

JEAN CARLOS PIMENTA ALMEIDA

**CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA EXPERIMENTAL
PARA VALIDAÇÃO DE MODELO TEÓRICO DE
ALIMENTAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

2019

JEAN CARLOS PIMENTA ALMEIDA

**CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA EXPERIMENTAL PARA
VALIDAÇÃO DE MODELO TEÓRICO DE ALIMENTAÇÃO DE
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia (UFU) como sendo um
requisito parcial para a obtenção do título de **BACHAREL EM
ENGENHARIA MECÂNICA.**

Orientador: Prof. Dr. Valério Luiz Borges

**UBERLÂNDIA - MG
2019**

JEAN CARLOS PIMENTA ALMEIDA

**CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA EXPERIMENTAL PARA
VALIDAÇÃO DE MODELO TEÓRICO DE ALIMENTAÇÃO DE
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia (UFU) como sendo um
requisito parcial para a obtenção do título de **BACHAREL
EM ENGENHARIA MECÂNICA.**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Valério Luiz Borges / (Orientador)

Prof. Dr. Elie Luis Martínez Padilla

Prof. Msc. Werley Rocherter Borges Ferreira

Uberlândia, 13 de dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e a minha família em especial meu pai Alan Carlos, minha mãe Giane, meu irmão Luan e minha avó Isolda, por terem me apoiado e dado todo suporte necessário para que pudesse superar todas as adversidades, sem o apoio que tive não conseguiria.

A minha namorada Ana, que com todo amor e carinho me deu toda a motivação necessária para que eu conseguisse escrever o presente trabalho.

A todos os amigos que fiz durante a graduação que me ajudaram nas noites mal dormidas e nos momentos de descontração que deixaram mais fácil a minha caminhada.

Gostaria de agradecer também ao Professor Doutor Valério Luiz Borges, por toda sua dedicação, paciência e amizade.

Ao Laboratório de Transferência de Calor e Massa da Universidade Federal de Uberlândia que ofereceu toda sua estrutura e espaço para o melhor desenvolvimento do projeto.

Por fim a minha colega de curso Juliana Paes dos Santos por toda a parceria e amizade desempenhada não somente neste projeto, mas também ao longo de todo o curso.

Dedico este trabalho aos que partiram antes de sua conclusão com muita saudade, meu primo Maycon Pimenta e meu avô Teotônio Divino da Silva.

ALMEIDA, J.C.P **Construção de uma bancada experimental, para validação de modelo teórico de alimentação de reservatórios de água**. 2019. Projeto de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil.

Resumo

Reservatórios de água em lugares elevados, usualmente chamadas de caixas d'água, são maneiras de se transformar a energia cinética empregada na água em energia potencial gravitacional, sendo assim um objeto de estudo de grande importância, por sua vasta gama de utilização, desde casas residenciais a grandes complexos industriais. Então a otimização desse processo se torna fundamental. É comum que a alimentação de reservatórios de água seja feita por cima na maioria das aplicações, porém se estudarmos a fundo as equações matemáticas que modelam o sistema, veremos que essa não seria a melhor opção, quando se busca completar o reservatório na menor quantidade de tempo e então poupando energia, principalmente em aplicações com maiores perdas de cargas, por exemplo em tubulações extensas ou com uma vasta gama de válvulas e acessórios, o enchimento por baixo do reservatório se mostra mais eficaz. No presente trabalho foi realizada a construção de uma bancada experimental para a validação do modelo teórico do questionamento levantado acerca de qual a melhor forma de alimentação de reservatórios de água.

Palavras-chave: Reservatório de água, tempo de enchimento, sistemas hidráulicos, bombeamento

ALMEIDA, J. C. P . **Construction of an experimental bench to validate the theoretical model of water reservoir feeding**2019. Graduation Project, Federal University of Uberlandia, Uberlandia, Brazil

Abstract

Elevated water reservoirs, commonly called water tanks, are ways of transforming the kinetic energy used in water into gravitational potential energy, thus being a major subject of study, for its wide range of use, from residential homes to large industrial complexes. So the optimization of this process becomes fundamental. It is common for water reservoirs to be fed from above in most applications, however if we thoroughly study the mathematical equations that model the system, we will see that this would not be the best option. When seeking to complete the reservoir in the shortest amount of time, and therefore saving energy, especially in applications with higher pressure losses, for example in long pipelines or with a wide range of valves and fittings, filling from under the reservoir proves to be most effective. In the present work, an experimental workbench was built to validate the theoretical model of the question raised about the best way to feed water reservoirs.

Keywords: Water tank, Filling time, Hydraulic systems, Pumping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenhos esquemáticos de bombas de deslocamento positivo (White, Frank M. "Mecânica dos Fluidos." (2011))	6
Figura 2 – Rotor de Bomba Regenerativa ou Periférica.....	6
Figura 3 – Desenho esquemático de uma válvula de esfera.....	7
Figura 3 – Desenho em corte de válvula globo (Telles, 2010)	8
Figura 5 – Tipos de Tubo Bourdon (Gonçalves, 2003)	9
Figura 6 - Medidor de Vazão Tipo Turbina (DELMÉE, 1983).....	10
Figura 7– Modelo Físico	22
Figura 8- Bomba D'água Periférica BP500 Intech Machine	24
Figura 9- Gráfico Vazão por Altura manométrica total da bomba BP 500 Intech Machine.....	24
Figura 10– Reservatório principal.....	25
Figura 11– -Sensor do tipo hall medidor de fluxo 3/4".....	26
Figura 12– – Válvula globo	27
Figura 13– Instalação de válvula globo e medidor de fluxo.....	28
Figura 14– Manômetros Valfluid 1 a 4 Kgf/cm ²	29
Figura 15– Vista em corte de desenho da bancada.....	29
Figura 16– Sensor do tipo hall medidor de fluxo 3/4" com redução 1/2"	30
Figura 17– Tektronix TDS 380.....	30
Figura 18– - (a) Gancho fixado na parede; (b)Cabo de aço passado pelo tubo de PVC e preso com braçadeira.	31
Figura 19– Parte superior da bancada.....	31
Figura 20– Reservatório secundário.....	32
Figura 21– (a) – Válvula de esfera de direcionamento; (b) Válvula de esfera de descarga.....	32
Figura 22– Desenho no solidworks.....	33
Figura 23– Chave seletora siemens	33
Figura 24– Boia elétrica.....	34
Figura 25– Visão geral da bancada	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações técnicas da bomba d'água periférica BP 500 Intech Machine.....	24
Tabela 2: Descrição técnica do sensor do tipo hall medidor de fluxo de $\frac{3}{4}$ ".....	27
Tabela 3: Tabela de acessórios de tubulação.....	30

