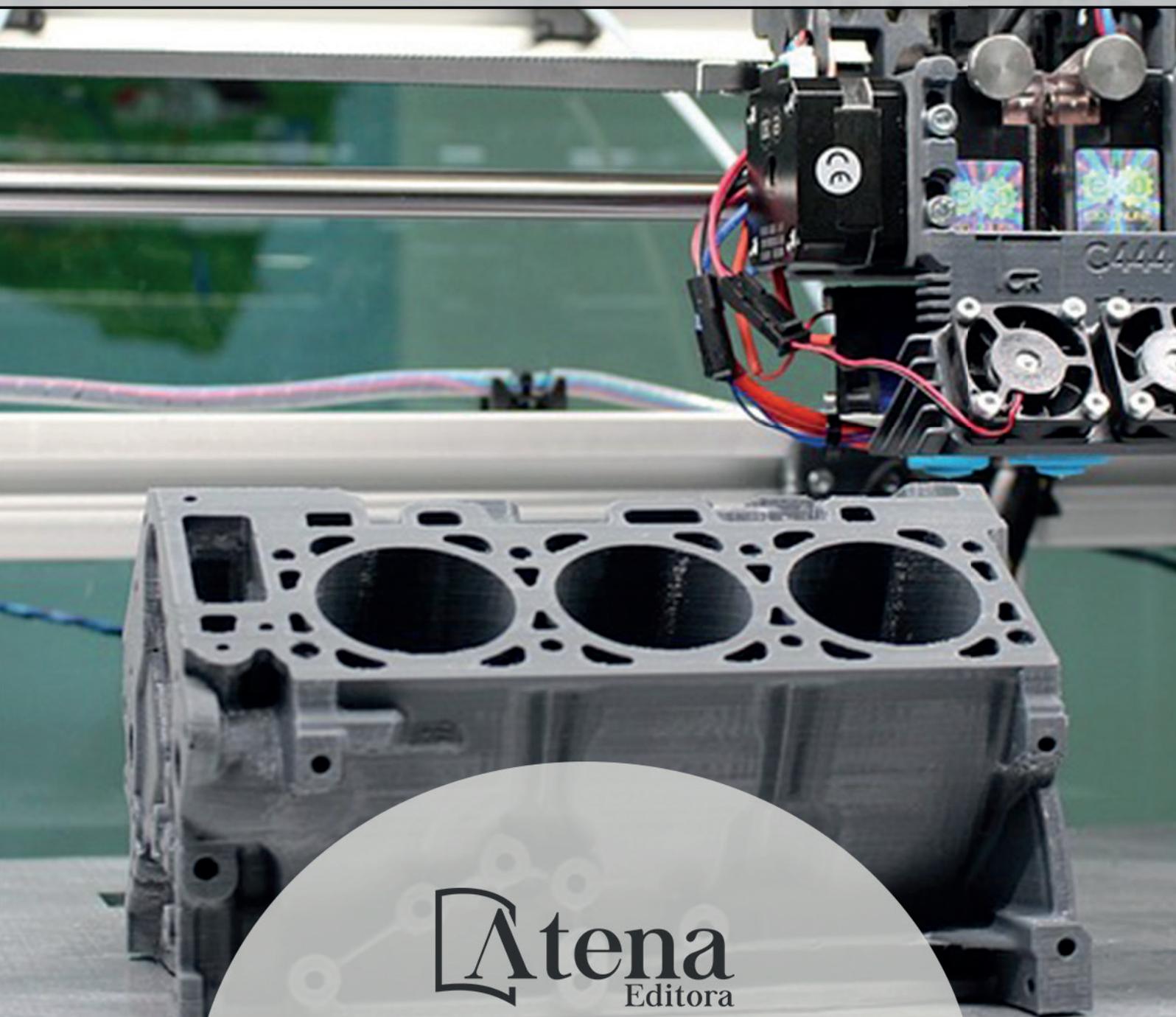


# Engenharias Mecânica e Industrial: Projetos e Fabricação

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**Franciele Bonatto**  
**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Engenharias Mecânica e Industrial: Projetos e Fabricação**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias mecânica e industrial [recurso eletrônico] : projetos e fabricação / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
ISBN 978-85-85107-76-5  
DOI 10.22533/at.ed.765180511

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica.  
3. Produtividade industrial. I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.

CDD 670.427

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Surgida durante a Revolução Industrial na Europa no século XVIII, a Engenharia Mecânica de maneira sucinta, pode ser definida como o ramo da engenharia que se dedica a projetos, produção e manutenção de máquinas.

Nesta obra é conciliado estes dois fundamentos que são pilares na profissão de engenheiro mecânico; Projetos e fabricação. Felizmente é possível perceber que estes dois fundamentos da engenharia mecânica e industrial continuam sendo pontos fortes da formação de profissionais nesta área e dos docentes pesquisadores envolvidos neste processo.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de projetos e fabricação no âmbito da engenharia.

Trabalhos envolvendo caracterização de materiais são importantes para a execução de projetos dentro de premissas de desempenho e econômicas adequadas. Eles continuam a ser a base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais para o design do produto em concepção.

