

COMPROVAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UMA BOMBA NUM FLUIDO REAL

Anne Karoline Pontes de Macêdo – akpmacedo@gmail.com
Evaldo Lourenço da Silva Filho – filho.evaldo@gmail.com
Glauber Inocêncio Feitosa de Carvalho – glauber.inocencio@gmail.com
Marla Vitória Melo Monteiro – marlamonteiro19958@gmail.com
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) –
Campus João Pessoa
Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe
55050-900 – João Pessoa – Paraíba

Resumo: Este artigo mostra o desenvolvimento de uma bancada de baixo custo onde se é possível variar a vazão de um motor bomba de acordo com a tensão aplicada, com o intuito de comprovar a equação de Bernoulli com a presença de uma bomba em um tanque de grande porte. Para obter o controle da máquina e fazer o seu monitoramento foi necessário montar um circuito de controle utilizando Arduino e um circuito de potência, ambos isolados por optoacoplamento. Os resultados obtidos no projeto são satisfatórios para implementação dessa bancada de baixo custo em aulas experimentais da disciplina de Fenômenos de Transporte do IFPB, para confirmar na prática tudo aquilo que foi abordado na teoria.

Palavras-chave: Arduino. Bernoulli. Bomba, Motor. Vazão.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, no meio acadêmico, pode-se observar que geralmente as disciplinas são abordadas de forma teórica, assim, o aluno não tem como colocar em prática conhecimentos adquiridos em sala de aula. Pode-se usar como exemplo a disciplina de Fenômenos de transportes ministrada no IFPB, em que todos os conhecimentos abordados são teóricos e os cálculos são feitos através de suposições, não sendo possível para os alunos aprenderem na prática, e fazer comparações entre a teoria e a realidade.

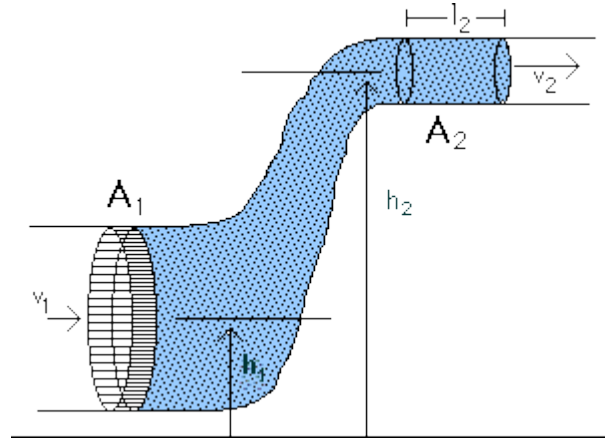
O objetivo desse artigo é apresentar a construção de uma bancada de baixo custo, em que seja possível abordar os conceitos da disciplina de Fenômenos de transporte com o intuito de se comprovar a equação de Bernoulli, através de uma máquina em um fluido real.

2 EQUAÇÃO DE BERNOULLI

A equação para fluidos reais será construída aos poucos, tendo como base a Equação de Bernoulli, que é uma equação mais simplificada, válida somente em algumas hipóteses. Segundo BRUNETTI (2008, pg. 87), o fluido precisará estar em regime permanente; não deve

possuir máquina no trecho de escoamento em estudo; não deve haver perdas por atrito no escoamento do fluido; as propriedades das seções devem ser uniformes; o fluido deve ser incompressível; não deve haver trocas de calor.

Figura 1 – Peças produzidas pelos estudantes para determinação do baricentro.



Fonte: <<http://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/hidrodinamica/hidrodin.html>>

A equação de Bernoulli pode assim ser anunciada:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{\rho_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (1)$$

A Equação de Bernoulli relaciona duas seções de um fluido, tem-se como significado das dos termos da equação:

z = Energia potencial por unidade de peso;

$\frac{v^2}{2g}$ = Energia cinética por unidade de peso;

$\frac{\rho}{\gamma}$ = Energia de pressão por unidade de peso.

Pode-se dizer que:

$$H = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (2)$$

Onde: H = energia total por unidade de peso numa seção.

Conclui-se com a Equação 1 que a energia em uma seção de um fluido, será a mesma em outra seção, não havendo perdas, ganhos, atritos. Então:

$$H_1 = H_2 \quad (3)$$

3 PRESENÇA DE UMA BOMBA E EQUAÇÃO DE BERNOULLI

O fluido tratado neste item obedecerá às mesmas hipóteses do item 2, mas será adicionado uma máquina ao estudo, que ficará presente entre as duas seções do tubo em estudo.

