

## **DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS EM SISTEMAS DE ESCOAMENTO**

Arthur Vinicius Ribeiro de Freitas Azevedo; Rodrigo Ernesto Andrade Silva; Allan Giuseppe de Araújo Caldas; Júlio César Coelho Barbosa Torquato; Allysson Macário de Araújo Caldas; Cristiano Miranda Correia Lima.

Instituto Federal da Paraíba – IFPB – Campus João Pessoa-arthurviniciusief@gmail.com

**Resumo:** O presente trabalho a partir de um estudo teórico experimental propõe o desenvolvimento de software de monitoramento em tempo real de propriedades termodinâmicas em sistemas de escoamento. Trata – se de um software que está integrado a bancada experimental pelo módulo Bluetooth. As propriedades termodinâmicas indicadas pelo software provêm de correlações matemáticas baseado no estudo teórico e experimental acerca da grandeza vazão que para a pesquisa está vinculada a tensão bem como a densidade/massa específica que está vinculada a temperatura. A bancada experimental que deu suporte ao presente trabalho foi desenvolvida nas instalações do Laboratório de Física do Instituto Federal da Paraíba – Campus João Pessoa e simula escoamento em sistemas hidráulicos. Este estudo visa descrever todos os aspectos que culminou o fim do propósito do trabalho evidenciando sua construção, seu funcionamento e como consequência analisar todos os aspectos encontrados ao longo dessa pesquisa para a obtenção do objetivo do presente trabalho.

**Palavras-chave:** Software, propriedades termodinâmicas, sistema de escoamento.

### **INTRODUÇÃO**

Na era da internet, os Softwares Científicos são não somente o instrumento para a geração de resultados, mas também cruciais para a maior parte das pesquisas recentes (Maxville, 2009). A maioria dos cientistas, entretanto, aprende o que sabe sobre desenvolvimento de software informalmente, e esta informalidade normalmente gera um caráter aleatório aos produtos finais de software, dificultando o seu reuso e a sua interoperabilidade.

Dentro deste tema, uma questão que tem merecido a atenção dos pesquisadores é o estudo do processo de desenvolvimento de Software Científico de natureza acadêmica por diversas razões. Uma delas é a existência de diversos modelos de processos para a construção de softwares, porém, dedicados a softwares convencionais. Outros tipos de software, como os criados por pesquisadores para serem utilizados em suas pesquisas, objeto deste trabalho, podem possuir particularidades e preocupações aparentemente diferentes dos sistemas convencionais e comerciais.

Face ao exposto, o presente trabalho visa desenvolver um software de monitoramento capaz de mostrar em tempo real propriedades termodinâmicas (vazão volumétrica, temperatura, densidade) de escoamento de um fluido em um sistema hidráulico.

## **METODOLOGIA**

Das operações realizadas em processos industriais uma das mais importantes é efetuar a medição e o controle da quantidade de fluxo de fluídos (líquidos, gases) e até sólidos granulados, não só para fins contábeis, como também para a verificação do rendimento do processo. No mercado estão disponíveis diversas tecnologias de medição de vazão cada uma tendo sua aplicação mais adequada conforme as condições impostas pelo processo.

Inicialmente foram adquiridos os materiais para construção da bancada experimental. Ela consta um sistema hidráulico com tubulação de 20 mm em que será toda em PVC a escolha desse material foi feita devido à facilidade no manuseio, custo e por referido material possui características plena para trabalhar com o fluido explicitado.

O reservatório do presente trabalho será um recipiente reciclado de PVC na cor branca de 25L. Na pesquisa foi destinado a armazenar água, mas em pesquisas seguintes fluidos distintos, a maior parte dos recipientes de armazenamento são construídos ou adquiridos de acordo com os requisitos definidos e suas necessidades, estes recipientes podem ter dimensões variadas, são instalados com a finalidade de suprir o circuito hidráulico caso ocorra ausência de fluido na bomba.



**Figura 1** – (a) Tubulação-1/2 (20mm)



**(b) Figura 2** Reservatório 25l

A bomba utilizada no presente trabalho é um Micro Diaphragm Pump da marca Propumps que possui as seguintes características; 12v de tensão, 80W de potência. Ela pode ser alimentada diretamente por um painel solar com potência de 80w a 100w, por bateria 12v ou fonte de alimentação 12v. Bombeia até 5,5 litros por minuto ou 330 litros por hora a uma altura de até 40 metros de altura, proporcionando uma economia considerável de energia se comparada com as bombas d'água convencionais.