Dentro deste livro também são contemplados temas eminentemente práticos emissão de motores de combustão interna, bancadas didáticas de bombeamento, tuneis de vento além de problemas clássicos da indústria como tubulações e lubrificação.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DO AÇO SAE 1020	
<i>Amadeu Santos Nunes Junior</i>	
<i>Rodrigo da Silva Miranda</i>	
<i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
AJUSTE DE CURVAS DOS PARÂMETROS DE SOLIDIFICAÇÃO PARA AÇOS PRODUZIDOS POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO	
<i>Lisiane Trevisan</i>	
<i>Juliane Donadel</i>	
<i>Bianca Rodrigues de Castro</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E DEFINIÇÃO DO PERCENTUAL DE CARBONO DE UM AÇO POR MEIO DA METALOGRAFIA QUANTITATIVA	
<i>Felipe Gomes dos Santos</i>	
<i>Lioudmila Aleksandrovna Matlakhova</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE COMPÓSITOS SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE MADEIRA Balsa MEDIANTE ENSAIO DE DOBRAMENTO TRÊS PONTOS	
<i>Denilson Pablo Cruz de Oliveira</i>	
<i>Renata Portela de Abreu</i>	
<i>Pedro Augusto Silva de Sousa</i>	
<i>Abimael Lopes de Melo</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA PELO MÉTODO DE PLACA QUENTE	
<i>Wênio Fhará Alencar Borges</i>	
<i>Eduardo Corte Real Fernandes</i>	
<i>Oyama Douglas Queiroz de Oliveira Filho</i>	
<i>Alex Maurício Araújo</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA A PARTIR DA VARIAÇÃO NA REGULAGEM DAS VÁLVULAS DE ADMISSÃO E EXAUSTÃO	
<i>Fernanda de Souza Silva</i>	
<i>Adriano Sitônio Rumão</i>	
<i>Marcos da Silva Gonçalves Júnior</i>	
<i>Daniel Lira da Silva Figueiredo</i>	
<i>Bráulio Alexandre Alves de Lima</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>66</b>
ANÁLISE DE EMISSÃO DE GASES DO MOTOR HORIZONTAL BRIGGS AND STRATTON INTEK 10 HP BAJA SAE	
<i>Bruno Silvano da Silva</i>	
<i>Daniel Willemam Trindade</i>	
<i>Elias Rocha Gonçalves Júnior</i>	
<i>Virgínia Siqueira Gonçalves</i>	
<i>Claudio Luiz Melo de Souza</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 79**

ROTEIRO TÉCNICO PARA CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA EM CÂMARAS FRIGORÍFICAS UTILIZADAS EM ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS

*Ismael de Marchi Neto*  
*Rodrigo Corrêa da Silva*  
*Mateus de Souza Goulart*  
*Rafael Sene de Lima*  
*Ricardo de Vasconcelos Salvo*

**CAPÍTULO 9 ..... 97**

UTILIZAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA REFRIGERAÇÃO DE PARADAS DE ÔNIBUS EM TERESINA-PI

*Wênio Fhará Alencar Borges*  
*Armystron Gonçalves Ferreira Araújo*  
*Alexsione Costa Sousa*  
*Luciane Norberto Menezes de Araújo*  
*Maria Onaira Gonçalves Ferreira*

**CAPÍTULO 10 ..... 108**

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVA DE CURVA CARACTERÍSTICA DE BOMBA CENTRÍFUGA

*Janio Marreiros Gomes,*  
*Ighor Caetano Silva Ferreira,*  
*Adriano do Amor Divino Guilhon Serra,*  
*Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho,*  
*Wellington de Jesus Sousa Varella,*  
*Thymisson Sousa da Paixão,*

**CAPÍTULO 11 ..... 120**

INTRODUÇÃO À ANÁLISES HIDRÁULICAS ATRAVÉS DO ESTUDO DO COMPRIMENTO CARACTERÍSTICO EM TUBULAÇÕES

*Rafael Costa Da Silva*  
*Luiz Carlos Cordeiro Junior*

**CAPÍTULO 12 ..... 132**

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MINI TUNEL DE VENTO DIDÁTICO DE BANCADA EXPERIMENTAL PARA ESTUDOS AERODINÂMICOS

*Diógenes Leite Souza*  
*Fernando Lima de Oliveira*

**CAPÍTULO 13 ..... 151**

ANÁLISE DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS NO MOTOR DO CARRO ARRANCADA

*Paulo Rutenberg Madeira Santos*  
*Higor Leandro Veiga da Silva*

**CAPÍTULO 14 ..... 158**

ANÁLISE DO ESCOAMENTO DO ÓLEO BASE DE UMA GRAXA MINERAL EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CONTAMINAÇÃO

*Ana Cláudia Marques*  
*Bruno Henrique Viana Mendes*  
*Jorge Nei Brito*

**CAPÍTULO 15 ..... 167**

MEDIDOR DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM MEIOS LÍQUIDOS NA OBTENÇÃO DE SOLUÇÕES EM ENGENHARIA

*Vagner dos Anjos Costa*  
*Cochiran Pereira dos Santos*

*Antonio Cardoso Ferreira  
Jubiraí José Galliza Júnior  
Fabrício Oliveira Silva  
Fabio Santos de Oliveira  
Silvio Leonardo Valença*

**CAPÍTULO 16..... 179**

ESTUDO EXPERIMENTAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE ONDAS E CORRENTES MARÍTIMAS

*Reginaldo Nunes da Silva  
Patrícia do Nascimento Pereira  
Fernando Lima de Oliveira*

**CAPÍTULO 17 ..... 186**

USO DO SENSOR HC – SR04 COM O ARDUINO UNO: UMA ANÁLISE DE ERROS DE MEDIÇÃO ENVOLVENDO AS BIBLIOTECAS ULTRASONIC E NEW PING

*Lucas Santin Bianchin  
Rogério Bido  
Vanessa Carina Dal Mago  
Alexsander Furtado Carneiro*

