

LEVANTAMENTO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS OPERANDO EM ESCOAMENTO BI-FÁSICO

Cristiano Meneghini

Eduardo Vieira Sarmento

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi realizar o levantamento das curvas características de uma bomba centrífuga de múltiplos estágios operando em um escoamento bifásico de água e ar, sendo esta usada em estações de tratamento de esgoto, através do processo de flotação por ar dissolvido. Para atingir o objetivo efetuou-se uma revisão bibliográfica para entender os fenômenos que ocorrem na bomba e levantar as equações que regem seu comportamento. A coleta de dados foi realizada através de uma bancada com toda as instrumentações necessárias para o estudo. Através dos valores coletados e aplicados nas equações teóricas, foi possível obter as curvas, com a bomba operando somente com água e com a adição de ar. Os resultados levaram a conclusão de que as curvas características com a bomba operando somente com água, assumem o comportamento governado pela teoria. Para a adição de ar no escoamento, a bomba tem seu rendimento reduzido e distancia do comportamento estabelecido pela literatura.

Palavras-Chave: Escoamento Bifásico. Bomba Centrífuga. Curvas Características.

1 INTRODUÇÃO

As empresas no mercado atual tem a necessidade de entender os fenômenos físicos que regem o funcionamento de seu equipamento que irá produzir. A ideia é sempre quantificar de alguma forma o comportamento do mesmo, para que possam ser coletados dados que venham a evidenciar a

qualidade do produto, quando confrontados com os requisitos que o cliente exige.

Pensando na necessidade de fornecer informações completas ao cliente, deve-se desenvolver o projeto de um sistema hidráulico, para o levantamento das curvas características de uma bomba centrífuga de múltiplos estágios MB – 60, que tem por objetivo a geração de microbolhas.

Como o projeto de bombas hidráulicas tem uma complexidade muito elevada, por ter diversos fatores envolvidos que possam alterar o seu comportamento, torna-se difícil desenvolver somente um modelamento matemático que consiga prever seu funcionamento. Assim, foram realizados testes experimentais em protótipos para coletar dados reais, os quais em conjunto com a teoria, poderão prever o comportamento real da bomba, para diversas situações de uso.

Este trabalho teve como objetivo primeiramente o levantamento das curvas características da bomba centrífuga operando em um escoamento bifásico. Para entender o comportamento da bomba e obter os dados para aplicação nas equações teóricas da altura manométrica, potência, rendimento e NPSHr, serão realizados testes hidráulicos. Estes testes tem objetivo de coletar dados como pressão de entrada e saída da bomba, corrente e tensão atuante na bomba, vazões de líquido e gás em que a bomba está operando. Os testes hidráulicos serão realizados em uma bancada de ensaios, que irá ser projetada com base na literatura de Macintyre (1997), e cujo princípio de funcionamento está representado no Esquema 1.

Os testes serão realizados em duas etapas, sendo na primeira etapa a bomba operando somente com água, e a segunda etapa bomba operando em um escoamento bifásico, sendo assim adicionado ar atmosférico ao fluxo. Após ter sido coletado os dados necessários serão plotados os gráficos que representam o comportamento da bomba nas duas situações.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Munson Brunc R. (1997, p. 726), as bombas centrífugas funcionam através do movimento de giro do rotor, que succiona o líquido através do bocal de alimentação e o faz escoar radialmente para fora da carcaça. Então esta energia é agregada ao fluido pelo impelidor, que faz com que tanto a pressão quanto a velocidade absoluta sejam aumentadas ao longo do escoamento.

Getúlio V. Drummond (2006, p. 88) comenta que para ter um pleno funcionamento, a bomba centrífuga tem que estar com a carcaça cheia de líquido, substituindo assim o ar pré existente dentro da mesma. Este processo pode também ser chamado de escorva da bomba.

Para Munson Brunce R. (1997, p. 731) pode ser determinado o aumento real da carga do fluido gerado pela bomba através de um arranjo experimental e utilizando a equação de energia, considerando $h_r = h_e - h_l$, onde h_e é a carga de trabalho do eixo e h_l é perda de carga na bomba.

Outro parâmetro importante que deve ser avaliado no estudo de bombas é a eficiência global que é a razão entre potência transferida ao fluido pela potência de eixo da bomba ou potência de freio.