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

D	Diâmetro [m]
Q	Vazão [m ³ /s]
P	Pressão [Pa]
<i>P_{head}</i>	Pressão recalque bomba [Pa]
<i>P_{perdas}</i>	Pressão de perdas do sistema [Pa]
Δt	Variação de Tempo [s]
ρ	Densidade [kg/m ³]
g	Gravidade [m/s ²]
H _{head}	Altura manométrica bomba [m]
H _{perdas}	Altura manométrica perdas do sistema [m]
L	Comprimento de tubulação [m]
L _e	Comprimento equivalente tubulação [m]
f	Fator de atrito
k	Coefficiente de perda de carga
K _v	Coefficiente de vazão [$\frac{m^3}{\sqrt{Pa}}$]

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	2
1.1 Contextualização.....	2
1.2 Objetivo.....	3
1.2.1 Objetivo geral	3
CAPÍTULO II.....	4
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Trabalho inédito	4
CAPÍTULO III.....	5
REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
3.1 Bombas.....	5
3.2 Válvulas	7
3.3 Medidores de pressão.....	8
3.4 Medidores de Vazão	9
3.5 Sensor de efeito Hall.....	10
CAPÍTULO IV	21
Construção da Bancada	21
4.1 Etapa 1 – Modelagem teórica para definição de variáveis de entrada.....	21
4.2 Etapa 2 – Escolha de Bomba	23
4.3 Etapa 3 – Definição de dados a serem adquiridos para variáveis de saída;	26
4.4 Etapa 4 4 – Definição de válvulas, acessórios e reservatórios	27
4.5 Etapa 5 – Implementação da bancada	31
CAPÍTULO V	35
5.1 Conclusões	35
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	35
Capítulo VI.....	36
Referências bibliográficas	36

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A cada dia a humanidade consome mais energia elétrica, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de 1997 até 2007 o consumo de energia elétrica aumentou em cerca de 70%. Com o aparecimento de novas tecnologias e equipamentos cada vez mais dependentes de energia elétrica, o consumo deve seguir aumentando, o que torna cada vez maior a necessidade de novas formas de obtenção de energia ou de meios para se reduzir o consumo em práticas já estabelecidas.

Segundo a agência nacional de águas as vazões de retirada de água pelas indústrias brasileiras em 2013 chegaram a 207,1[m³/s]. É possível especular um alto consumo de energia elétrica, para ser possível chegar a esse nível de vazão utilizada.

Praticamente todas as aplicações que envolvem a utilização de água, envolvem reservatórios de água, pois normalmente a água é um recurso que não se pode faltar em nenhum momento de qualquer processo produtivo, então para isso a existência de reservatórios de água.

Atualmente existe um paradigma no enchimento de reservatórios de água, no qual a grande maioria dos reservatórios são alimentados por cima, sem levar em consideração outras possibilidades com maiores ganhos energéticos. O enchimento por baixo, por exemplo pode apresentar resultados consideráveis em sistemas hidráulicos com vasta extensão de tubulações e grande variedade de válvulas e acessórios, que apresentam valores significativos de perda de carga.

. Este trabalho contém o estudo teórico e experimental sobre a viabilidade de se encher reservatórios com sua alimentação afogada, ou seja, por baixo, visando assim um ganho de tempo de bombeamento e logo um ganho energético.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

A construção de uma bancada para provar experimentalmente que a alimentação de reservatórios de água com entrada na parte mais baixa do reservatório pode resultar em ganhos de tempo e então de energia gasta no bombeamento.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Trabalho inédito

Máquinas de fluxo e sistemas hidráulicos apesar de ser uma área muito antiga no campo da engenharia, ainda existem muitos assuntos a serem abordados e estudados mais a fundo, o presente trabalho visa a construção de uma bancada para aprofundar um pouco mais neste campo.

Após revisada a literatura relacionada ao tema, ficou evidente que o trabalho em questão é inédito, pois não foi encontrado nenhum trabalho, no qual se tratava o tema abordado.

CAPÍTULO III

REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Bombas

Uma das mais antigas máquinas de transferência de energia para um fluido inventadas pelo ser humano são as bombas. Visto isso é natural que exista uma infinidade de tipos de bombas, porém elas são classificadas em dois tipos basicamente:

- Bombas de deslocamento positivo

Essas bombas possuem o princípio básico de funcionamento forçando o movimento do fluido através de variações de volume, possuem um escoamento pulsante e periódico. Através de uma cavidade que se abre para a entrada do fluido e então essa cavidade se fecha e então o fluido é comprimido em direção a uma cavidade de saída. Alguns modelos de suas formas construtivas seguem os exemplos da Figura 1.