**CAPÍTULO 18..... 198**

MODERNIZAÇÃO E ADEQUAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ATRAVES DA IMPLANTAÇÃO DE REDE INDUSTRIAL E SISTEMA SCADA EM WINCC RT

*Fabrício Roosevelt Melo da Silva  
Diego Antônio de Moura Fonseca  
Andrés Ortiz Salazar*

**SOBRE O ORGANIZADORES..... 213**

## DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVA DE CURVA CARACTERÍSTICA DE BOMBA CENTRIFUGA

**Janio Marreiros Gomes,**

Universidade Estadual do Maranhão,  
São Luís – MA

**Ighor Caetano Silva Ferreira,**

Universidade Estadual do Maranhão,  
São Luís – MA

**Adriano do Amor Divino Guilhon Serra,**

Universidade Estadual do Maranhão,  
São Luís – MA

**Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho,**

Universidade Estadual do Maranhão,  
São Luís – MA

**Wellington de Jesus Sousa Varella,**

Faculdade Pitágoras,  
São Luís – MA

**Thymisson Sousa da Paixão,**

Universidade Estadual do Maranhão,  
São Luís – MA

**RESUMO:** Este trabalho visa desenvolver bancada didática para determinação da curva característica altura manométrica e vazão volumétrica a partir de coleta de medidas de pressões de sucção, recalque e vazão na descarga final utilizando manômetros, vacuômetros e sensor de fluxo controlado por Arduino. A lógica utilizada para medição da vazão foi desenvolvida para coletar uma medida a cada 1 segundo e a o valor utilizado

para elaboração da curva foi a média aritmética destes pontos. A curva obtida apresentou resultados satisfatórios evidenciando a eficiência do aparato experimental para assimilação dos conceitos teóricos. Por fim, podemos dizer que o trabalho é útil no que diz respeito à elaboração de projetos hidráulicos, na qual se queira evidenciar se de fato, os parâmetros fornecidos pelos fabricantes de bombas centrífugas, possam atender verdadeiramente às necessidades do projeto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bombas centrífugas, Curvas características de bombas, Arduino

**ABSTRACT:** This work aims to develop didactic bench to determine the characteristic curve gauge height and volumetric flow from collecting suction pressure measurements, flow and discharge the final discharge using pressure gauges, vacuum gauges and controlled flow sensor for Arduino . The logic used for flow measurement was developed to collect a measurement every 1 second and the value used for the preparation of the curve was the arithmetic mean of these points. The curve obtained showed satisfactory results showing the efficiency of the experimental apparatus for assimilation of theoretical concepts. Finally, we can say that the work is useful with regard to the development of hydraulic projects, in which it wants to show if indeed , the parameters

supplied by the centrifugal pump manufacturers can meet truly project needs .

**KEYWORDS:** Centrifugal pumps, Characteristic curves of pumps, Arduino.

## 1 | INTRODUÇÃO

Bombas são máquinas operatrizes hidráulicas destinada a fornecer energia ao líquido a ser bombeado, com a finalidade de transportá-lo de um ponto a outro. Isto só é possível através da transformação de uma energia cinética que a bomba recebe, seja de motor elétrico, a combustão, vapor entre outras fontes e converte em energia de pressão que é transferida ao fluido através de um impelidor (ou rotor) (BIANCHI et al, 2013).

Na natureza, o fenômeno de transporte de fluido para regiões elevadas só é possível através da ação de uma bomba, a sua operação pressuriza o líquido a fim de haver o escoamento. A associação destas máquinas hidráulicas pode aumentar a pressão interna ou a vazão em tubulações. A classificação dos variados tipos de bombas é feita através da forma como a energia é transferida ao fluido transportado. Nas turbobombas a força que é cedida ao fluido é produzida através da rotação de um rotor dotado de pás, especialmente perfiladas, de forma a orientar o fluxo do fluido e transferir a energia ao mesmo.

As bombas centrífugas são um dos tipos de turbobombas, que cede energia ao fluido através do seu elemento rotatório chamado de rotor. Nelas o líquido penetra no rotor paralelamente ao eixo, sendo dirigido pelas pás do rotor para a periferia da bomba, fazendo com que o fluido saia em uma direção perpendicular ao eixo do rotor (SILVA, 2003).

As bombas centrífugas são as mais usuais no ambiente industrial em função de sua capacidade de vencerem grandes alturas e vazões altas com bom rendimento. A ferramenta utilizada para auxiliar o engenheiro na especificação destas máquinas de fluxo são as curvas características (MORAES Jr, 2011).

As curvas características são utilizadas para seleção de bombas através da relação entre altura manométrica e vazão, rendimento versus vazão e NPSH requerido versus vazão. Normalmente essas curvas são fornecidas pelos fabricantes e são obtidas através de procedimento experimental. O desenvolvimento de uma metodologia para determinação destas curvas auxilia na indicação dos parâmetros de desempenho de bombas centrífugas auxiliando na compreensão de seus conceitos elementares (BRUNETTI, 2008).

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Desenvolvimento de uma unidade experimental

A unidade experimental utilizada para determinação da curva característica das bombas foi desenvolvida através do esquemático mostrado na figura 1. O sistema é formado por duas bombas centrífugas instaladas esquematicamente para associação em série e paralelo. Os materiais utilizados para a confecção do experimento seguem listados na tabela 1. O ensaio consiste da medição de vazão através de sensor de fluxo para arduino e medidores de pressão (manômetros e vacuômetros) a partir da restrição da válvula de descarga. As válvulas 2 e 3 são de controle das associações das bombas em série e em paralelo. Os motores das bombas são monofásicos de alimentação de 220 volts, acionados por disjuntores dimensionados para atender as correntes nominais dos motores.