O sensor de fluxo de água YF-S201 consiste de uma carcaça plástica, um rotor e um sensor de efeito Hall. Conforme o fluxo de água passa pela câmara de água do sensor, faz movimentar as pás acopladas ao rotor. A medida com que a vazão de água aumenta, a velocidade com que o rotor gira aumenta proporcionalmente. O sensor de efeito Hall detecta quando o rotor com as pás completa um giro. Assim que essa volta completa é detectada, o sensor de efeito Hall envia um pulso de 5V no cabo de saída do sensor.



**Figura 2** – (a) Bomba Micro Diaphragm Pump

(b) Medidor de fluxo.

O sensor de temperatura digital DS18B20 a Prova D'água permiti fazer medições em ambientes úmidos e molhados com apenas uma interface de um só fio. Sendo capaz de medir em graus Celsius, com resolução de 9-bit a 12-bit (configurável) e possui uma função de alarme programável em memória não volátil para valores abaixo ou acima das temperaturas desejadas. A comunicação é feita por One-Wire (um fio), ou seja, precisa apenas de um pino do microcontrolador para transferir os dados.

Ebulidor elétrico é qualquer dispositivo com uma resistência elétrica capaz de aquecer a água até à ebulição de corpo em alumínio com resistência blindada feita em alumínio com cabo de PVC resistente a alta temperatura.



**Figura 3–** (a) *Sensor de Temperatura*



(b) *Ebulidor*

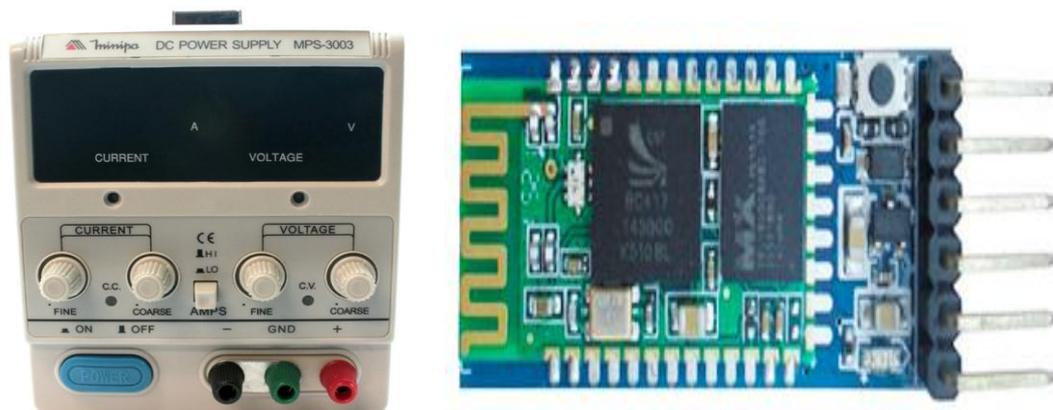
O Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. Pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software. A placa do Arduino presente na seguinte pesquisa foi a Uno. Ela utiliza um Atmega8U2, programado como um conversor USB para serial. Isso confere à placa muitas vantagens quando comparada à sua predecessora, a Duemilanove. Primeiro, o chip Atmega é muito mais barato que o chip FTDI, diminuindo o preço das placas. Segundo, e mais importante, ele permite que o chip USB tenha seu firmware atualizado, para que o Arduino seja exibido em seu PC como outro dispositivo, tal como um mouse ou joystick de jogos.



**Figura 4–** *Arduíno*

A fonte de alimentação DC reguladas da Minipa foi projetada visando suprir as necessidades mais frequentes de laboratórios de pesquisa e desenvolvimento, escolas, centros de manutenção e linhas de produção. A tensão de saída pode ser ajustada de 0 até o limite nominal de tensão, assim como a corrente de saída. As fontes são variáveis e simples com uma única saída sendo a MPS-3003 para corrente de saída até 3A e a fonte MPS-3005 para corrente até 5A.

