADE DE FLUIDO UTILIZANDO TUBO DE PITOT

Agton Firmino da Silva Júnior¹

Anderson Inácio Junqueira Júnior²

RESUMO

O presente trabalho evidencia a construção de um dispositivo com característica digital e moderno, com a finalidade de aferir a velocidade de escoamento do fluido. Essa velocidade que será obtida, sendo uma das grandezas mais utilizada nas engenharias, pois é empregada para medir e estudar comportamentos dos fluidos. A velocidade de escoamento do fluido é determinada pelo tempo gasto para percorrer um metro, sendo sua unidade de medida m/s (metros por segundo). Na atualidade, há vários métodos de captação dessa grandeza, a metodologia utilizada no presente trabalho trata-se do Tubo de Pitot, consiste num tubo em formato de “L” inserido no sentido de escoamento, que converte velocidade em pressão, tendo pesquisas teóricas e práticas de renomadas obras no meio científico sobre seu princípio de funcionamento. O objetivo do projeto é construir um equipamento digital com baixo custo e, ao mesmo tempo, robusto que apresente resultado fiel nos seus comparativos. Os testes do equipamento foram realizados em tubulação com regime permanente que está disposta na instituição de ensino, onde esse equipamento foi confeccionado. Em relação aos cálculos realizados através de equações teóricas, o protótipo confeccionado apresentou bons resultados em comparação à ambos.

Palavras-chaves: Digital. Escoamento. Pressão.

¹Graduando em Engenharia Mecânica na Universidade de Rio Verde Campus Rio Verde – GO.

²Orientador, Mestre em Mecânica dos Sólidos.

1 INTRODUÇÃO

O trabalho apresentado é referente a construção de um dispositivo que utiliza os conceitos do Tubo de Pitot para obter a velocidade de escoamento do fluido, hoje, muito utilizado para obtenção da vazão em alguns setores em geral. Para a construção desse dispositivo, foi estudado o princípio de funcionamento do Tubo de Pitot e também o escoamento do fluido, com o objetivo da melhor captação da pressão dinâmica captada pelo sensor utilizado no projeto, que por sua vez, deve ser instalado na posição que o fluido escoar. Para o processamento dos dados da pressão e da equação de Bernoulli deduzida para o uso do Tubo de Pitot, usamos um microcontrolador, um dispositivo comum para este fim.

Segundo a pesquisa de Romero (2011), no ano de 1732, originou o estudo de Henri Pitot, contendo aparatos e experimentos de medição de velocidade de fluido, realizados no rio Sena (França). Até então, o instrumento que Pitot desenvolveu para aferir a velocidade do fluido não tinha um nome específico, somente após longas pesquisas e conclusões recentes feitas sobre o instrumento, desencadeou o nome do criador a invenção. Apenas no século XX, com a aerodinâmica, o instrumento desenvolveu a forma final conhecida na atualidade em aeronaves.

De acordo com Pinto (2006), os instrumentos de medição da velocidade de fluidos se enquadram como anemômetros que, atualmente, podem ser definidos em seis tipos, são eles:

1) Anemômetros Rotacionais: são aparelhos de simples princípios de funcionamento, se resume, basicamente, em uma hélice que gira na velocidade proporcional a do vento;

2) Anemômetros de Deflexão: um equipamento pioneiro na medição do vento, é constituído por uma chapa metálica, que possui uma ponta solta e outra presa ao um arco, assim, que o vento força a chapa, esta mostra a magnitude da velocidade do vento na marcação do arco;

3) Anemômetros Térmicos: são instrumentos de medição que utilizam a troca de calor para a dedução de grandezas dos fluidos;

4) Anemômetros a Laser: funcionam com a leitura da variação de frequência causada quando o fluido passa no cruzamento de feixes de raios laser, o qual emite, assim, faz-se uma associação com a velocidade do fluido;

5) Anemômetros Ultrassônicos: esses instrumentos emitem ondas sonoras em frequência ultrassônicas, acarretando uma magnitude da velocidade do fluido em relação do tempo que essa velocidade gasta para retornar ao transmissor; e

6) Anemômetros Tubos de Pressão: são aqueles que utilizam as diferenças de pressões entre os fluidos para medir suas velocidades. Esses dispositivos convertem energia cinética dos mesmos em energia potencial, sendo o princípio de funcionamento do Tubo de Pitot.