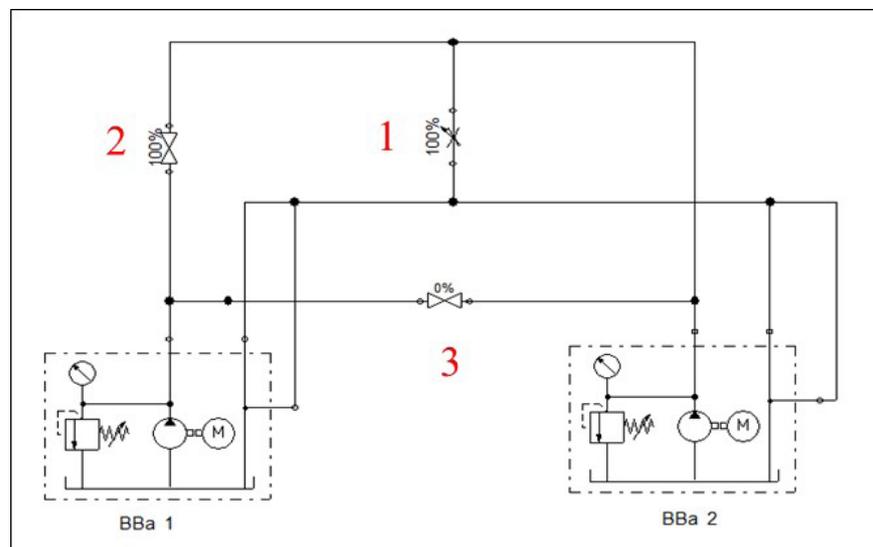


Figura 1 – Esquemático da unidade experimental- BBa 1 - Bomba centrífuga periférica de 1/2 CV; BBa 2 -Bomba centrífuga auto-escorvante de 1 HP; 1- Válvula de descarga; 2 e 3- Válvulas de controle das associações.

Para esse estudo foi determinado apenas a curva característica individuais das bombas BBa1 e BBa 2 e os resultados serão apresentados através de gráfico elaborado no *Origin*.

Quantidade	Material
1	Bomba centrífuga auto-escorvante de 1 HP;
1	Bomba centrífuga periférica de 1/2 CV;
4	Conectores L/R de 32mm;
2	Manômetros de fundo de escala de 7kgf/cm <sup>2</sup> ;
2	Vacuômetros de escala de 0 a 760 mmHg
6	Curvas de 32 mm
2	Tê de 32mm

3	Válvulas de esfera
1	Válvula de gaveta
1	Sensor de fluxo máx. de 60 l/min
2	Disjuntores elétricos ( 2A e 4A);
1	Tubo de PVC 32 mm ( 5 metros);
1	Caixa d'água de 100 l

Tabela 1 – Listagem de material utilizado na construção da unidade experimental

## 2.2 Coleta dos dados experimentais

Através da variação da abertura da válvula de descarga alterou-se a vazão registrada pelo sensor de fluxo controlado pelo arduino (figura 2) e as pressões no tubo de sucção medidas pelo vacuômetro (figura 3) e recalque pelo manômetro (figura 4). Foram coletados cinco valores de vazão e pressões positivas e negativas para elaboração das curvas individuais (altura manométrica x vazão) das bombas. A altura manométrica ( $H_m$ ) foi obtida utilizando o balanço de energia mecânica proposto por Bernoulli apresentado na Eq. 1. As variações de energia cinéticas foram desprezadas em função de que o tubo de sucção e recalque tem o mesmo diâmetro interno de 25,4 mm. A perda de carga também foi desprezada por ter-se utilizado tubos em PVC que apresentam perda de cargas muito pequenas por apresentarem pequena rugosidade, além de ter-se utilizado pequenos comprimentos de tubulações.

$$H_{man} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (H_2 - H_1) + J \quad (1)$$

onde:

$\frac{P_2 - P_1}{\gamma}$  : Variação da carga de pressão entre o recalque e a sucção;

$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$  : Variação da carga cinética entre o recalque e a sucção;

$(H_2 - H_1)$ : Variação das cotas entre o recalque a sucção;

$J$ : Perda de carga no duto de sucção e recalque.



Figura 2 - Sensor de fluxo controlado com Arduino (Próprio autor).



Figura 3 – Manômetro de escala de 0 a 7 kgf/cm<sup>2</sup> (Próprio autor).



Figura 4 - Vacuômetro de escala de 0 a 760 mmHg (Próprio autor).

Para o monitoramento da vazão foi utilizada uma plataforma de prototipagem eletrônica “*open source*”, composta essencialmente de “hardware” e “software” denominada ARDUINO (figura 5). Este dispositivo é formado por um microcontrolador (microprocessador) que possui estrutura básica de um computador completo com memória RAM, memória ROM, unidade de processamento de aritmética e os dispositivos de entradas e saídas, ou seja, toda infraestrutura necessária para

obtenção de dados externos, processamento e emissão do resultado. O hardware do ARDUINO e a ligação eletrônica funcionam com as seguintes especificações: a fonte de alimentação pode receber tensões de 7Vdc à 35 Vdc. Internamente a placa do ARDUINO disponibiliza, através de regulador interno, uma voltagem estabilizada de 5 volts, utilizada para alimentação dos componentes eletrônicos utilizados neste projeto.