O módulo Bluetooth HC-05 é ideal para todo tipo de projetos em que seja necessária uma conexão sem fio confiável e simples de utilizar. É configurado por comando AT e tem a possibilidade de funcionar tanto em modo mestre como escravo. Com isso é possível que pode conectar dois módulos juntos, conectar um robô a um celular ou criar uma pequena rede de sensores intercomunicados com um mestre e vários escravos. Este módulo pode ser alimentado na faixa de 3,3 a 6V.



**Figura 5 - (a) Fonte Estabilizada (b) Módulo Bluetooth**

A bancada a ser construída consiste de uma base feita de madeira reciclável, tal base dá sustentação tanto ao reservatório (25 litros) quanto a bomba; conseqüentemente todo o circuito hidráulico.



**Figura 6** – *Base/Reservatório*

Para montagem da parte hidráulica foram necessários os seguintes materiais: Tubulação em PVC no diâmetro 20 mm; 3 Flanges  $\frac{1}{2}$ ; Adaptador  $\frac{1}{2}$  Com Rosca Macho Para Mangueira 5/16; União de  $\frac{1}{2}$ ; 4 Curva de  $\frac{1}{2}$ ; 4 luvas de  $\frac{1}{2}$ ; o Registro de  $\frac{1}{2}$ .



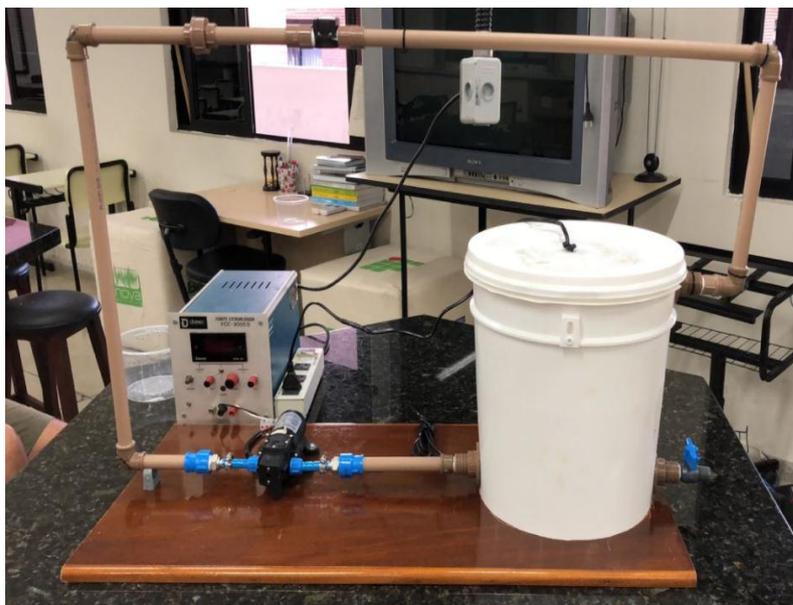
**Figura 7** – *Materiais parte Hidráulica*

O passo seguinte foi montar a bomba para receber o circuito hidráulico. Em cada saída da mesma introduziu – se Adaptadores de  $\frac{1}{2}$ . Com Rosca Macha Para Mangueira 5/16; cada adaptador foi devidamente colocado com devidos cuidados visando o não vazamento do fluído de trabalho a ser estudado na presente pesquisa.

Por fim, foi introduzido ao circuito hidráulico os equipamentos eletrônicos (medidor de fluxo, sensor de temperatura, arduino, aquecedor, módulo bluetooth) que foram testados e ligados a fonte estabilizadora como pode ser visto na figura.

## RESULTADOS E DISCURSSÃO

Começa – se por apresentar a bancada já montada com todos os equipamentos eletrônicos devidamente testados e em perfeito funcionamento (figura 8).