Nos anemômetros tubos de pressão, a conversão dessas energias (cinética e potencial) surgem quando o fluido é levado ao repouso, transformando energia cinética em aumento de pressão dentro do instrumento, que por sua vez, capta sua diferença de pressão entre o ponto escolhido (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

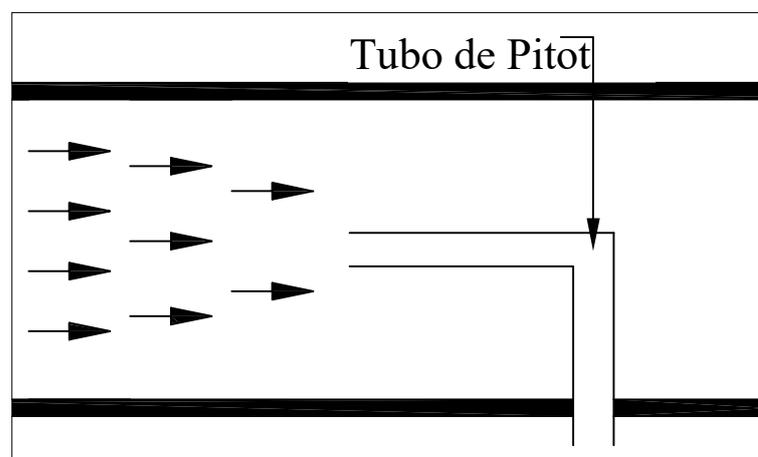
Para Fox, McDonald e Pritchard (2006), as pressões utilizadas surgem da dedução da equação de Bernoulli, sendo que a pressão estática envolve toda a partícula fluída em movimento. A pressão de estagnação se dá quando o fluido em escoamento é desacelerado até seu repouso, sem haver atrito.

Na conversão de energia cinética para pressão, ocorre choque contínuo das partículas que chegam na entrada do tubo, onde acarreta a variação de pressão para medição da velocidade. Sendo assim, é possível a obtenção da vazão do fluido, devido à característica do Tubo de Pitot, em formato de L, com ângulo reto sem curvas (BRUNETTI, 2008).

Há dois tipos de Tubos de Pressão, na atualidade, para medir a velocidade dos fluidos, que são:

1) Tubo de Pitot é o instrumento que realiza apenas medição da pressão de estagnação, definida pela soma das pressões estáticas e dinâmicas em determinado ponto na linha de corrente do fluido, como pode ser visto na Figura 1 (ÇENGEL; CIMBALA, 2008).

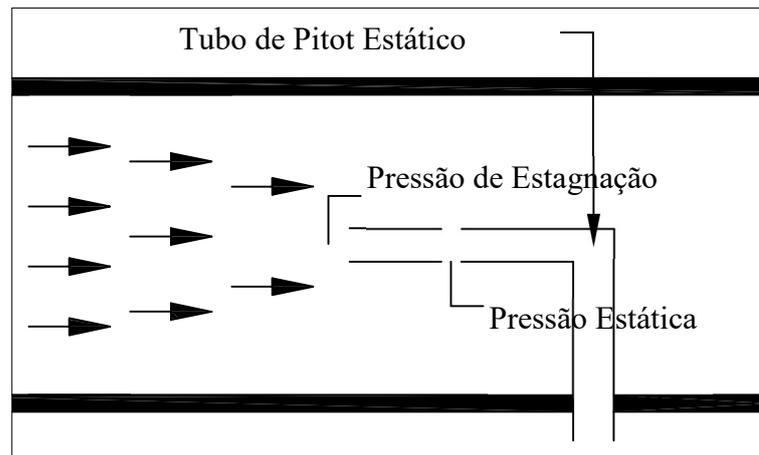
FIGURA 1 – Tubo de Pitot



Fonte Autor próprio (2016).