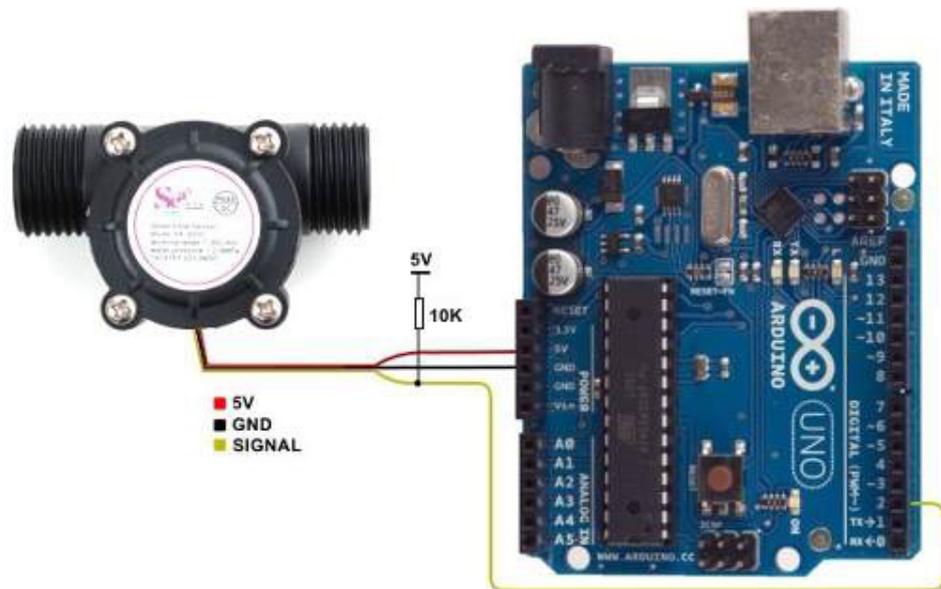


Figura 5 – Ligação do sensor de fluxo no Arduino (Próprio autor).

O ARDUINO possui 14 pinos que podem ser programados como entradas ou sinais digitais, além de 6 pinos de entradas analógicas ou entradas/saídas digitais (programáveis). Todos os pinos digitais e analógicos do ARDUINO possuem mais de uma função, ou seja, podem ser de entrada ou saída, servem para leituras analógicas e também como entradas digitais. As funções dos pinos foram definidas durante a programação escrita no código da placa (RIBEIRO FILHO, 2014).

Neste trabalho foi utilizado uma entrada analógica, cujos pino é representados por A2. A estrutura de software necessária para o processamento dos dados enviados à entrada analógica A2, foi elaborada no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), sendo a interface gráfica em linguagem de programação JAVA. O “software” elaborado para controle das entradas A2 foi produzido em linguagem de programação C e C++. Após a compilação realizada na interface de desenvolvimento, o programa foi enviado para o “hardware” para sua execução.

O programa desenvolvido para o ARDUINO na IDE é formado por duas partes bem distintas: “Setup” e “Loop”. A função “Setup” é responsável pela inicialização da placa e do programa que foi desenvolvido. Esta etapa é executada apenas uma vez quando a placa é ligada, a fim de informar ao “hardware” o que será executado. A entrada analógica A2, foi conectada o sensor de fluxo.

O programa escrito dentro da função “Loop” é executado indefinidamente linha por linha, ou seja, após a execução da sua última linha, o programa inicia novamente a partir da primeira linha da função “Loop” e continua sua execução até que a placa

seja desligada ou o botão de “reset” seja pressionado.

Após a conclusão do desenvolvimento do programa realizou-se a compilação (transformar o código escrito em linguagem de máquina), nesta etapa é verificado se não há erro no código escrito, após esta verificação é que se torna possível o envio do programa para a placa através do comando “upload”. Em seguida, o ARDUINO começa a executar o programa.

### 2.3 Tratamentos dos dados coletados

A lógica de programação do Arduino foi desenvolvida para coletar uma medida de vazão por segundo durante um minuto a fim de determinação de vazão média para cada ponto. Em paralelo foi registrado as pressões positivas na tubulação de recalque e negativas na tubulação de sucção para cada ponto. Os dados foram apresentados em tabelas.

A partir dos dados tabelados plotou-se as curvas típicas das bombas centrífugas de 1 e 2 utilizando o software gráfico origin. Os valores de altura manométrica serão apresentados na unidade metros de coluna d’água (m.c.a) e a vazão em litros por minuto (lpm).

A partir dos dados coletados de pressão e vazão se elaborou gráfico de dispersão para determinação da equação característica da distribuição e o coeficiente de determinação,  $R^2$ .

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bancada apresentou a configuração final conforme figura 18 ilustrada abaixo.

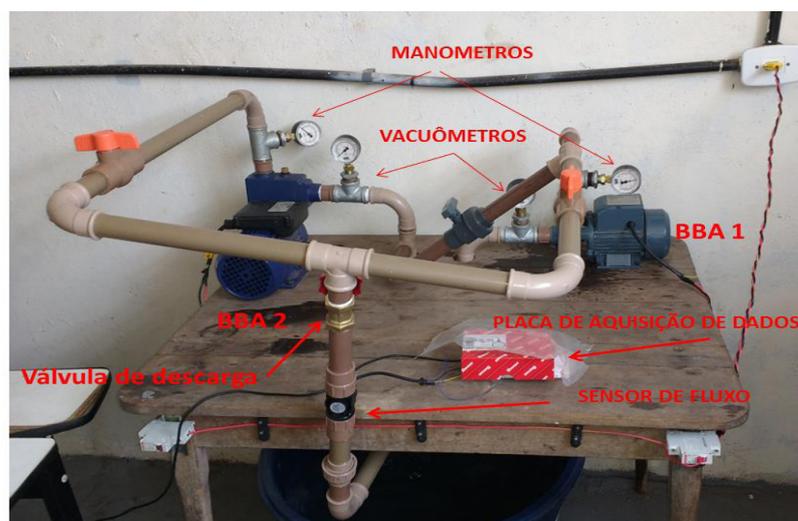


Figura 6 - Configuração final da unidade experimental (Próprio autor).