**Figura 8** – *Bancada Experimental*

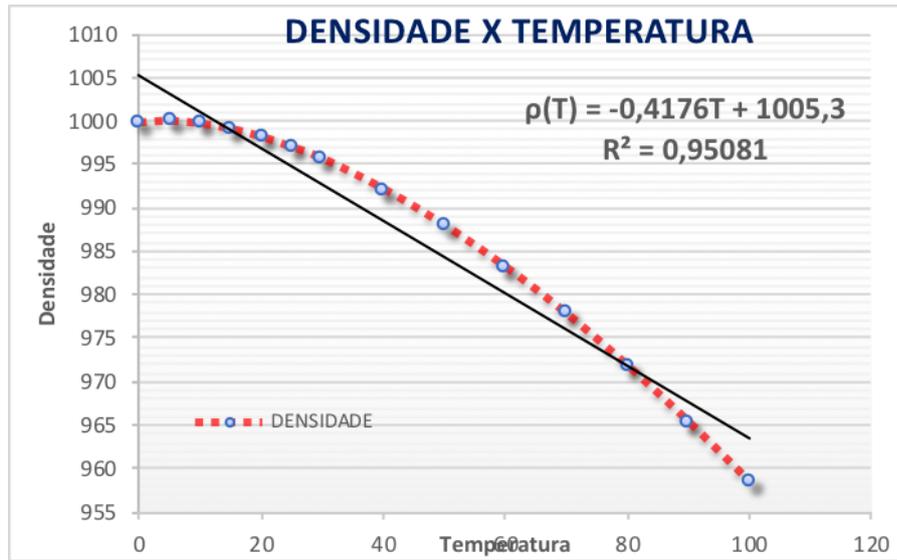
Como já mencionado, o fluído de trabalho a ser analisado é a água e para tal foi feito um levantamento de algumas propriedades físicas fato observado na tabela 1.

**Tabela 1** – *Propriedades Físicas da Água à pressão atmosférica.*

TEMPERATURA (°C)	DENSIDADE (kg/m <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO (N/m <sup>3</sup> )	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m <sup>2</sup> /s)	TENSÃO SUPERFICIAL (N/m)
0	999,8	9.805	1,785x10-6	0,0756
5	1.000,00	9.807	1,519x10-6	0,0749
10	999,7	9.804	1,306x10-6	0,0742
15	999,1	9.798	1,139x10-6	0,0735
20	998,2	9.789	1,003x10-6	0,0728
25	997	9.777	0,893x10-6	0,072
30	995,7	9.764	0,800x10-6	0,0712
40	992,2	9.730	0,658x10-6	0,0696
50	988	9.689	0,553x10-6	0,0679
60	983,2	9.642	0,474x10-6	0,0662
70	977,8	9.589	0,413x10-6	0,0644
80	971,8	9.530	0,364x10-6	0,0626
90	965,3	9.466	0,326x10-6	0,0608
100	958,4	9.399	0,294x10-6	0,0589

Fonte: <http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=propriedades-agua2.pdf>

A partir das propriedades da tabela foi levantada uma curva característica da densidade versus temperatura cuja finalidade é encontrar uma correlação matemática para inserir no aplicativo de monitoramento em tempo real das propriedades a serem analisadas na presente pesquisa.