2) Tubo de Pitot Estático, de acordo com Pinto (2006), possui um tubo apontando diretamente na direção do sentido do fluido, composto por duas entradas, uma obtendo a pressão de estagnação e outra a pressão estática. Ambas são ligadas com o preenchimento do fluido, que varia seu nível, segundo a sua pressão dinâmica ilustrada na Figura 2.

FIGURA 2 – Tubo de Pitot Estático



Fonte: Autor próprio (2016).

Na aviação, Amorim (2013) descreve que o Tubo de Pitot deu origem a três instrumentos: Altímetro, Variômetro e Indicador de Velocidade. Esses instrumentos são resultados do Pitot Estático, basicamente, constituído pelo Tubo de Pitot e um Respirador Estático, um coletando a pressão dinâmica e outro a pressão estática.

É preciso ter cuidado na obtenção da pressão estática adequada, para que não haja conversão de energia em aumento de pressão no local de medição. Para isso, tem-se que ter uma certa perfeição na usinagem dos furos, para que não ocorra erro (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

O instrumento de medição é originado pela equação de Bernoulli, que Potter e Wiggert (2002), diz que essa equação é a relação aproximada das grandezas de pressão, velocidade e elevação, afirmando que a soma de suas energias de escoamento do fluido, cinética e potencial sejam constantes. Como pode ser vista a Equação (1) abaixo.

A equação, segundo Çengel e Cimbala (2007), foi obtida pela conservação do movimento da partícula, que se move na linha da corrente. Sendo possível também, ser obtida pela Primeira Lei da Termodinâmica quando aplicada no escoamento de regime permanente. A equação foi enunciada por Daniel Bernoulli (1700-1782) no texto escrito em 1738. Para ele, a equação pode ser vista no princípio da conservação da energia mecânica.

Pelas considerações de Fox, McDonald e Pritchard (2006), a equação de Bernoulli reduzida para o uso no Tubo de Pitot, possui restrições a serem seguidas, tais como: 1) Escoamento permanente; 2) Escoamento incompressível; 3) Escoamento sem atrito; e Escoamento ao longo de uma linha da corrente.

Nesse sentido, simplificando a equação de Bernoulli para o uso no Tubo de Pitot, conforme Fox, McDonald e Pritchard (2006), se resume na Equação (2) a seguir.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \gamma Z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \gamma Z_2 \quad (1)$$

$$V = \sqrt{2(P_1 - P_2) / \rho} \quad (2)$$

O objetivo geral é projetar e construir um equipamento de baixo custo e robusto para aferir a velocidade do fluido em tubulações, utilizando os conceitos do Tubo de Pitot.

Os objetivos específicos, deste trabalho, consistem em:

- 1) Utilizar sensor de piezo-resistências para leitura da pressão dinâmica do fluido;
- 2) Utilizar um microcontrolador de baixo custo para processamento de picos de corrente elétrica em dados, que são emitidos através do sensor de piezo-resistências;
- 3) Apresentar leituras realizadas através de um display de LCD, conectado ao microcontrolador, para que não haja necessidade de um computador para coleta de dados feitos por meio do sensor e do microcontrolador, conseqüentemente, reduzindo custos;
- 4) Utilizar uma bancada disposta na universidade, contendo tubulação, bomba e reservatório, para os testes do equipamento desenvolvido; e
- 5) Conferir a integridade dos dados emitidos com os valores reais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentados os materiais e métodos, sendo utilizados para a construção do dispositivo que medirá a velocidade do fluido. Esse dispositivo foi testado e montado na bancada de tubulação disposta na instituição.