Entende-se por máquina qualquer dispositivo capaz de retirar ou fornecer energia ao fluido na forma de trabalho. No estudo desse projeto em questão será utilizada uma bomba, fornecendo energia ao fluido.

Com a presença da bomba, a equação 1, terá outro termo adicionado a sua igualdade, pois haverá um acréscimo de energia tal que $H_2 > H_1$. Logo para restabelecer a igualdade:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{\rho_1}{\gamma} + H_B = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (4)$$

Em que:

H_B = Altura manométrica da bomba ou a energia adicionada à unidade de peso que passa pela bomba.

4 FLUIDO REAL E ESCOAMENTO EM CONDUTOS FORÇADOS

Tratando-se de fluidos reais, os atritos internos presentes no sistema serão considerados, mantendo o fluido em regime permanente. Com atritos a igualdade (4) precisará ser restabelecida, pois haverá uma dissipação de energia, $H_1 > H_2$. Logo:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{\rho_1}{\gamma} + H_B = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + H_{p1,2} \quad (5)$$

$H_{p1,2}$ = É a energia perdida entre as duas seções do fluido (1) e (2) por unidade de peso ou fluido. Em que as perdas em cada seção são calculadas por:

$$H_p = f \frac{L_{eq}}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Onde:

L_{eq} = Comprimento equivalente da tubulação em m;

v = Velocidade do líquido em m/s;

f = Coeficiente de atrito;

g = aceleração da gravidade em m/s²;

D = Diâmetro da tubulação.

Entende-se como comprimento equivalente da tubulação:

$$L_{eq} = L_{VIRTUAL} + L_{REAL} \quad (7)$$

O L_{REAL} equivale ao comprimento total da tubulação reta, já o $L_{VIRTUAL}$ equivale ao comprimento total da tubulação curva, válvulas, entre outros, e será determinado através da tabela de comprimento equivalente de acordo com o material do tubo. Como exemplo para uma tubulação de pvc, tem-se:

Figura 2 – Peças produzidas pelos estudantes para determinação do baricentro.

Diâmetro nominal		Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° passag. direta	Tê 90° saída de lado	Tê 90° saída bilat.	Entrada normal	Entrada de borda	Saída de Canaliz.	Válvula de pé e crivo	Válv. de retenção		Registro de globo aberto	Registro de gaveta aberto	Registro de ângulo aberto
DN	(Ref.)												Tipo leve	Tipo pesado			
15	(1/2)	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
20	(3/4)	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
25	(1)	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
32	(1,1/4)	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,5	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
40	(1,1/2)	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
50	(2)	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
60	(2,1/2)	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
75	(3)	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
100	(4)	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1
125	(5)	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	37,4	12,5	19,2	50,9	1,1	26,2
150	(6)	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	11,1	2,8	5,6	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9

Fonte: < <http://fenomenosdaengenharia.blogspot.com.br> >

A velocidade do líquido é calculada através da fórmula:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

Onde:

Q= Vazão em m^3 s;

A= Área da tubulação em m^2 .

Para encontrar o coeficiente de atrito deve-se achar o número de Reynolds, através da equação:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (9)$$

Em que:

ρ = Massa específica do fluido;