Os dados coletados para definição das curvas características da BBA 1 e BBA 2

seguem listados abaixo.

	Pressão de Vácuo (mmHg)	Pressão Manométrica (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\Delta H$ (m)
Ponto 1	100	0,2	0,05
Ponto 2	85	0,7	0,05
Ponto 3	75	1	0,05
Ponto 4	65	1,25	0,05
Ponto 5	0	1,75	0,05

Tabela 2 – Dados de Pressão Manométrica, de Vácuo e diferença nível da BBA 1

	Pressão de Vácuo (mmHg)	Pressão Manométrica (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\Delta H$ (m)
Ponto 1	50	0,3	0,05
Ponto 2	35	0,6	0,05
Ponto 3	25	1,2	0,05
Ponto 4	15	2,8	0,05
Ponto 5	0	5	0,05

Tabela 3 – Dados de Pressão Manométrica, de Vácuo e diferença nível da BBA 2

A partir dos dados coletados foi possível determinar a altura manométrica total utilizando o balanço global de engenharia mecânica proposto por Bernoulli das bombas BBA-1 e BBA-2. Os resultados estão apresentados na tabela 4 e 5 abaixo.

	Altura manométrica (m.c.a)	Vazão (L/min)
Ponto 1	3,41	15,91
Ponto 2	8,22	11,36
Ponto 3	11,09	5,55
Ponto 4	13,46	2,37
Ponto 5	17,59	0

Tabela 4 – Altura manométrica e vazão da bomba BBA 1

	Altura manométrica (m.c.a)	Vazão (L/min)
Ponto 1	3,73	22,38
Ponto 2	6,53	20,34
Ponto 3	12,41	16,44
Ponto 4	28,30	8,08
Ponto 5	50,15	0

Tabela 5 – Altura manométrica e vazão da bomba BBA 2

A partir da determinação da altura manométrica e vazão de cada ponto foi possível definir a curva característica para as bombas BBA 1 (0,5 CV) e BBA 2 (1 HP) conforme ilustrado nas figuras 7 e 8.

Curva Característica - Altura Manométrica x Vazão - Bomba BBA 1 (0,5 CV)

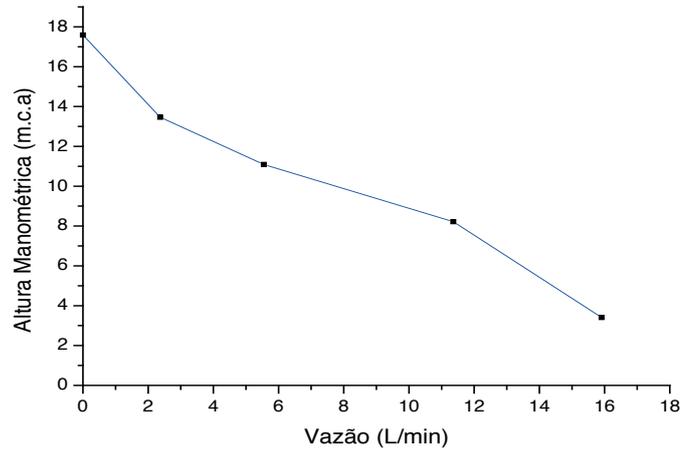


Figura 7 - Curva Característica – Altura Manométrica x Vazão – Bomba BBA 1 (0,5 CV). Fonte: (Próprio autor).

Curva Característica - Altura Manométrica x Vazão - Bomba BBA 2 (1 HP)

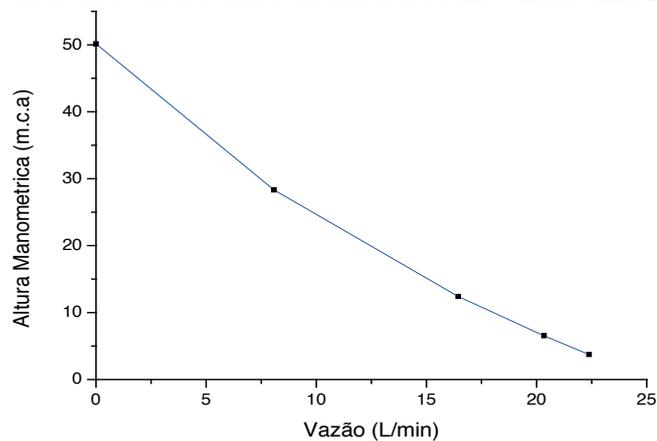


Figura 8 - Curva Característica – Altura Manométrica x Vazão – Bomba BBA 2 (1 HP). Fonte: (Próprio autor).

As curvas tanto da BBA-1, quanto BBA-2 apresentaram comportamento polinomial de 2º ordem com concavidade para cima.