A eficiência global da bomba pode ser definida como a soma das três eficiências básicas: a eficiência hidráulica (η_h), a eficiência mecânica (η_m) e a eficiência volumétrica (η_v). Os fatores que afetam a eficiência global são as perdas hidráulicas na bomba e as perdas mecânicas nos mancais e vedações. Podem ocorrer também, perdas devido ao vazamento de fluido entre o rotor e a carcaça, que irão afetar as perdas volumétricas.

De acordo com Macintyre (1997, p. 207) o termo NPSH pode ser traduzido como máxima altura de aspiração e representa a energia disponível no fluido que fará com que o escoamento entre pela sucção e alcance a periferia do rotor.

Existem dois valores de NPSH que interessam, o primeiro é o NPSH disponível (NPSHd) que é a quantidade de energia contida no líquido ao

entrar na bomba, sendo afetada pela maneira como a instalação é projetada e dependendo exclusivamente da linha de sucção. Já o NPSH requerido (NPSHr), é a quantidade de energia que deverá ser fornecida a bomba pela instalação, que terá que compensar as perdas inevitáveis devido a turbulência e ao atrito na região entre o bocal de entrada e a entrada das pás, pois nessa região o rotor não fornece energia ao líquido. Sendo assim o NPSHd deverá ser maior que o NPSHr pois a igualdade dos dois representa uma condição limite para o início da cavitação.

Para Drummond Getúlio V. (2007, p. 152) as curvas características das bombas são de extrema importância, pois são elas que caracterizam o desempenho do equipamento, servindo de base para o projetista de um novo sistema de bombeamento. As curvas características são dispostas em:

- a) Altura manométrica versus Vazão;
- b) Potência versus Vazão;
- c) Rendimento versus Vazão;
- d) NPSH requerido versus Vazão.

Considerando uma rotação constante a curva da altura manométrica versus Vazão será uma parábola, podendo assumir diferentes denominações como curva inclinada, curva ascendente-descendente, curva altamente descendente e curva plana.

Sistemas que utilizem bombas com curva ascendente-descendente deverão evitar a utilização do equipamento na região de ascendência, pois apresentam um comportamento instável.

Na curva da potência consumida pela bomba versus vazão no caso em que a vazão for nula, a potência agregada ao escoamento será zero, porém para manter o equipamento em funcionamento será necessária certa quantidade de energia, que acabará sendo dissipada em calor. Se caso a válvula de saída da bomba estiver na posição fechada por um longo período de tempo, ocorrerá super aquecimento no fluido gerando sérios danos ao sistema. Na sequência serão apresentados os resultados do presente estudo.

2.2 METODOLOGIA

Para medição da vazão volumétrica foi utilizado um medidor de vazão modelo waffer Ø3'' da marca Contech, com faixa de vazão de 0 a 183 m³/h. A pressão de sucção foi obtida através de um vacuômetro analógico, com escala de 0 a -760 mmHg. Já a pressão de recalque foi mensurada com um manômetro de diafragma analógico, com faixa de medição de 0 a 14 kgf/cm². Para o controle da pressão na tubulação de saída da bomba foi utilizado uma válvula gaveta de ferro fundido flangeada, com Ø 2 ½'' norma ANSI B 16.5. Os demais dados tais como tensão e corrente, foram coletados do indicador no display do CLP no painel elétrico da bancada.

No que diz respeito a entrada de ar no escoamento, a medição da vazão foi realizada por um rotâmetro vertical com faixa de vazão de 0 a 11 m³/h, e o controle do fluxo de entrada foi realizado por uma válvula de gaveta roscada.

Referente aos dados adquiridos, a vazão foi medida em m³/h, a pressão de recalque em kgf/cm², a pressão de sucção em mmHg, a tensão em volts e a corrente em ampere.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os parâmetros de testes podem ser vistos na Tabela 1. Utilizou-se água nas condições reais de pressão e temperatura, cerca de 30°C e pressão atmosférica local em torno de 95 kPa. O Gráfico 1 apresenta a curva altura manométrica (H_{man}) versus vazão volumétrica da bomba em questão. Para gerar os pontos desta curva foram utilizadas as Equações da literatura para sistemas de bombeamento, e a vazão indicada pelo medidor de vazão da bancada. A curva está de acordo com o apresentado na revisão da literatura, podendo ser classificada como uma curva inclinada.

O Gráfico 2 apresenta o rendimento versus vazão volumétrica da bomba centrífuga em análise. Observa-se nitidamente que, o

comportamento nessa análise é semelhante ao apresentado na fundamentação teórica também, o que valida os resultados.