- Bombas dinâmicas

Bombas dinâmicas apresentam o funcionamento acrescentando quantidade de movimento ao fluido, normalmente através de pás ou outros mecanismos projetados especialmente para se movimentar rapidamente convertendo assim sua alta velocidade em um aumento de pressão do fluido. Nessa categoria temos as bombas centrífugas e axiais como grandes exemplos.

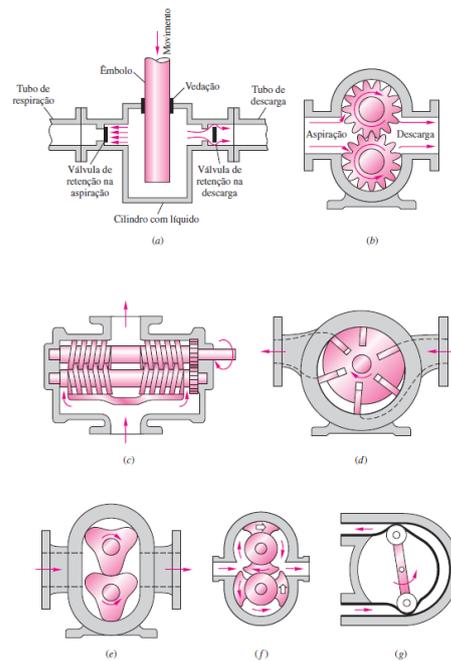


Figura 1 – Desenhos esquemáticos de bombas de deslocamento positivo (White, Frank M. "Mecânica dos Fluidos." (2011))

No presente trabalho foi utilizada uma bomba periférica ou regenerativa que possui um rotor com características construtivas um pouco diferentes das tradicionais bombas centrífugas. Esse rotor possui uma de suas faces estriada com pequenas aletas que através de forças centrífugas, impulsionam o fluido na direção radial para fora e está representado na Figura 2



Figura 2 – Rotor de Bomba Regenerativa ou Periférica

Fonte: <https://www.apexequipmentltd.com/roth-pump-company/regenerative-turbine-pumps-the-clear-solution-for-volatile-fluids/>

Esse tipo de bomba pode ser descrito por uma curva característica, que evidencia a vazão em função da altura manométrica

Para avaliar o desempenho de bombas pode se utilizar a curva vazão x altura, pois ela evidencia a altura que uma bomba pode atingir com uma determinada vazão. Assim sendo possível até mesmo fazer uma extrapolação com coeficientes encontrados através de regressão linear utilizando a própria curva da bomba.

3.2 Válvulas

Válvulas são mecanismos que atuam no direcionamento e até mesmo na modulação do fluxo de líquido que escoar através de um sistema hidráulico, podendo existir nas mais diversas configurações. Então deve-se analisar cuidadosamente as características de cada uma para uma melhor aplicação em sistemas hidráulicos.

Segundo Telles (2001) os inúmeros tipos de válvulas podem ser agrupados em 5 tipos principais:

- Válvulas de bloqueio;
- Válvulas de regulação;
- Válvulas que permitem o fluxo em um só Sentido;
- Válvulas que controlam a pressão de montante;
- Válvulas que controlam a pressão a jusante;

No presente trabalho foram utilizados somente válvulas de bloqueio e de regulação, por satisfazerem as necessidades para a solução da problemática envolvida.

Válvulas de bloqueio, como o próprio nome já sugere são válvulas que possuem como função principal estabelecer ou interromper o fluxo, ou seja, só devem funcionar completamente abertas ou completamente fechadas, alguns exemplos desse tipo de válvula são: Válvulas de gaveta, válvulas de macho, válvulas de esfera e válvulas de comporta.



Figura 3 – Desenho esquemático de uma válvula de esfera.

Fonte: <https://www.mtibrasil.com.br/valvula-esfera-tripartida.php>

Válvulas de regulação são válvulas próprias para controlar a vazão, por essa razão podem trabalhar até mesmo parcialmente abertas, algumas dessas válvulas podem

inclusive trabalhar como válvulas de bloqueio. Alguns exemplos desse tipo de válvula são: Válvula de globo, válvula de agulha, válvula de controle, válvula borboleta e válvulas de diafragma

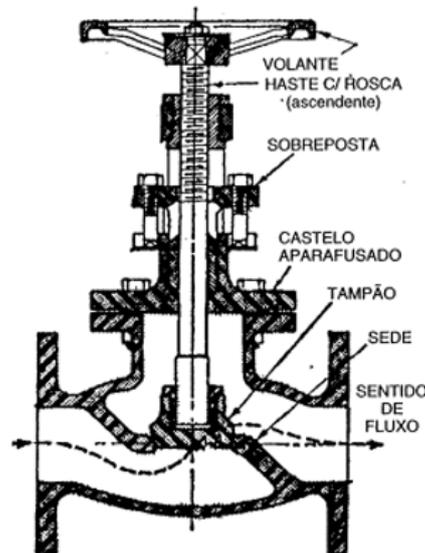


Figura 4 – Desenho em corte de válvula globo (Telles, 2010)

3.3 Medidores de pressão

A medição de pressão é uma das mais importantes medidas, pois através dessa medida podemos inferir em várias outras por exemplo o nível ou a vazão. Definimos a pressão como uma força por unidade de área:

$$P = \frac{F}{A}$$

Existem algumas nomenclaturas para diversas pressões exercidas, como:

- Pressão atmosférica, onde é a pressão exercida pela atmosfera e pode ser medida em um barômetro, ao nível do mar esta pressão é 1 atm.
- Pressão relativa é a pressão medida em relação a pressão atmosférica;
- Pressão absoluta é a soma da pressão atmosférica com a relativa, podendo se referir como sendo a pressão medida a partir do vácuo absoluto;

Para então realizarmos as medidas de pressão em fluidos dentro de sistemas hidráulicos, utilizamos um manômetro que mede a pressão relativa ou manométrica estes manômetros podem conter vários elementos sensíveis e conter transmissores ou até mesmo controladores.