2.1 SENSOR DE PRESSÃO

Os sensores utilizados no microcontrolador são denominadas piezo-resistências. A sua propriedade básica se caracteriza como dependência da resistividade elétrica com comparativo a deformação mecânica e os materiais mais utilizados na composição desses equipamentos são o silício e o germânio, os quais possuem coeficiente de variação de resistência elétrica negativo. São usados em uma gama muito grande de dispositivos, como microfones, sensor de força e pressão, airbags, em detectores de aceleração e sensores de fluxos de fluidos (ROCHA, 2003).

Será utilizado um sensor da Motorola, modelo MPX5700dp ou MPX5100dp (Figura 3), porém esse sensor não foi definido, pois a obtenção do produto vai ser levado em consideração a disponibilidade da oferta do produto na região, além também, o custo do equipamento.

Para Rocha (2003), ambos os sensores, utilizam o piezo-resistência no seu princípio de funcionamento e conseguem trabalhar, medindo pressão em uma faixa de temperatura de 0 a 85°C, emitindo tensão variada de 0,2 a 3,8 volts. Cada sensor é constituído por 6 pinos, onde apenas 3 são usados para conectar-se no microcontrolador entre os utilizados. O primeiro pino possui um chanfro para sua identificação e determinação da saída do transdutor, que por sua vez, libera corrente elétrica linear proporcional a pressão captada na entrada, sendo a única porta analógica. Os outros 2 pinos ao lado, são para alimentação do dispositivo, sendo o pino 2 o GND (terra), e pino 3 VCC (positivo). O dispositivo apresenta dois canais de medição, para várias utilidades, a primeira entrada (que será utilizado), medindo apenas pressão positiva e o segundo pressão negativa (vácuo).

As portas de saída analógicas emitem variação de corrente elétrica, gerando valores que são captados pelo Arduino, onde faz uma conversão para leitura digital, transformando através de comparativos e pela linguagem do dispositivo em dados para apresentação dos valores (JUNQUEIRA JÚNIOR, 2016).

FIGURA 3 – Sensor MPX5100dp



Fonte: Rocha (2003).

2.2 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador adotado é o Arduino, modelo UNO (Figura 4), constituído por um microprocessador da Atmel, modelo ATMEGA 328 de 8 bits, que necessita de uma fonte de alimentação ideal de 7 a 12 V para seu funcionamento. Seu *hardware* oferece completo controle de sua plataforma para o usuário. Também apresenta uma interface que possibilita comunicação com diversos dispositivos. As propriedades do equipamento possuem 32 KB de memória *flash*, que são divididos em, 512 *bytes* para o *bootloader*, 2 KB de RAM (*Random Access Memory*) e 1KB para o EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*), a placa opera em 16HZ (ALVIM; MARCO, 2016).

EEPROM é um tipo de memória que armazena termos grandes para realização de sua programação do dispositivo, sendo essencial para o funcionamento da programação desejada no microcontrolador (JUNQUEIRA JÚNIOR, 2016).

RAM é a memória, onde fica armazenada as instruções para a realização da tal programação desejada pelo usuário, com a característica a volatilidade, sendo um meio de funcionamento básico do microcontrolador, pois quando o dispositivo e desligado perde toda a instrução da programação, e retorna quando é religado (ROCHA, 2003).

FIGURA 4 – Arduino Uno



Fonte: Autor próprio (2016).

Esse dispositivo é uma placa *hardware open source*, permitindo criação de vários equipamentos, que podem ser acoplados em sensores de temperatura, pressão, entre outros, onde ocorre, em seguida, um processamento de programa criado, e podendo sair com interpretações de dados ou até mesmo acionamento de motores ou LEDs. O microcontrolador

citado ganha mercado pelo baixo custo e por possuir a plataforma de desenvolvimento de programas de acesso público e gratuito. O modelo uno apresenta 6 portas analógicas e 13 portas digitais (SOUZA et al., 2011).