**Figura 9** – Gráfico *Densidade x Temperatura*

$$\rho(T) = -0,4176T + 1005,3$$

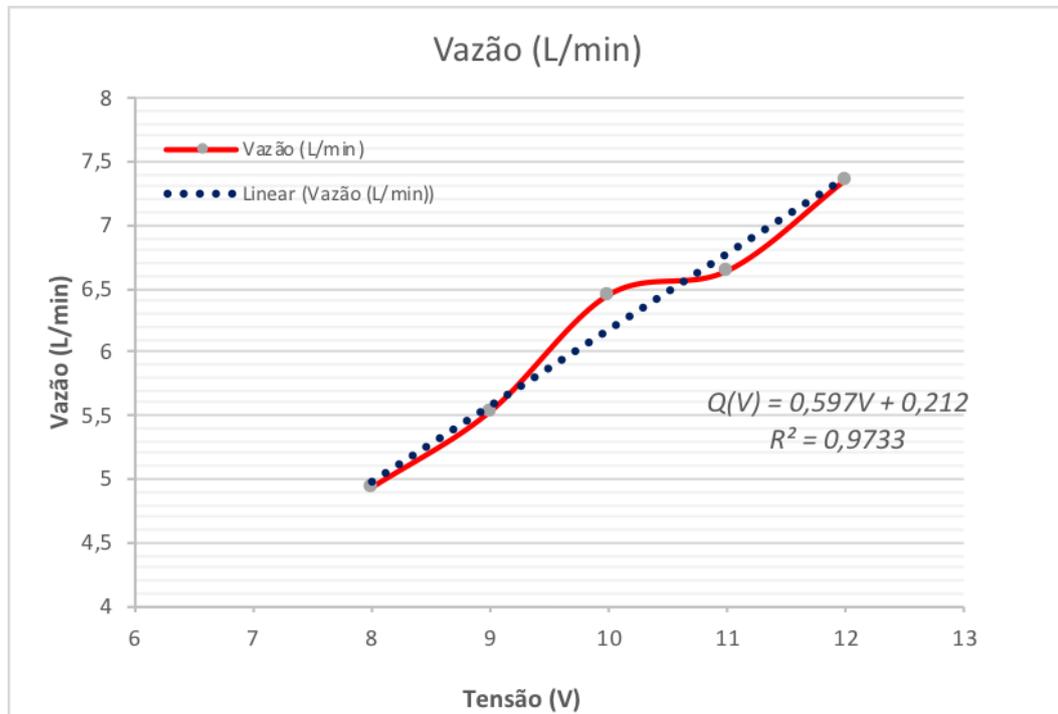
**1.0**

A equação mostra um coeficiente de determinação, também chamado de  $R^2$ , que é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, como a regressão linear, em relação aos valores observados com um número muito próximo de 1 (0,95081) e quanto maior o  $R^2$ , mais explicativo é o modelo, melhor ele se ajusta à amostra.

**Tabela 2** – *Relação Tensão/Vazão volumétrica*

Tensão (V)	Vazão (L/min)
8	4,93
9	5,53
10	6,45
11	6,64
12	7,36

Como mostra a tabela 2, a tensão foi variada num range de 8 a 12 volts tais resultados foram utilizados para obtenção da curva vazão volumétrica versus tensão.

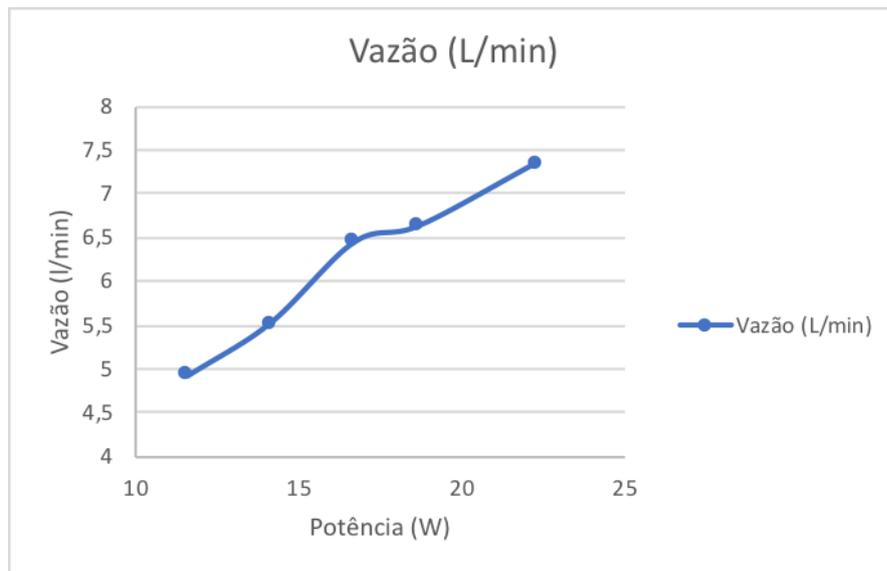


**Figura 10** – Curva Vazão x Tensão.

O comportamento gráfico analisado na figura 10 reflete o que diz a literatura acerca da relação vazão x tensão em medidores de fluxo do tipo turbina ou seja, aumentando a tensão aumenta – se a vazão e vice versa. A fonte estabilizadora utilizada fornece em seu display a corrente relacionada a cada valor de tensão, com esses dados e diante da equação 1.0 foi possível montar as tabelas 3 bem como traçar a curva que relaciona a vazão versus potência.