O elemento sensível de medição mais utilizado é o tubo bourdon, que geralmente possui um tubo de seção oval, porém em forma de arco de circunferência, possui uma de suas extremidades seladas e outra em contato com o fluido com a pressão a ser medida. Através da pressão exercida na extremidade fechada o tubo tende a se tornar uma seção circular, gerando um movimento na ponta fechada, esse movimento através de um sistema de transmissão é transmitido para o ponteiro que pode indicar a medida de pressão.

O tubo bourdon possui três formas construtivas diferentes, porém com o mesmo princípio de funcionamento, de acordo com a Figura 5.

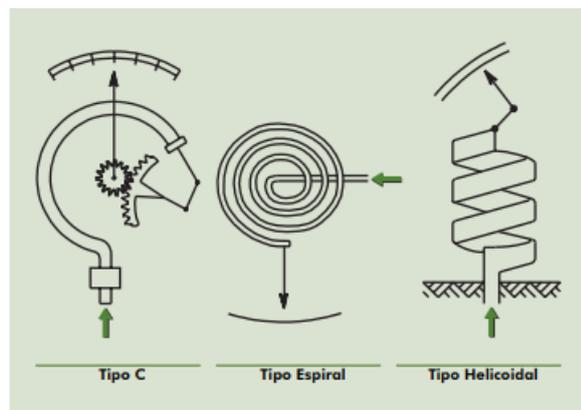


Figura 5 – Tipos de Tubo Bourdon (Gonçalves, 2003)

3.4 Medidores de Vazão

A quantidade de fluidos que passa por um certo local específico em uma unidade de tempo, é definida como vazão, o total movimentado pode medido em unidades de volume ou massa. As unidades de vazão para fluidos mais utilizadas são: litros/min, m³/hora, galões/min. Já em casos de gases ou vapores as unidades mais utilizadas são kg/ ou m³/h.

Existem basicamente dois tipos de medidores de vazão tradicionais:

- Quantidade
- Volumétrico

Medidores de vazão de quantidade são os que conseguem medir a quantidade de fluido que passou, porém não conseguem medir a vazão do fluxo, como os que equipam bombas de gasolina e hidrômetros.

Medidores de vazão de quantidade volumétrica são aqueles que quando o fluxo passa certa quantidade de vezes, ativando assim o senso que aciona o mecanismo para a indicação.

Um dos sensores de vazão volumétricos é o sensor rotativo, onde a rotação de uma turbina é proporcional a vazão, porém esse tipo de sensor só mede a velocidade de fluidos em um sentido. No caso a conversão dos sinais em valores de vazão se dá através de um processo de calibração (KILIAN,2004)

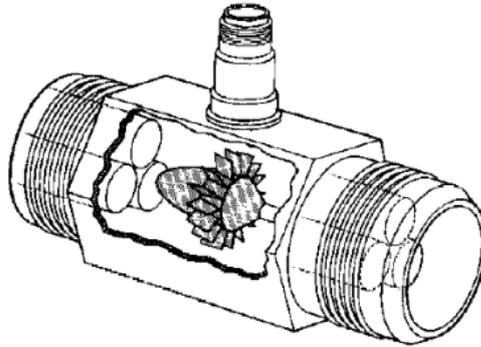


Figura 6 - Medidor de Vazão Tipo Turbina (DELMÉE,1983)

3.5 Sensor de efeito Hall

O efeito Hall foi descoberto por Edwin H. Hall ao final do século XIX, esse efeito se baseia na diferença de potencial através de um condutor elétrico. Um fio metálico que esteja com corrente elétrica e simultaneamente sendo afetado por um campo magnético, resultaria na diferença de potencial entre duas regiões, que pertencem a um mesmo plano perpendicular à corrente e ao campo magnético que atinge o fio.

CAPÍTULO IV

Construção da Bancada

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do projeto para a construção da bancada experimental

Para a construção da bancada foi levada em consideração o seguinte raciocínio para o melhor desenrolar de todos os passos:

1. Modelagem teórica para definição de variáveis de entrada;
2. Escolha de uma bomba com custo acessível, com respectivas alturas e vazões condizentes com o objetivo do projeto;
3. Definição de dados a serem adquiridos para variáveis de saída;
4. Definição de válvulas, acessórios e reservatórios a serem utilizados na implementação da bancada;
5. Implementação de equipamentos em formato de bancada;

4.1 Etapa 1 – Modelagem teórica para definição de variáveis de entrada

O primeiro desafio para a construção da bancada experimental foi definir as variáveis de entrada, ou seja, o que seria necessário para que fosse possível construir uma bancada experimental para provar a diferença de tempo de enchimento com a alimentação por cima e a alimentação por baixo.

De acordo com modelo levantado nas aulas teóricas realizadas durante a matéria máquinas de fluxo e sistemas hidráulicos, no curso de engenharia mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, ministradas pelo Professor Doutor Valério Luiz Borges. de acordo com formulação e modelos dados a baixo, conforme Figura 7