O Gráfico 3 mostra a curva potência versus vazão da bomba centrífuga submetida à bancada de testes. Mais uma vez, nota-se seu comportamento similar ao previsto pela teoria. Os pontos foram gerados através de cálculo, utilizando a expressão da potência mecânica, e a vazão indicada pelo medidor de vazão.

A curva característica do NPSHr versus Vazão é apresentada no Gráfico 4. Esta curva é fundamental para o usuário verificar a possibilidade de ocorrência do fenômeno de cavitação. Comparando os valores obtidos, tanto a bomba operando somente com água e a outra com a adição de ar, pode se constatar que elas não sofrem alterações em seu comportamento. O que torna válida a teoria de que o NPSHr é influenciado principalmente pela variação do diâmetro médio da sucção da bomba e pela rotação empregada e tais valores foram mantidos constante durante os testes.

3 CONCLUSÃO

Ao término deste estudo para o levantamento das curvas características da bomba, pode-se perceber que com o auxílio dos testes experimentais é possível levantar numericamente o comportamento que rege o funcionamento da bomba e colocá-los em forma de gráfico para facilitar a leitura do mesmo nos manuais do produto.

Através da análise das curvas obtidas com a bomba de micro bolhas operando em um regime somente com água pode-se visualizar que elas assumem um comportamento ideal ao governado pela teoria. Para um escoamento bi-fásico, as curvas ganham um traçado diferente, o que é válido pois as equações foram elaboradas com base em um escoamento monofásico.

Como a vazão de ar nos testes foi mantida constante, e a vazão de água sofreu variação, a fração de ar contida no escoamento foi sendo aumentado, gradativamente de 5,3% a 9,1%, o que casou grande influência

na diminuição de rendimento e diminuição da vazão na bomba, tornando válida a teoria de que com a adição de ar no escoamento gera-se um volume estacionário no centro do rotor da bomba devido a diferença de massas específicas dos fluidos e da força centrífuga gerada, o que ocasiona restrição a passagem da água e quanto maior for esta parcela de ar maior será a restrição.

REFERÊNCIAS

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T. Introdução à mecânica dos fluidos. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 1995, 662 p.

HENN, Érico L. Máquinas de fluido. 2 ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 474 p.
MACINTYRE, Archibald Joseph. Bombas e instalações de bombeamentos. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008, 782 p.

MUNSON, Bruce R.; YOUNG, Donald F., OKIISHI, Theodore H. Fundamentos da mecânica dos fluidos. 2ª ed. rev. São Paulo: ABDR, 1997, 804 p.

NETZSCH DO BRASIL. Série bombas nemosludge-plus. Disponível em: <http://www.netzsch.com.br/website/pt_br/produtos.info.php?show=128&showfrom=14>. Acesso em: nov. 2014.

SOUZA, Zulcy. Projeto de máquinas de fluxo: tomo I, base teórica e experimental. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2011, 188 p.

SULZER LTD.. Products and Services. MPP High Performance Multi-Phase Pump. Disponível em: <<http://www.sulzer.com/en/Products-and-Services/Pumps-and-Systems/Multiphase-Pumps>>. Acesso em: set. 2014.

UNESP. Turbo Bombas. São Paulo, 2014. Disponível em: <www.feg.unesp.br/~caec/antigo/quarto/hg_turbobombas.doc> Acessado em 27 out. 2014.