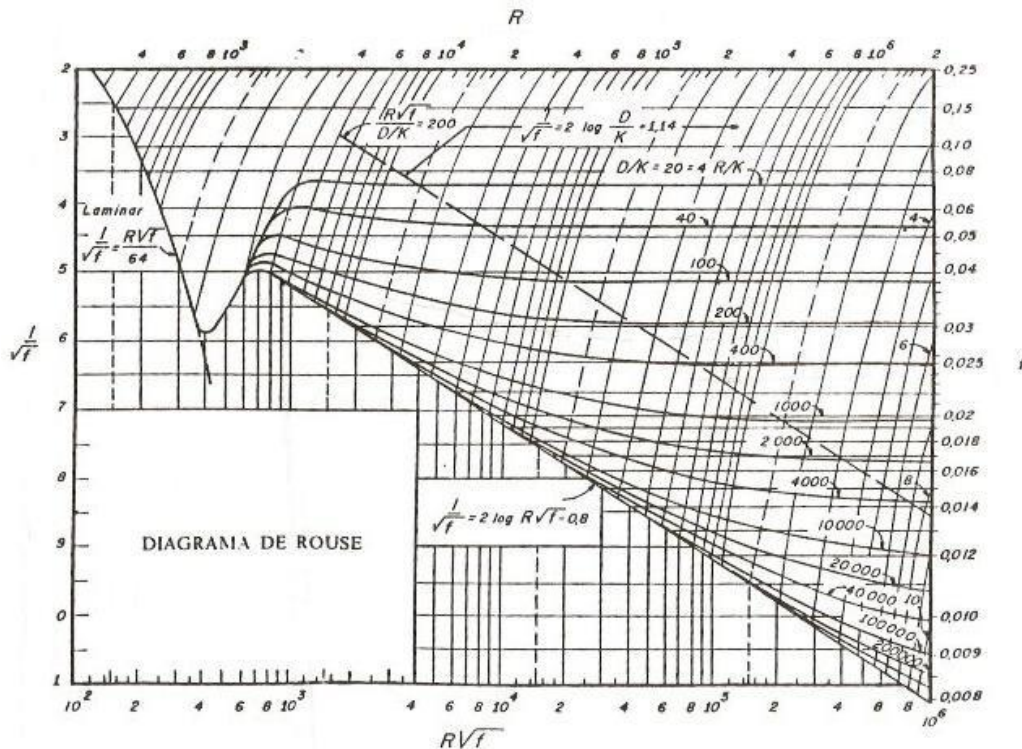
v= Velocidade média do fluido;

μ = Viscosidade dinâmica do fluido;

D= Diâmetro para o fluxo no tubo.

Após a determinação do número de Reynolds, deve-se utilizar o diagrama de Moody-Rouse para encontrar o coeficiente de atrito equivalente ao valor encontrado. Deve-se escolher a curva própria para cada tipo de ambiente, liso, rugoso ou laminar.

Figura 3 – Diagrama de Moody-Rouse.



Fonte: <<http://bizuando.com/fenotrans1-ma/>>

A equação geral considerando o atrito e a presença de uma bomba pode ser assim escrita:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{\rho_1}{\gamma} + H_B = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + H_{P1,2} \quad (10)$$

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto consiste na montagem de uma bancada, em que serão simuladas as perdas por atrito pela passagem de um fluido por uma tubulação, suas consequências e relação com a equação de Bernoulli. Através da vazão, que será medida por meio de um circuito que utiliza Arduino, pode-se observar a consequência que há no valor da altura manométrica da bomba que será utilizada para bombear o fluido do reservatório inferior para o superior.

Os principais materiais que foram utilizados na montagem do circuito responsável por medir a vazão e acionar a bomba, são:

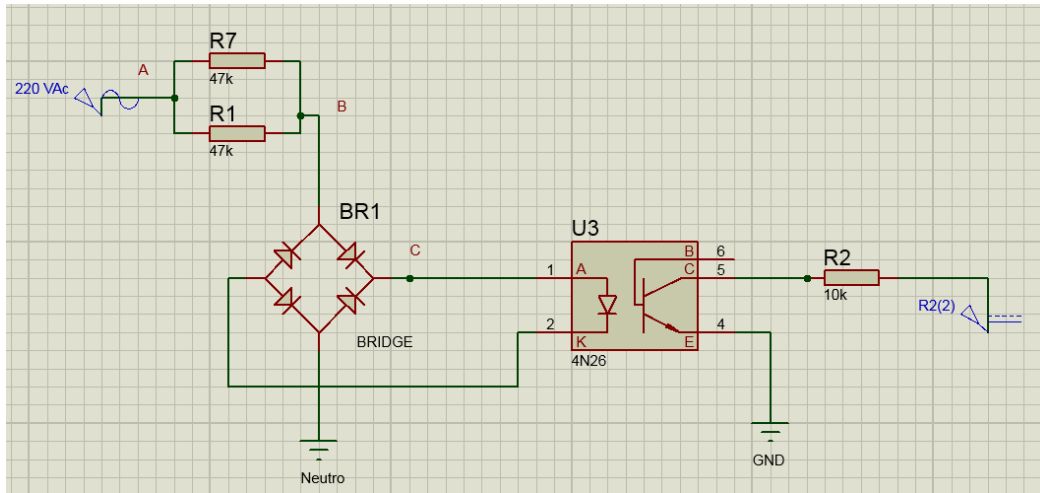
Tabela 1- Material utilizado

ITEM	EQUIPAMENTO	MARCA
01	Resistores 180Ω, 470Ω, 1KΩ, 10KΩ 10W, 2.2KΩ	---
02	Cabos	---
03	Optoisolador Triac MOC 3020	Motorola
04	Optoacoplador 4N36	Vishay
05	Triac BT 136	Philips
06	Capacitor de 10nF 250V	---
07	Arduino UNO	---
08	Sensor de Vazão	YF S201
09	Sensor Ultrassônico HC- SR04	---
10	Motor Bomba ½ CV Monofásica 220VAc	Eletroplas
11	Osciloscópio	InfiniiVision 2000 série-X
12	Protoboard	Minipa
12	Multímetro de bancada	Agilent U3401A
14	Multímetro digital	Minipa ET 2082C

Para o controle do motor Bomba AC foram construídos dois circuitos conforme as Figuras 4 e 5 que auxiliaram na automação da bancada didática.

O primeiro circuito apresentado na Figura 4 é chamado de circuito de sincronismo. Quando se é utilizado o Arduino ou qualquer outro microcontrolador é necessário fazer um sincronismo entre o microcontrolador e a rede de 220VAC. Escolhemos utilizar um fotoacoplador para isolar o circuito de tensão AC do Arduino, evitando assim qualquer dano a placa.

Figura 4- Circuito de sincronismo com a rede de 220 VAC.



Fonte: Acervo pessoal

Os resistores de $47K\Omega$ (2W) em paralelo servem para diminuir o valor da tensão e limitar a corrente para a entrada do fotoacoplador, bem como dividir a potência de entrada entre eles.

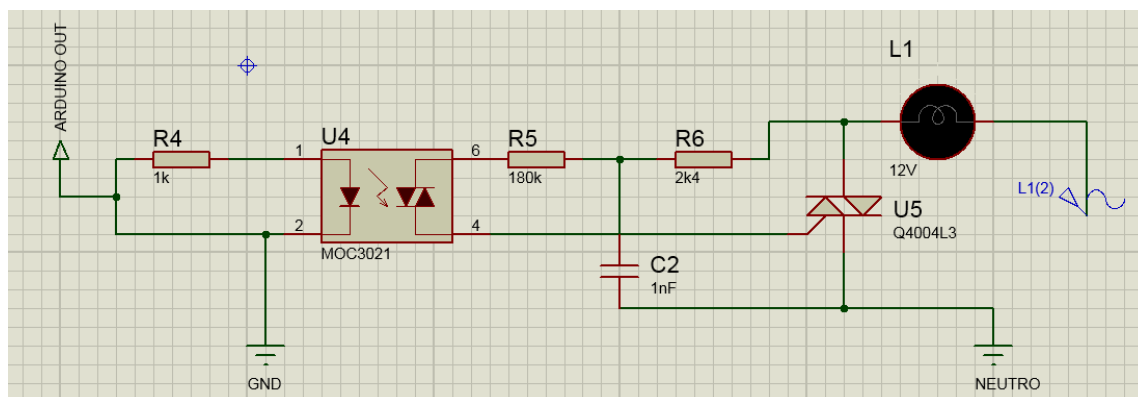
O resistor de $10K\Omega$ localizado após o fotoacoplador é chamado de Pull-up, ele evita a flutuação de tensão no pino do Arduino.

Este circuito serve para detectar a passagem da corrente pelo ponto 0 (zero) no limiar da mudança de polaridade senoidal. O diodo muda de estado conforme a mudança do semicírculo positivo para o negativo, essa informação é enviada para o Arduino pelo pino digital de interrupção. Após esse sincronismo pode-se configurar o Arduino utilizando essa informação.

A Figura 5 mostra o circuito de acionamento da carga, aqui representada por uma lâmpada, que pode ser substituída por um motor AC. Utilizamos na montagem desse circuito um fototriac e um Triac de potência para alimentação da carga. Mais uma vez o fototriac serve para isolar a placa do Arduino evitando qualquer ligação com a parte VAC do circuito.

Quando o MOC recebe um pulso da saída do Arduino o diodo entra em saturação e vai conduzir, fazendo com que o fototriac envie um pulso para o gate do Triac permitindo que a lâmpada seja alimentada. Um circuito importante é o circuito de SNUBBER que serve para limitar a tensão que vai para triac do MOC. Foi utilizado também a função PWM do Arduino para gerar a largura de pulso para o gatilho do triac.