A equação polinomial que representa a relação de vazão e altura manométrica da bomba BBA 1 é expressa pela equação 2 abaixo. O coeficiente de determinação,  $R^2$ , obtido para a equação foi de 0,9672, que indica que a variável independente (vazão) explica 96,72% da variável dependente (altura manométrica).

$$H_{man} = 0,0114Q^2 - 0,9861Q + 16,738 \quad (2)$$

Onde : altura manométrica em m.c.a e  $Q$  = vazão volumétrica em L/min.

O gráfico de dispersão utilizado para obtenção da equação e do coeficiente de determinação,  $R^2$ , pode ser visto na figura 9.

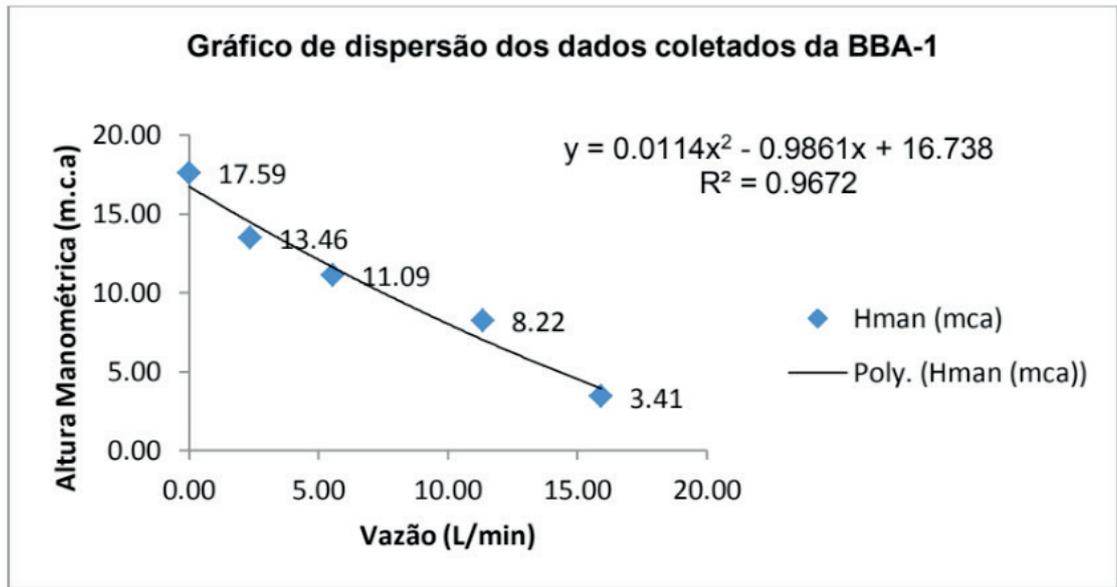


Figura 9 – Gráfico de dispersão dos dados coletados da BBA -1. Fonte: (Próprio autor).

Enquanto que a equação polinomial que representa a relação de vazão e altura manométrica da bomba BBA 2 é expressa pela equação 2 abaixo. O coeficiente de determinação,  $R^2$ , obtido para a equação foi de 0,9998, que indica que a variável independente (vazão) explica 99,98% da variável dependente (altura manométrica).

$$H_{man} = 0,0416Q^2 - 2,9916Q + 50,053 \quad (3)$$

Onde  $H_{man}$ : altura manométrica em m.c.a e  $Q$  = vazão volumétrica em L/min.

O gráfico de dispersão utilizado para obtenção da equação e do coeficiente de determinação,  $R^2$ , pode ser visto na figura 10.

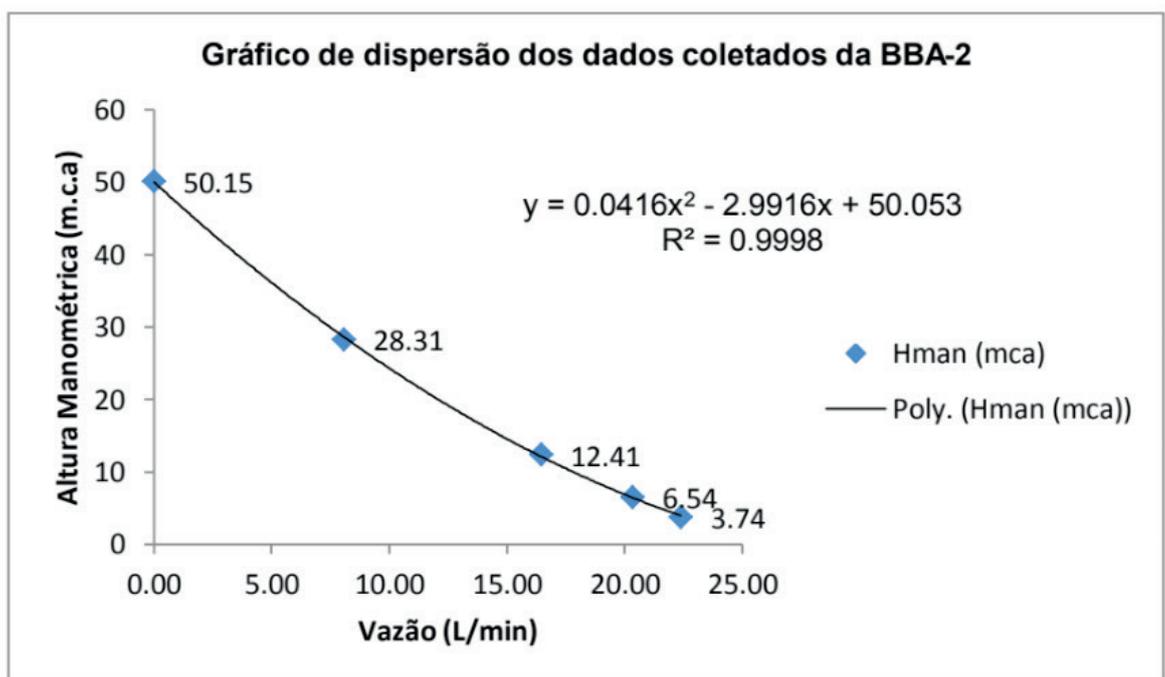


Figura 10 – Gráfico de dispersão dos dados coletados da BBA -2. Fonte: (Próprio autor).