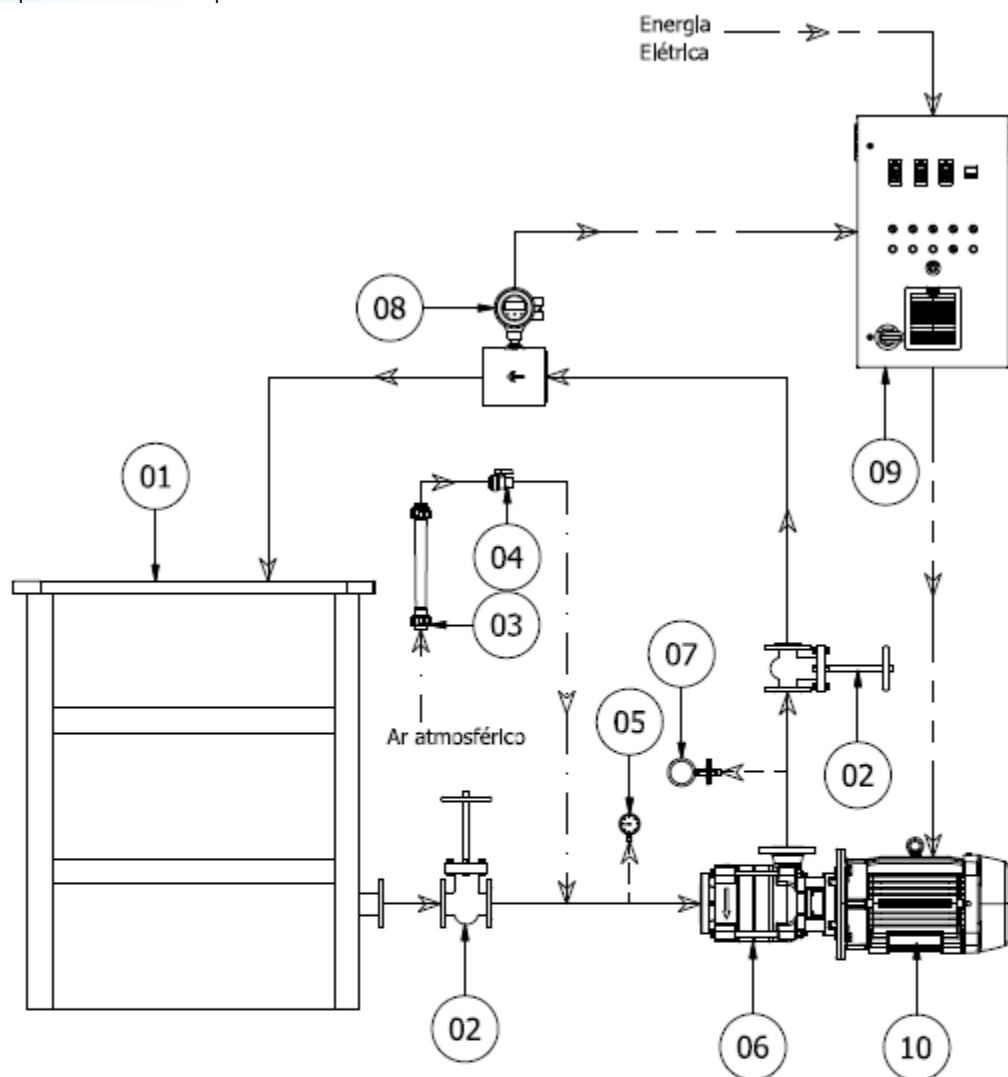
UNICAMP. Aula 12 sobre bombas. São Paulo, 2014. Disponível em <www.unicamp.br/fea/ortega/aulas/aula12_BombasHprojeto.ppt> Acessado em: 03 out. 2014.

USP. Bombas. São Paulo, 2014. Disponível em <<http://www.dequi.eel.usp.br/~tagliaferro/Bombas.pdf>> Acessado em: 01 nov. 2014

Sobre o(s) autor(es)
 Cristiano Meneghini - Mestre em Engenharia Mecânica
 Professor de Engenharia Mecânica na UNOESC
 E-mail: cristiano.meneghini@unoesc.edu.br

Eduardo Vieira Sarmiento - Graduado em Engenharia de Produção Mecânica
 Email: dudo_tiriva@hotmail.com

Esquema 1 - Princípio de funcionamento da bancada de testes.



- Ar atmosférico
- Fluxo de água + ar
- Sinal elétrico
- Sinal mecânico

Item	Descrição
01	Tanque retangular 10000 L
02	Válvula de gaveta
03	Rotâmetro
04	Registro de esfera
05	Vacuomêtro
06	Bomba
07	Manometro
08	Medidor de vazão
09	Painél elétrico
10	Motor elétrico