Figura 5- Circuito de sincronismo com a rede de 220 VAC.



Fonte: Acervo pessoal

Após a simulação, foi montado o circuito com a utilização de um Protoboard, e esse circuito foi acoplado na bancada de fenômenos de transporte, vista na Figura 6.

Figura 6- Bancada de Fenômenos de Transporte.



Fonte: Acervo pessoal

Após esses passos, a Equação 10 pode ser utilizada para se calcular as perdas que ocorrem na tubulação da bancada, verificar a diferença entre a altura manométrica presente na placa da bomba escolhida e a altura manométrica obtida por meio dos cálculos utilizando a média dos valores de vazão, medidos através do circuito mencionado anteriormente.

Para o teste na bancada, foi utilizada uma bomba com altura manométrica de 27 metros. A seguir pode ser visto alguns valores de vazão medidos em um dos ensaios.

Tabela 2- Valores de vazão obtidos através do circuito com Arduino

Tensão (V)	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	4ª Medição	5ª Medição	6ª Medição
165	22,75 L/min	22,82 L/min	22,43 L/min	22,32 L/min	22,33 L/min	22,31 L/min
175	22,50 L/min	23,55 L/min	23,18 L/min	22,97 L/min	22,77 L/min	22,43 L/min
185	21,76 L/min	22,13 L/min	21,85 L/min	21,69 L/min	21,87 L/min	21,58 L/min
190	21,15 L/min	21,31 L/min	21,20 L/min	21,22 L/min	21,12 L/min	21,09 L/min
195	21,07 L/min	21,06 L/min	20,97 L/min	21,00 L/min	20,99 L/min	21,00 L/min
200	21,29 L/min	21,27 L/min	21,23 L/min	21,20 L/min	21,20 L/min	21,25 L/min
205	21,30 L/min	21,20 L/min	21,20 L/min	21,21 L/min	21,20 L/min	21,20 L/min

6 CONCLUSÃO

A Altura manométrica encontrada através das equações de Bernoulli, utilizando a média dos valores de vazão medidos através do circuito implementado na bancada, foi de 6,7301m. Como o valor da altura manométrica presente na placa da bomba é de 27m, através desse resultado obtido, pode-se concluir que a bomba em questão não está trabalhando com seu rendimento máximo, ocorrendo assim uma queda na altura manométrica da bomba.

A bancada pode, então, ser utilizada nas aulas de Fenômenos de Transporte para comprovar a eficiência de uma determinada bomba. Nos experimentos com a utilização da bancada, a tubulação poderá ser modificada, criando novos caminhos para passagem do fluido real, e possibilitando para os alunos novas formas de se realizar o experimento, já que a passagem do fluido pela tubulação gera atrito, e isso interfere nos valores inseridos na Equação 10.

Para uma futura implementação da bancada pode ser adicionado o controle via internet do motor, para controle à distância.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. Disponível em: <<http://arduino.cc/>>. Acesso em março de 2017.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos** / 2ª Ed., São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2008, ISBN 9788576051824.

CLUBE DO HARDWARE. Disponível em: <<http://www.clubedohardware.com.br/>>. Acesso em março de 2017.

Dinâmica dos fluidos. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/hidrodinamica/hidrodin.html>>. Acesso em março de 2017.

Fenômenos da engenharia. Disponível em: <http://fenomenosdaengenharia.blogspot.com.br/2015_11_01_archive.html>. Acesso em março de 2017.

Fenômenos da transporte. Disponível em:

<<http://bizuando.com/fenotrans1-ma/>>. Acesso em março de 2017.

MORALEZ, Hernandez. Disponível em:

<<http://fraciscahernandez.blogdiario.com/i2016-04/>>. Acesso em março de 2017.

CHECKING THE EFFICIENCY OF A PUMP IN A REAL FLUID

Abstract: *This article shows the development of a low-cost bench where it is possible to vary the flow of a motor pump according to the applied voltage, in order to prove the Bernoulli equation with the presence of a pump in a large tank. To obtain the control of the machine and to make its monitoring it was necessary to assemble a control circuit using Arduino and a circuit of power, both isolated by opto coupling. The results obtained in the project are satisfactory for the implementation of this low-cost bench in experimental classes of the discipline of Transport Phenomena, in order to confirm in practice everything that was approached in the theory.*

Key words: *Arduino. Bernoulli. Pump. Engine. Flow.*