A partir dos dados levantados, foi possível perceber que a variação da área através da restrição controlada pelo fechamento da válvula de descarga tem uma relação inversamente proporcional com a pressão manométrica, ou seja, a medida que a área de seção transversal era reduzida se percebia aumento da pressão positiva, está que variou de 0,2 kgf/cm<sup>2</sup>, com válvula de descarga totalmente aberta, à 1,75 kgf/cm<sup>2</sup>, com válvula de descarga totalmente fechada (pressão de shut off), para a bomba BBA – 1, e de 0,3 kgf/cm<sup>2</sup> à 5 kgf/cm<sup>2</sup> para a bomba BBA-2. Enquanto que a pressão de vácuo, medida na tubulação de sucção, apresentou relação diretamente proporcional com a restrição da válvula de descarga, enquanto se diminui a área da seção transversal da tubulação de recalque, reduzia-se a pressão negativa, variando de 100 mmHg, com válvula totalmente aberta, à 0 mmHg, com válvula totalmente fechada para a BBA-1. Já na BBA-2 a pressão de vácuo variou de 50 mmHg a 0 mmHg.

Em relação à vazão, verificou que a mesma tem relação diretamente proporcional a variação da área, ou seja, à medida que a área aumenta a vazão também aumenta, em função de que a velocidade foi mantida constante, comprovando o que estabelece a lei da conservação da massa através da equação da continuidade (equação 4), quando se tem massa específica constante, desprezando as variações de temperatura, altura e velocidade (FOX, 2010).

$$Q = V.A \quad (4)$$

Onde : Vazão volumétrica; : velocidade do escoamento; : área de seção transversal.

## 4 | CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho foi a construção de uma unidade experimental, para a execução de testes com bombas centrífugas, com a possibilidade de alterar os valores das variáveis, altura manométrica e vazão, como também de realizar a manobra do funcionamento do circuito tanto para operarem em série, quanto em paralelo.

Podemos observar, através dos experimentos a aplicação prática da teoria de Bernoulli, e conservação da massa.

A metodologia de utilização do sensor de fluxo controlado pela lógica desenvolvida no Arduino revelou-se eficiente por apresentar margem de erro de 0 a 2% e ter um custo de 18,25% de um instrumento convencional de medição de vazão como o rotâmetro.

Desta forma, o desenvolvimento das equações polinomiais relacionando os valores de vazão volumétrica e alturas manométricas mostraram-se mais fieis aos valores coletados experimentalmente, apresentando coeficiente de determinação de 96,72% para a BBA-1 e 99,98% BBA-2 demonstrando ser ferramenta essencial para auxiliar a atividade do projetista de bombas centrífugas.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. S. **Máquinas Hidráulicas AT – 087**. Paraná. Curso de Engenharia industrial de madeira. 2012. Disponível em: Acesso em: 01 jun. 2013.
- BIANCHI, A. R. Z.; OLIVEIRA, B. C.; ANJOS, D. S.; RAIZ, F. P.; FERREIRA, G.; MARQUES, L. **Bancada para teste de filtro**. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. São Caetano do Sul – SP. 2013.
- BRUNETTI, Franco, **Mecânica dos Fluidos / 2ª Ed.**, São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2008.
- FOX, Robert W. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- GERNER, V. R. **Bombas**. 1 ed. Brasília. Instituto Evaldo Lodi Do Distrito Federal. 2007. Disponível em: <<http://migre.me/fE91l>> Acesso em: 01 jun. 2013.
- Macintyre, A. J. **“Bombas e Instalações de Bombeamento”** - Editora Guanabara Koogan S.A. 1997; RJ
- MATTOS, E. E. de; DE FALCO, R. **Bombas industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 474p.
- MORAES Jr., D., SILVA, E. L., MORAES, M. S. **Aplicações Industriais de Estática e Dinâmica dos Fluidos I**. São Paulo – SP, 2011.
- NASCIMENTO, E; **Construção de uma bancada didática de ensaios de bombas em série e bombas em paralelo**. Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Mecânica, Trabalho de Conclusão de Curso, 2012. 63p, il.
- QUIRINO, J. L. C. **Bombas: guia básico/ Eletrobrás [et. al]**. Brasília: IEL/NC, 2009. 239p.
- RIBEIRO FILHO, P. R. C. F. **Desenvolvimento de uma unidade experimental para estudo tribológico de desgaste de contato lubrificado por gotejamento de óleos vegetais**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Santa Cecília, Santos, São Paulo. 2015.
- SILVA, M. A. **Seleção e aplicação de bombas centrífugas**. KSB. São Paulo – SP, 2003.
- TORREIRA, R. P. **Bombas válvulas e acessórios**. 1. ed: Libris, 1996. 724p.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Franciele Bonatto** Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação e mestrado em engenharia de produção pela UTFPR e doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela mesma universidade. Trabalha com os temas: gestão da qualidade, planejamento e controle da produção e cadeia de suprimentos.

**Henrique Ajuz Holzmann** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-76-5