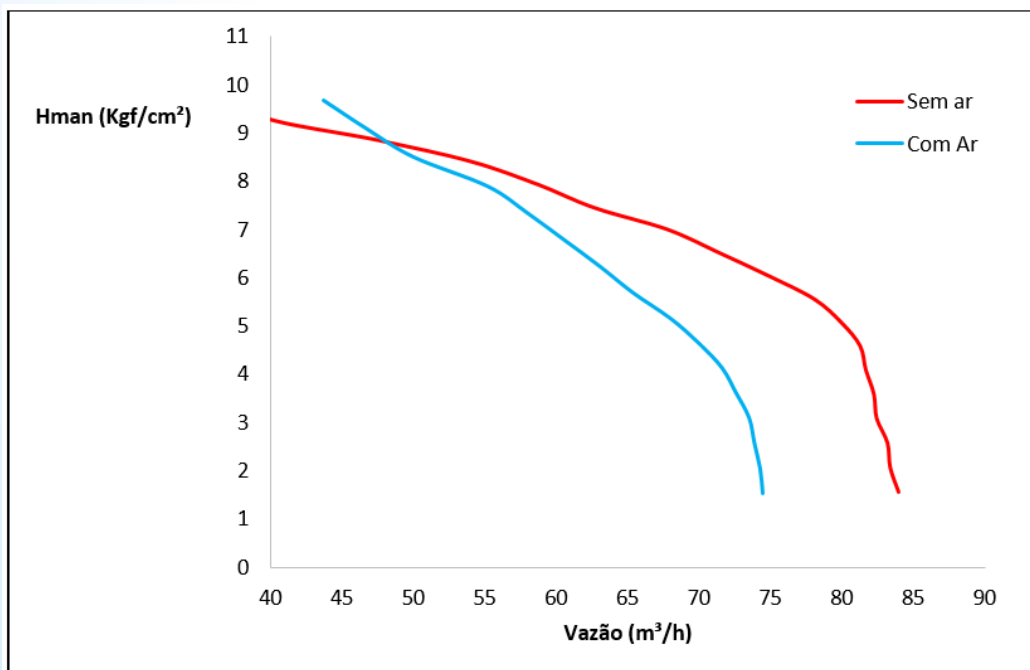
Fonte: Os autores.

Tabela 1- Parâmetros utilizados nos testes.

Descrição	Dimensões
Diâmetro de sucção, em m	0,085
Diâmetro de recalque, em m	0,065
Distância do centro da bomba até vacuômetro (Z1), em m	0,125
Distância do centro da bomba até o manômetro (Z2), em m	0,27
Peso específico da água á 1 atm e 30°C (γ), em N/m ³	9789
Peso específico do ar á 1 atm e 30°C (γ), em N/m ³	11,43
Potência do motor elétrico, em Kw	18,5
Rendimento do motor elétrico	0,90

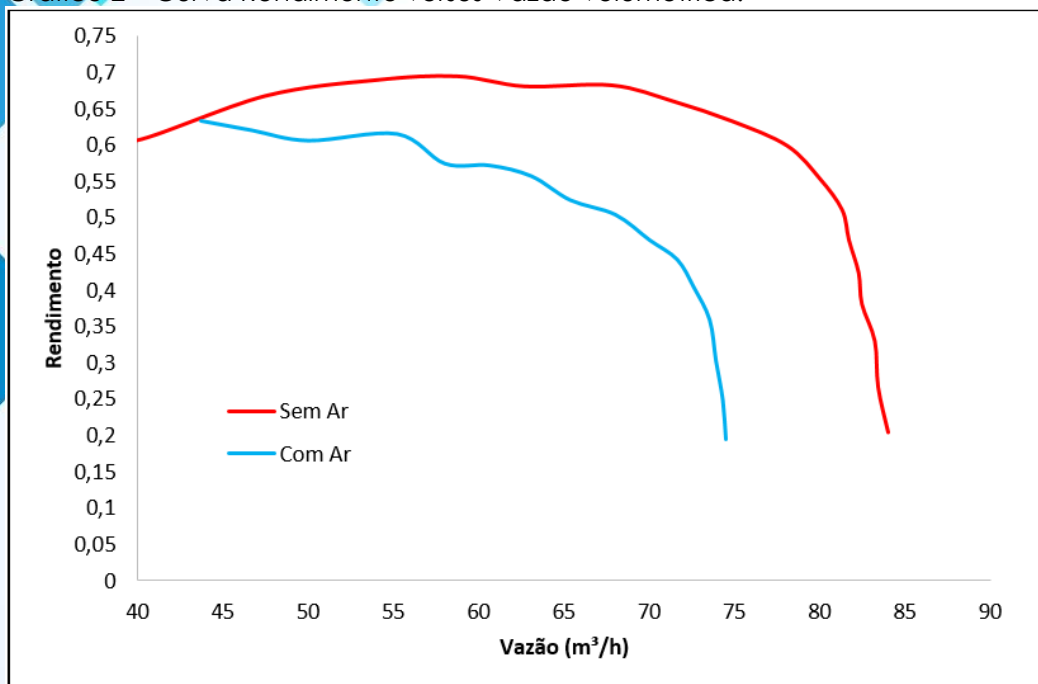
Fonte: Os autores.

Gráfico 1 – Curva Hman versus Vazão volumétrica.