Para a comunicação do computador com o microcontrolador, utiliza-se o conector USB, com isso, disponibiliza a transferência de dados entre os componentes. Esses dados podem conter a interface do programa desejado pelo usuário e também leituras de sensores, podendo servir de fonte de alimentação. A programação para o Arduino é feita no *software* Arduino 1.0.6, tendo como função de conversão o algoritmo do programa para linguagem C++ para o dispositivo (JUNQUEIRA JÚNIOR, 2016).

Para o projeto, o microcontrolador irá realizar a interpretação da pressão que o sensor emitir dentro do tubo similar ao Tubo de Pitot, em seguida, executa o cálculo da equação de Bernoulli simplificada, logo após, demonstrando no display LCD o valor da velocidade do fluido no sistema.

2.3 DISPLAY LCD 16X2

Se caracteriza como uma tela de LCD (*Liquid Cristal Display*), que reproduz dados ou texto com no máximo de 32 caracteres, sua formação 16x2 se traduz em 2 linhas constituídas em cada linha 16 colunas. É um equipamento muito versátil, possuindo uma interface simples, que se comunica com quase todos microcontroladores disponíveis no mercado atual. Para facilitar a leitura de dados em ambientes noturnos, a tela de LCD é constituída por uma iluminação própria que pode ser regulada pelo usuário (NUNES, 2013).

Nesse prisma, deve-se ressaltar que cada coluna das linhas possui 40 matrizes, sendo os pixels. Essas matrizes são constituídas por 8 linhas e 5 colunas. O princípio de funcionamento ocorre pelo desalinhamento dos pixels quando há passagem de corrente elétrica, com isso, bloqueia a passagem de luz emitida pelos Leds, que está disposto atrás de cada coluna. Os Leds são compostos por cristal líquido transparente e, na ausência de corrente elétrica, ficam alinhados (MARGOLIS, 2011).

A Figura 5 demonstra o display de LCD que será utilizado no presente trabalho.

FIGURA 5 – Display de Lcd



Fonte: Autor próprio (2016).

A Figura 6 ilustra o suporte para o sensor. Os componentes foram adaptados para a bancada de teste, onde o equipamento está localizado. O suporte também possui a finalidade de converter a velocidade do fluido em pressão de estagnação, o formato do suporte imita previamente o Tubo de Pitot, assim, há a maior aproximação nos resultados obtidos.

Assim, o suporte para fixação do sensor de pressão é constituído por: 1) Flange rosqueável com diâmetro nominal de 1” (polegada) material de PVC; 2) Tê com diâmetro nominal de 1” (polegada) material de PVC; 3) Curva de 90° com diâmetro nominal de 1” (polegada) material de PVC; 4) Cape com diâmetro nominal de 1” (polegada) material de PVC; 5) Tubo de cobre 3/8” com espessura de 2 mm, comprimento de 50 mm; e 6) Termoplástico de silicone transparente.

FIGURA 6 – Suporte



Fonte: Autor próprio (2016).

Foi confeccionado uma caixa de acrílico para alojar o Arduino, a fim de proteger e melhorar a locomoção do equipamento (Figura 7).

FIGURA 7 – Caixa de acrílico



Fonte: Autor próprio (2016).

Por meio da fundamentação teórica sobre o estudo do Tubo de Pitot e com os materiais adquiridos, foi necessário à estruturação da linguagem de programação para o microcontrolador Arduino possa realizar a comunicação do sensor e, posteriormente, a realização do cálculo da Equação (2), a fim de obter a velocidade de escoamento do fluido. A ligação dos componentes microcontrolador e sensor foi confeccionado com cabo condutor composto por três fios.

Logo após, foi realizado a comunicação do microcontrolador com o display para apresentação do dado obtido. Desse modo, a intenção do uso do display visa a utilização do aparato em caso de ausência de um computador para a coleta de resultados obtidos pelo conjunto.

O dispositivo valida o resultado a cada um segundo, assim, é possível identificar em tempo real a variação no escoamento do fluido.