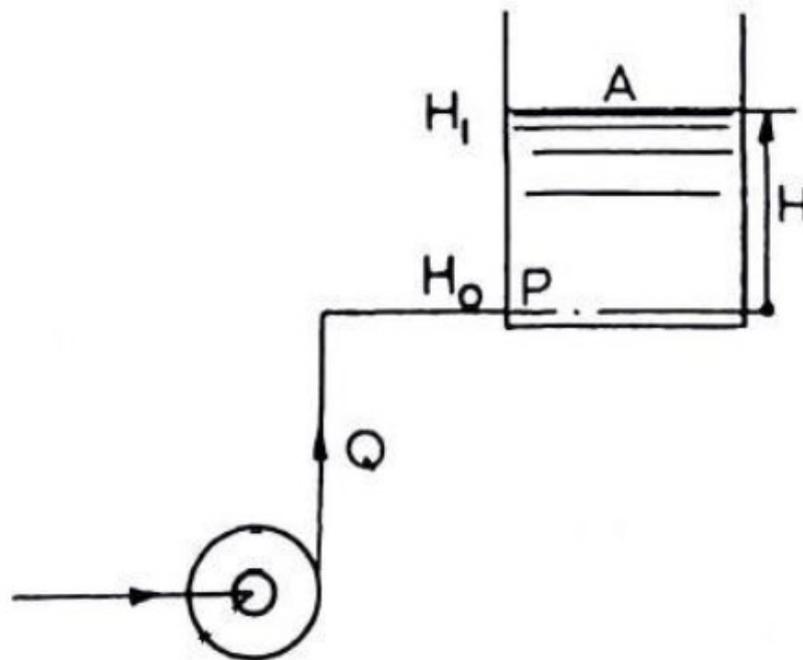


Figura 7– Modelo Físico

A pressão no fundo do reservatório pode ser escrita de duas formas:

$$P = \rho g H \quad (1)$$

$$P = P_{head} - P_{perdas} \quad (2)$$

Igualando as equações (1) e (2) temos:

$$P_{head} - P_{perdas} = \rho g H \quad (3)$$

Agora vamos diferenciar ambos os lados da equação (3).

$$\frac{\Delta(P_{head} - P_{perdas})}{\Delta t} = \frac{\rho g H}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta(P_{head} - P_{perdas})}{\Delta t} = \rho g V_{nível}$$

$$\frac{\Delta(P_{head} - P_{perdas})}{\Delta t} = \frac{\rho g Q}{A} \div \rho g$$

$$\frac{\Delta(H_{head} - H_{perdas})}{\Delta t} = \frac{Q}{A}$$

$$H_{head} = aQ^2 + bQ + c \quad (4)$$

$$H_{\text{perdas}} = \left(\frac{8}{\pi^2 g D^4} \right) \left(\frac{f(L + \sum L_e)}{D} + \sum K \right) Q^2 + \left(\frac{129.6 \times 10^6}{K v^2} \right) Q^2 \quad (5)$$

$$\Delta t = \left(\frac{\Delta(H_{\text{head}} - H_{\text{perdas}})}{Q} \right) A \quad (6)$$

Seguindo esse raciocínio foi possível determinar que a variação de tempo de enchimento de um reservatório depende fundamentalmente da diferença ganho de alturas manométrica e das perdas de acordo com a equação 6

Então tendo esse equacionamento foi possível determinar que quanto maior a diferença entre as alturas manométricas, maior seria a diferença de tempo nos enchimentos. Então uma variável que foi logo colocada em evidência foi a altura da bancada, que deveria ser a mais alta possível para que fosse possível que mesmo em uma escala reduzida conseguíssemos uma diferença de tempo de enchimento.

Para isso a limitação que foi encontrada seria exatamente a altura da sala do laboratório de transferência de calor e massa (LTCM) da Universidade Federal de Uberlândia, onde a bancada seria montada, a altura do teto da sala possuía 3,10 m aproximadamente de altura.

Então através disso foi definido que o reservatório deveria ser o mais comprido possível para que existisse uma diferença considerável entre suas alturas. E também que a bancada deveria favorecer o máximo a perda de carga pelo sistema para aumentar ainda mais a diferença.

4.2 Etapa 2 – Escolha de Bomba

Para selecionar a bomba foram realizadas pesquisas de mercado para encontrar uma bomba que se encaixasse com o objetivo do trabalho em questão.

Inicialmente foram analisadas até mesmo bombas de aquário, devido a serem de baixo custo, porém quando se analisava o seu recalque, foi possível perceber problemas na altura máxima que essas bombas conseguiam bombear o fluido, visto que uma das variáveis já pré-definidas era justamente que, a maior diferença de altura resultaria em maiores diferenças de tempo.

Então para a escolha de uma bomba satisfatória, foi levada em consideração principalmente a altura manométrica que a bomba conseguiria desempenhar. Então encontrou-se uma bomba periférica ou regenerativa da fabricante Intech Machine conforme ilustrado na Figura 8, com altura manométrica de 25 m, equivalentes a aproximadamente 2.5 bar, sendo valores que poderiam dar uma condição satisfatória para o experimento.



Figura 8- Bomba D'água Periférica BP500 Intech Machine

Segundo o fabricante as especificações da bomba seguem a Tabela 1 e sua curva de Vazão x Altura na Figura 9.

Potência do motor	½ HP
Sucção máxima	8 m
Vazão máxima	33 l/min
Selo mecânico	Sim
Rolamento	DDU Blindado
Rotor	Bronze
Tampa e Corpo	Ferro Fundido

Tabela 1: Especificações técnicas da bomba d'água periférica BP 500 Intech Machine

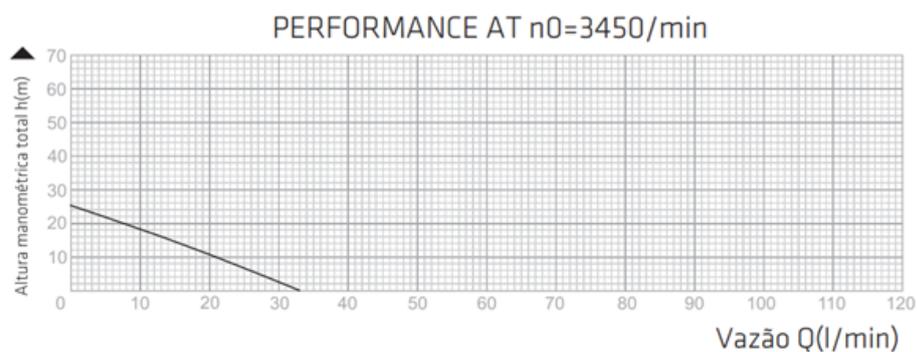


Figura 9- Gráfico Vazão por Altura manométrica total da bomba BP 500 Intech Machine