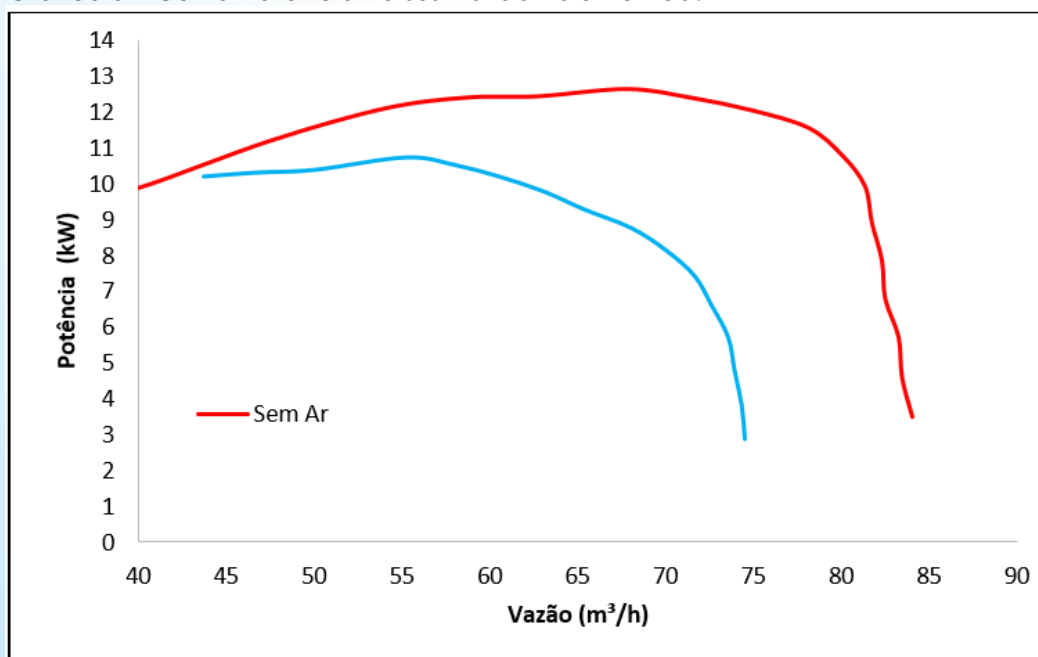
Fonte: Os autores.

Gráfico 2 – Curva Rendimento versus Vazão volumétrica.



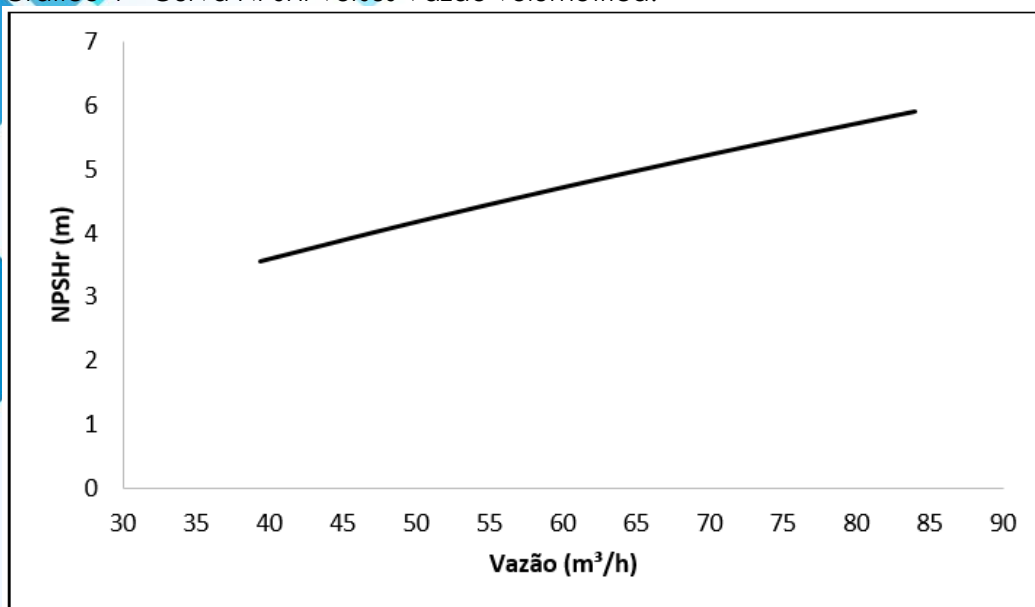
Fonte: Os autores.

Gráfico 3 – Curva Potência versus Vazão volumétrica.



Fonte: Os autores

Gráfico 4 – Curva NPSHr versus Vazão volumétrica.



Fonte: Os autores