**Tabela 3** – Relação Tensão/Corrente

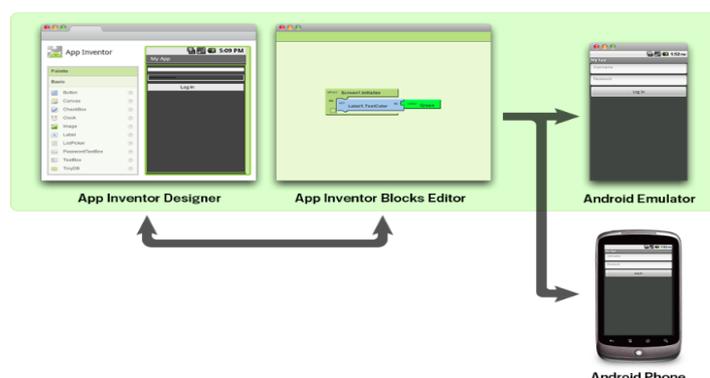
<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (A)</b>
<b>8</b>	<b>1,45</b>
<b>9</b>	<b>1,57</b>
<b>10</b>	<b>1,67</b>
<b>11</b>	<b>1,7</b>
<b>12</b>	<b>1,86</b>



*Figura 11 – Curva Vazão x Potência*

Observe que a figura 10 e 11 mostram o mesmo padrão. Todos os testes realizados estão de acordados com a literatura, fato comprovado pelas análises estatística do  $R^2$ .

Testados e analisados todos os parâmetros de interesse dessa pesquisa, o passo seguinte foi criar um aplicativo que monitore em tempo real as grandezas alvo dessa pesquisa. Para isso, fez se uso do App Inventor é um software web criado pela Universidade Americana Massachusetts Institute of Technology (MIT) que permite desenvolver aplicativos Android usando um navegador da Web e um telefone ou emulador conectados.



*Figura 12 – App Inventor*

Uma vez desenvolvida a programação, parte para fase de teste, que nada mais é do que visualizar as propriedades inseridas na programação e vê se as correlações inseridas estão de acordo com os dados encontrados.



*Figura 13 – App Inventor finalizado*

A figura 13 evidencia o perfeito funcionamento do aplicativo. Diante do exposto, conclui – se que os testes foram realizados com êxito, fato comprovado pelas estatísticas atrelada a modelagem matemática envolvida nesse processo. Portanto, conclui – se que os objetivos dessa pesquisa foram alcançados.

## CONCLUSÕES

Alicerçando – se em um estudo minucioso das técnicas de medição de vazão, em especial aos medidores de vazão do tipo turbina, alvo dessa pesquisa. Diante de tais análises deram – se inicio as etapas de caracterização pela construção, montagem, teste de funcionamento, execução de correções e por fim a avaliação dos resultados obtidos.

Portanto, a amplitude desse trabalho vai além dos aspectos de interesse prático da engenharia, pois refletem ainda em todo um conhecimento teórico adquirido em sua metodologia.

O dimensionamento, construção, validação e testes da bancada experimental foram realizados conforme o esperado. Os resultados nas leituras das vazões evidenciaram a rangebilidade confirmando as características dos medidores tipo turbina.

Outro fator importante analisado e comprovado nessa pesquisa, é que os resultados nas leituras das vazões apresentam repetibilidade, segundo as análises apresentadas mostradas em forma de gráficos, isso mostra mais uma das características dessa classe de medidores presente nos resultados.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

A. M. A. Caldas, A. G. A. Caldas, C. A. C. dos Santos, K. C. Lima, A. A. V. Ochoa and J. C. C. Dutra - Experimental Theoretical Study Based On Mathematical Correlations Used In The Determination Of Volume Flows Of Non-Intrusive Character For Lithium Bromide Solution - LiBr

Caldas, A. M. A., 2012, Desenvolvimento de Método de Medição de Vazão não intrusivo para Sistemas de Refrigeração por Absorção. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Joao pessoa – PB.

de Normas Técnicas, Brasil, 1998. BRUNETTI, Franco. Mecânica dos fluidos. 2 ed. revisada. São Paulo: Pearson, 2008.

Delmée, Gérard Jen, Manual de Medição de Vazão – 3ª edição - São Paulo: Editora Blucher, 2003.

DIAS FILHO, José Pedro. Metodologia Para Calibração De Rotâmetro De Água Operando Com O Fluido R134a. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006.

Douglas C. Montgomery - Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley and Sons, 1985.

Edem, N. T. K. , Le Pierrès, N., Luo, L. Numerical dynamic simulation and analysis of a lithium bromide - water long-term solar heat storage system. International Journal of Refrigeration, Energy 37 (2012) 346 - 358.