Para a aferição da velocidade do fluido na saída da bancada, utilizamos a balança digital e um cronômetro do computador com todo aparato conectado, por sua vez, medimos a vazão dessa balança, em seguida, obtemos por meio de cálculos a velocidade de escoamento, que logo, comparamos com a do equipamento desenvolvido.

Todos os testes foram realizados no dia 23 de setembro de 2016, onde a temperatura do fluido em teste esteve constante à 26 °C aferida pelo termômetro. É importante encontrar variações de dados obtidos com interferência entre aumento de temperatura nos testes

realizados. Para mensurar a temperatura, foi utilizado um termômetro infravermelho da MINIPA, modelo MT 320, possui uma faixa de medição entre -20°C a 400°C com erro aproximado de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (MINIPA, 2013).

Nesse diapasão, sabe-se que a massa específica da água à 26°C é $\rho=996,86\text{ kg/m}^3$, portanto, o volume de um litro de água apresenta uma massa de 0,99686 Kg. Para aferir tal veracidade, foi necessário mensurar a massa da água, utilizando uma balança de precisão, assim, a balança digital da fabricante Marte, modelo AD5002, foi utilizada com erro máximo $\pm 0,1\text{ g}$, resolução de 0,01 g, faixa nominal 0 a 5010 g.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos pelo aparato construído. A Tabela 1 demonstra os resultados encontrados pelo teste manual citado. Já a Tabela 2, o resultado do projeto.

TABELA 1 – Dados referentes a bancada

Dados encontrados na Bancada							
	Peso (Kg)	Recipiente (Kg)	Volume (l)	Tempo (s)	Vazão (l/s)	Área (m²)	Vel. (m/s)
TESTE 1	3,77	0,14	3.62	9,90	0.3667	0,00049087	0.7446
TESTE 2	3,57	0,15	3.41	9,34	0.3662	0,00049087	0.7436
TESTE 3	3,67	0,15	3.51	9,43	0.3733	0,00049087	0.7580
TESTE 4	3,70	0,14	3.55	9,87	0.3607	0,00049087	0.7324
TESTE 5	3,60	0,15	3.44	9,40	0.3670	0,00049087	0.7454
MÉDIA	3,66	0,15	3.51	9,59	0.3668	0,00049087	0.7448

Fonte: Autor próprio (2016).

TABELA 2 – Dados referente ao equipamento

Dados do Equipamento	
TESTE	Velocidade (m/s)
1	0.7480
2	0.7480
3	0.7480
4	0.7480
5	0.7480
MÉDIA	0.7480

Fonte: Autor próprio (2016).

Conforme as Tabelas 1 e 2, o equipamento construído apresentou resultados próximos aos calculados. O erro identificado entre calculado foi de 0,0032 m/s (correspondendo a 0,4296 %) a menos que o equipamento construído.

Encontramos dificuldade de obtenção dos dados apresentados, devido à leitura do sensor em relação à pressão de estagnação, pois necessita que haja total conversão da velocidade. Ademais, tivemos dificuldade também na pesagem do fluido, a fim de que haja fidelidade na coleta sem erros.

A Tabela 3 apresenta o custo do equipamento desenvolvido como os gastos à confecção desse equipamento. Nesse passo, são apresentados os custos de cada componente utilizado, no entanto, não foram computados custos de desenvolvimento do projeto, porque é necessário realizar estudos complexos para estimar valores, pois todas as etapas descritas no presente trabalho, levaram mais de ano para ser realizadas.

TABELA 3 – Dados referente ao custo da confecção do dispositivo

CUSTO DO DISPOSITIVO	
	PREÇO (\$)
ARDUINO	23
LCD	9
ACRILICO	20
ACESSORIOS	35
SENSOR	29
TOTAL	116

Fonte: Autor próprio (2016).

4 CONCLUSÃO

Diante aos resultados apresentados, o dispositivo confeccionado atendeu todos os objetivos como o baixo custo demonstrado na Tabela 3. Deve-se ressaltar que para atingir esses resultados, todos os equipamentos descritos foram utilizados no objetivo específico.