A curva da bomba representada na Figura 9, não obedece a lei de formação representada na equação 4, pois como essa bomba é regenerativa a sua lei de formação seria melhor ajustada a uma curva do primeiro grau, conforme equação 7.

$$H_{head} = aQ + b(7)$$

Após escolhida a bomba levando em consideração a vazão máxima dela, foi definido o volume necessário para o reservatório, como a vazão de *shut-off* da bomba é 33 l/min, ou seja, o maior valor de vazão que essa bomba consegue implementar, foi estipulado um volume de 50 litros, para que apesar de não se conhecer o valor exato da vazão desempenhada no sistema da bancada ainda, sabe-se que seria menor que o valor da vazão máxima da bomba, que já levaria 1,5 minutos para encher tal volume em sua vazão máxima, um tempo de teste satisfatório.

Então visto isso foram cotados diversos materiais para serem escolhidos como reservatório principal, com base que nas exigências de projeto um reservatório alto e com volume de 50 litros, a solução mais viável encontrada para essa questão foi adquirir 1,1 m de tubo de PVC de diâmetro de 250 mm e juntamente uma tampa para tubos de PVC soldável, feita no mesmo material para selar um dos lados do reservatório, Figura 10.

Para que fosse possível obter uma maior variação de altura entre a bomba e o reservatório ficou estipulado que o reservatório seria fixado ao teto.



Figura 10– Reservatório principal

Um dos problemas na escolha desse tipo de reservatório, foi a falta de visualização do nível da água, a medida em que o teste seria desenvolvido. Para solucionar esse problema foi feito um furo na base do reservatório e adaptado um flange juntamente com uma mangueira transparente, que foi cotada de 10 em 10 litros, para que fosse possível visualizar o nível de água nos testes.

4.3 Etapa 3 – Definição de dados a serem adquiridos para variáveis de saída;

Após definido a bomba e o reservatório, foi definido quais seriam as variáveis necessárias para aquisição após a bancada estar montada, para que fosse possível demonstrar as diferenças entre os dois sistemas de enchimento.

Logo então foi decidido a utilização de um sensor de vazão, pois seria imprescindível conhecer as vazões empregadas durante o enchimento, principalmente para demonstrar o fato de que quando o reservatório está sendo enchido por baixo a sua vazão começa em um valor maior quando comparada ao enchimento por cima, pois a sua altura manométrica é menor e com o passar do tempo a medida que o reservatório fosse enchendo as vazões por cima e por baixo se equiparariam pelo decaimento da vazão por baixo.

Então para ser decidido qual medidor de vazão poderia ser utilizado na bancada, foi realizada outra pesquisa de mercado, visto que existem medidores com valores bastante elevados para o padrão da bancada que seria construída, por essa razão foi dimensionado um medidor de vazão que atendesse a vazão máxima da bomba já escolhida os 33 l/min e por tanto o medidor de vazão escolhido possui uma variação de 2 a 45 l/min, ou seja, com uma boa amplitude para adquirir valores de vazão para a bancada experimental, conforme Figura 11.

Este medidor de vazão escolhido possui um sensor do tipo hall que nada mais é que um sensor eletromagnético que emite um pulso com a cada volta da hélice que é movimentada pelo fluxo de água dentro dele.



Figura 11– -Sensor do tipo hall medidor de fluxo 3/4”

Escala de fluxo	2-45 L/min
Pressão máxima da água	1,75 MPa
Faixa de tensão de trabalho	DC 4,5-18 V
Corrente máxima	10 mA
Precisão	5%-10%
Calibração	F=8,1*Q-3

Tabela 2: Descrição técnica do sensor do tipo hall medidor de fluxo de 3/4"

4.4 Etapa 4 4 – Definição de válvulas, acessórios e reservatórios

Após todo o trabalho desenvolvido até aqui, foram analisados os dados de projetos e para que a bancada se tornasse mais eficaz em seu desenvolvimento, seria necessário elevar as perdas de cargas do sistema conforme equação 4.

Para isso uma das medidas adotadas foi a utilização de uma válvula globo Figura 12, que seria possível simular uma maior perda de carga no sistema hidráulico através do fechamento dessa válvula, como é uma válvula de controle seria possível regular a vazão fazendo com que o sistema tenha uma maior perda de carga e então uma maior diferença de tempo de enchimento.



Figura 12– – Válvula globo

Então para que ficasse conhecido a disposição dessa válvula seria necessário calcular o Kv da válvula de acordo com suas aberturas. Esse coeficiente é definido pela equação 5.

$$Q = Kv * \sqrt{P}$$

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{P}}(8)$$

A instalação do medidor de vazão após a válvula globo, conforme Figura 13 é exatamente para que fosse possível conhecer a vazão exatamente após a válvula globo, para ser possível calcular o coeficiente de vazão da válvula.



Figura 13– Instalação de válvula globo e medidor de fluxo

Através dessa equação 8, fica evidente que conhecendo a vazão que seria obtida através do sensor tipo hall medidor de fluxo, necessitaríamos da pressão para que fosse conhecido o coeficiente de vazão K_v .

Logo se faz necessário a presença de manômetros para que seja possível conhecer a pressão envolvida no sistema hidráulico. Então segundo esses dados surgiu a necessidade de se adquirir 2 manômetros um para ser colocado após a bomba para que fosse possível até mesmo uma calibração dos sensores através da curva da bomba, que poderia ser realizada facilmente conhecendo a vazão e o recalque e outro manômetro após a válvula globo para que fosse possível conhecer a pressão para se calcular o coeficiente de vazão que a válvula estaria desempenhando sobre o sistema.

Porém para isso foi necessário estipular um manômetro que seria útil para o sistema hidráulico que tivesse valores de faixa nominal e resolução condizentes com os impostos na rede hidráulica. Então supondo que a pressão da linha ficaria em torno do valor de 1 bar, foi adquirido dois manômetros Valfluid de 1 kgf/cm^2 a 4 Kgf/cm^2 Figura 14, sendo que 1 Kgf/cm^2 equivale a 0,98 bar.



Figura 14– Manômetros Valfluid 1 a 4 Kgf/cm²

Pela mesma razão que foi adicionado ao projeto uma válvula globo, também foi decidido que quanto menor a tubulação e maior a quantidade de acessórios resultaria em uma maior perda de carga no sistema segundo a equação 5 aumentando assim a diferença de tempo segundo a equação 6.

Assim a menor tubulação de PVC encontrada no mercado de fácil acesso foi a tubulação de diâmetro de $\frac{1}{2}$ polegada e para um maior comprimento equivalente (L_e) e maior comprimento (L), decidimos colocar a bomba no chão necessitando assim de mais acessórios para que a tubulação pudesse chegar ao reservatório principal, conforme Figura 15.

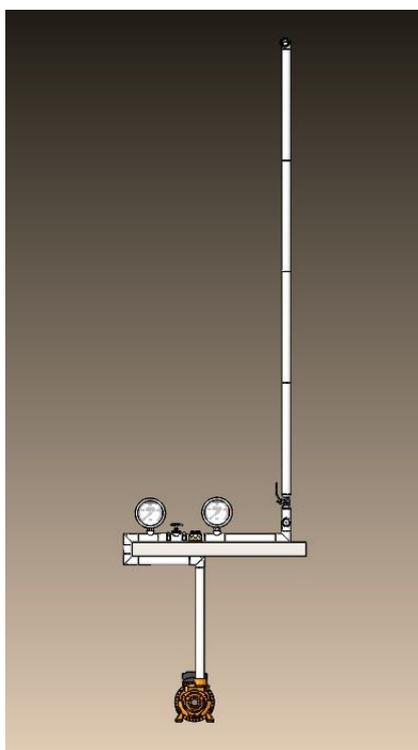


Figura 15– Vista em corte de desenho da bancada

A relação de quantidades de conexões e acessórios além do comprimento da tubulação total estão disponíveis na Tabela 3.

Material	Quantidade
Curvas ½" PVC	8 unidades
Conexão T PVC	4 unidades
Flange para reservatórios	4 unidades
Mangueiras	4 m
Tubulação ½"	6,27 m

Tabela 3: Tabela de acessórios de tubulação

Devido a essa escolha de tubulação foi necessário adquirir reduções de PVC para a entrada e a saída do medidor de fluxo, pois o diâmetro dele é de ¾ de polegada conforme Figura 16.

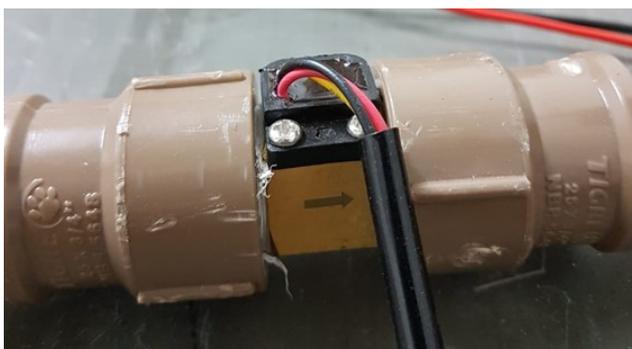


Figura 16– Sensor do tipo hall medidor de fluxo ¾" com redução ½"

Já a leitura da vazão para ser possível monitorarmos instantaneamente foi utilizado um osciloscópio Tektronix TDS 380 Figura 17, assim com a equação de calibração fornecido pelo fabricante e conhecendo a frequência do sensor hall através do osciloscópio, foi possível converter por meio de uma equação simples a vazão instantânea dos testes realizados



Figura 17– Tektronix TDS 380

4.5 Etapa 5 – Implementação da bancada

Para que a bancada fosse implementada foi necessário fixar o reservatório ao teto como foi previamente decidido e para isso foi adquirido um suporte de parede para redes que suporta até 100 kg, fixado com parafusos e buchas conforme Figura 18 a) e para o reservatório a solução encontrada foi a utilização de um cabo de aço passado por quatro furos que foram furados no topo do reservatório e presos com uma braçadeira para fixação dos cabos de acordo com a Figura 18 b).



(a)



(b)

Figura 18– - (a) Gancho fixado na parede; (b)Cabo de aço passado pelo tubo de PVC e preso com braçadeira.

Como o reservatório ficaria suspenso não seria interessante realizar a ligação por baixo de forma extremamente fixa, pois seria muito fácil de danificar por essa razão foi utilizada uma mangueira flexível para a ligação evitando possibilitando assim uma movimentação do reservatório principal, como é possível verificar na Figura 19.



Figura 19– Parte superior da bancada

Após fixado o reservatório principal foi evidenciada a necessidade de um reservatório secundário para que a água fosse reaproveitada durante o processo e não houvesse a necessidade de reabastecer a bancada todas as vezes que fosse utilizada.