Nesse contexto, o dispositivo foi fiel aos resultados obtidos e possui facilidade de interpretação dos dados sem o auxílio de computador, demonstrando também uma versatilidade para aferir a velocidade de escoamento do fluido.

Além disso, o dispositivo mostrou ser confiável em comparação a dados obtidos nos testes realizados (Tabelas 1 e 2) como notado o erro do equipamento foi mínimo, sendo 0,0032

m/s (correspondendo a 0,4296 %) a mais que o calculado. Com o resultado demonstrado, portanto, os conceitos do Tubo de Pitot foram bem empregados na confecção do dispositivo.

MEASUREMENT OF FLUID SPEED USING PIPE DE PITOT

ABSTRACT

The present work evidences the construction of a device with digital and modern characteristic, with the purpose to survey the speed of draining of the fluid. This speed will be obtained, one of the most used magnitudes in engineering because it's used to measure and analyze behaviors of fluids. The rate of flow is determined by the time taken to go one meter and it's unit of measurement m/s (meters per second). Currently, there are several methods of funding of this magnitude, the methodology used in this work it's the Pitot Tube, consists of a pipe in format of "inserted L" in the draining direction, that converts speed into pressure, having theoretical and practical research of famous workmanships in the scientific way on its principle of functioning. The objective of the project is to construct a digital equipment with low cost and, at the same time, to present robust results in it's true comparative. equipment tests were performed in pipe with steady state that is willing the educational institution, where this equipment was made. In relation to the calculations performed using theoretical equations, the prototype made exhibited good results in comparison with both.

Keywords: Digital. Flow. Pressure.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, G. P.; MARCO, P. D. C. D. *Projeto e construção de uma estação meteorológica aplicada a uma embarcação teleoperada*. 2016. p. 131. Monografia (Graduação em Engenharia Eletricista) - Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2016.
- AMORIM, B. H. S. *Estudo de Desempenho do planador Astir 3 Clase Standard pelo método de colocação a partir da teoria da linha de sustentação de Prandtl*. 2013. 113p. Projeto (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2013.
- BRUNETTI, F. *Mecânica dos Fluidos*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, v. 1, 2008.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. *Mecânica dos fluidos*. Rio de Janeiro: MCGRAW-HILL Brasil, v. 1, 2008.
- FOX, R. W.; McDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. *Introdução a mecânica dos fluidos*. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Tecnicos e Científicos Editora S. A., v. 1, 2006.
- JUNQUEIRA JÚNIOR, A. I. *Projeto, construção e validação de um equipamento para separar partículas de desgaste em lubrificantes*. 2016. p.148. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2016.
- MARGOLIS, Michael. *Arduino cookbook*. "O'Reilly Media, Inc.", 2011.
- MINIPA. Minipa do Brasil LTDA. *Minipa*. 2013. ISSN ISBN. Disponível em: <<https://www.minipa.com.br/Content/Manuais/MT-320-1100-BR.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2016.
- MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. *Fundamentos da mecânica dos fluidos*. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, v. 1, 2004.
- NUNES, F. V. *Desenvolvimento de sistema de segurança utilizando microcontrolador PIC18F4550*. 2013. p. 46. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.
- PINTO, M. S. S. *Especificações de projeto para medição de velocidade de vento utilizando anemômetro ultra-sônico com método de diferença de fase*. 2006. p. 70. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2006.
- POTTER, M. C.; WIGGERT, D. C. *Mecânica dos fluidos*. 3. ed. México: Thomson, v. 1, 2002.
- ROCHA, R. M. D. S. *Implementação de um tensiômetro digital utilizando microcontrolador dedicado*, 2003. p. 68. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

ROMERO, J. V. F. *Estudo experimental de sondas direcional para determinação da velocidade de escoamento do ar*. 2011. p. 169. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SOUZA, A. R. D. et al. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 1-3, março, 2011.