Para isso foi construído a partir de um tambor de 50 litros, usado para o armazenamento de detergentes para lavagem de carros, foi adicionado um furo na borda de cima para o retorno da água, adicionado um flange para a sucção da bomba e um flange adaptado em conjunto uma mangueira flexível para que fosse possível visualizar o nível de água de acordo com Figura 20.



Figura 20– Reservatório secundário

Com isso surgiu a necessidade de adicionar mais uma válvula de bloqueio no caso utilizando válvulas de esferas, além das válvulas que seriam utilizadas para o direcionamento do fluxo para a definição do método de enchimento, uma para o enchimento por cima e outra para o enchimento por baixo conforme Figura 21 (a), também seria necessária uma válvula de esferas para a descarga, conforme Figura 21 (b) do sistema e a água pudesse retornar para o reservatório secundário



Figura 21– (a) – Válvula de esfera de direcionamento; (b) Válvula de esfera de descarga.

Para uma melhor visualização da bancada para fins somente de visualização foi desenhado uma bancada similar a que foi construída no programa solidworks conforme Figura 22.

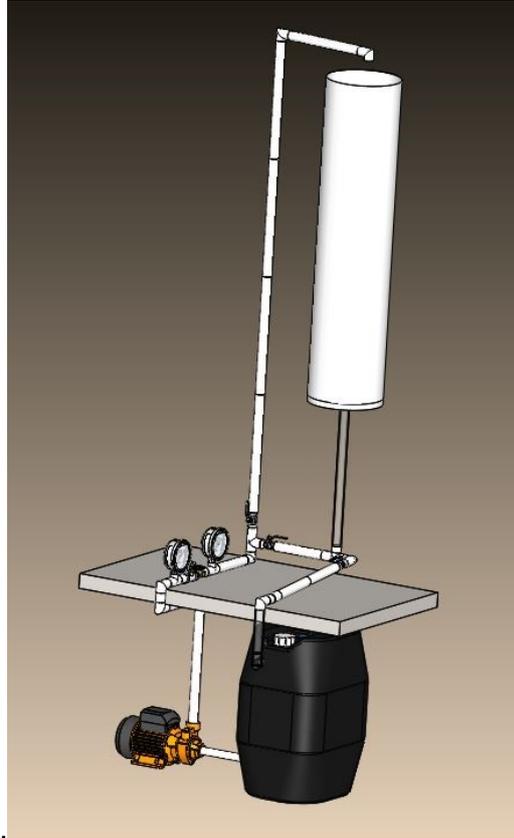


Figura 22– Desenho no solidworks

Após realizada toda a montagem foi necessária realizar a ligação elétrica da bomba. Então para que facilitasse o controle foi utilizado duas chaves seletora da siemens, conforme Figura 23.



Figura 23– Chave seletora siemens

Então para padronizar o desligamento já que seria ideal sempre desligar a bomba no mesmo momento para que fosse calculado um tempo mais confiável, para resolver esse problema foi adquirido uma bóia elétrica, Figura 24, que regulada sempre iria desligar no mesmo momento favorecendo assim a metodologia científica da bancada.



Figura 24– Boia elétrica

Por fim demonstrado todo o passo a passo para a construção da bancada foi concluído a montagem da bancada resultando no sistema a baixo Figura 25



Figura 25– Visão geral da bancada

A realização de testes na bancada e análises mais profundas dos resultados bem como comparações com modelos matemáticos e simulações numéricas podem ser encontradas no trabalho “Comparação matemática e experimental de duas configurações para enchimento de reservatórios de água.” (Santos, J.P. 2019).

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo a construção de uma bancada experimental, para que fosse testado experimentalmente um modelo de duas configurações de enchimento do reservatório.

Toda a bancada foi projetada para que fosse possível elevar valores de perdas de carga para que mesmo em uma escala reduzida fosse possível demonstrar as diferenças de tempo de dois métodos de enchimento.

Por fim o trabalho foi concluído através da construção da bancada que pode auxiliar os estudos de sistemas hidráulicos podendo até mesmo gerar uma economia de energia, visto que a bomba poderia passar mais tempo desligada

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para um melhor refinamento da bancada experimental, algumas sugestões são:

- Instalação célula de carga para que seja possível conhecer o nível de água do reservatório principal auxiliando na calibração de equipamentos.
- Realização de testes experimentais através da bancada para validação.
- Realizar estudo do gasto energético de bombas e quanto a mudança de configuração de enchimento poderia resultar financeiramente

Capítulo VI

Referências bibliográficas

Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL – **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. Ed. Brasília, 2008.

White, F.M., **Fluid Mechanics**. Mc Graw Hill, 2002.

SILVA TELLES, P.C. **Tubulações Industriais – Materiais, Projeto, Montagem**. 10a. edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2001.

SILVA TELLES, P.C. **Tubulações Industriais – Cálculo**. 9a. edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1999.

APEX EQUIPMENT, **Regenerative Turbine Pumps: The clear solution for volatile fluids**. Disponível em <https://www.apexequipmentltd.com/roth-pump-company/regenerative-turbine-pumps-the-clear-solution-for-volatile-fluids/> acessado em outubro, 2019

MASTER TECNOLOGIA INDUSTRIAL, **Um guia sobre válvula de esfera**. Disponível em <https://www.mtibrasil.com.br/valvula-esfera-tripartida.php> acessado em outubro, 2019

ANAUGER, **Sensor boia de nível**. Disponível em <https://www.anauger.com.br/anauger-sensor-boia-de-nivel/>) acessado em outubro, 2019

SILVA TELLES, P.C.; PAULA BARROS, D.G. **Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações**. 6a. edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1998.

Gonçalves, M. G. **Monitoramento de controle de processos**, Rio de Janeiro 2003

DELMÉE, Gerard Jean, 1983, **Manual de medição de vazão** 2ª Edição, Edgard Blücher