



## **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
*ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

Danilo Ferreira Ramalho

EFICIÊNCIA DE BOMBAS HIDRÁULICAS NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO HIDRO  
AGRÍCOLA SÃO JOÃO NO MUNICÍPIO DE PORTO NACIONAL -TO

Palmas – TO

2017

Danilo Ferreira Ramalho

EFICIÊNCIA DE BOMBAS HIDRÁULICAS NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO HIDRO  
AGRÍCOLA SÃO JOÃO NO MUNICÍPIO DE PORTO NACIONAL -TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II  
elaborado e apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas  
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. MsC. Eivaldo Alves dos Santos.

Palmas – TO

2017

Danilo Ferreira Ramalho

EFICIÊNCIA DE BOMBAS HIDRÁULICAS NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO HIDRO  
AGRÍCOLA SÃO JOÃO NO MUNICÍPIO DE PORTO NACIONAL –TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II  
elaborado e apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas  
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. MsC. Edivaldo Alves dos Santos.

Aprovado em: 09 / 12 / 2017

BANCA EXAMINADORA



Prof. MsC. Edivaldo Alves dos Santos

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Euzir Pinto Chagas

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Profª. Drª. Elizabeth Hernández Zubeldia.

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO  
2017

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus por proporcionar essa experiência de vida, meus pais e amigos, que foram primordiais para vencer essa etapa de minha vida. Queria dedicar esse trabalho aos meus avós; Eurípedes Ferreira, Geraldo Ramalho e Selvina Miranda, com seus ensinamentos de vida e sabedoria. Renato Miranda Ramalho e Lucimar Alves Ferreira Ramalho, a vocês quero agradecer pelos esforços e barreiras vencidas com sofrimento, trabalho, humildade e honestidade, jamais esquecerei da luta de ambos para realizar este sonho.

Quero agradecer o Mestre Edivaldo dos Santos por me orientar neste trabalho, obrigado pela dedicação e paciência.

Meu muito obrigado!

## RESUMO

RAMALHO, Danilo Ferreira. **EFICIÊNCIA DE BOMBAS HIDRÁULICAS NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO HIDRO AGRÍCOLA SÃO JOÃO NO MUNICÍPIO DE PORTO NACIONAL – TOCANTINS**. 2017. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

O presente trabalho consiste em aferir a eficiência no conjunto elevatório do Projeto de Irrigação São João hidro agrícola na Estação de Bombeamento – 01 no município de Porto Nacional – TO. O estudo teve intuito de analisar como se encontra o desempenho dos conjuntos motobombas, os quais estão localizadas na Estação de Bombeamento Principal – 01 (EB-01), do Projeto Hidro Agrícola São João pertencente ao município de Porto Nacional – TO. Dentre o fundamento teórico utilizado, destacou-se as argumentações do autor Azevedo Netto *et. al.* (1998) que teve maior contribuição para o estudo. O sistema elevatório existente trabalha com debilidade e insegurança, sendo assim, prejudicando as áreas a serem irrigadas. Como procedimento metodológico, realizou-se uma visita *in loco*, seguida de uma sequência de cálculos, com o intuito de avaliar o rendimento dos conjuntos motobombas encontrados. Posteriormente, com base nos resultados alcançados ao término do estudo, o trabalho revelou que o sistema de bombeamento atual se encontra abaixo do esperado, porém tem a possibilidade de aumentar a eficiência deste, com um novo dimensionamento; aumentando os diâmetros de sucção e recalque consequentemente será diminuída a perda de carga, desta forma, poderá ser utilizada motobombas de menor potência.

**Palavras-chave:** Estação de Bombeamento – 01, Motobombas, Rendimento.

## ABSTRACT

RAMALHO, Danilo Ferreira. **EFFICIENCY OF HYDRAULIC PUMPS IN THE PROJECT OF IRRIGATION HYDRO AGRICULTURAL SÃO JOÃO IN THE MUNICIPALITY OF PORTO NACIONAL - TOCANTINS.** 2017. 49 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2017.

The present work consists in evaluating the efficiency of the elevation set of the São João hidro agricultural irrigation project at the Pumping Station - 01 in the municipality of Porto Nacional - TO. The purpose of this study was to analyze the performance of the motor pump units, which are located in the Main Pump Station - 01 (EB-01), of the Hidro Agrícola São João Project belonging to the municipality of Porto Nacional - TO. Among the theoretical basis used, it was highlighted the arguments of the author Azevedo Netto et. al. (1998) who had the greatest contribution to the study. The existing lifting system works with weakness and insecurity, thus, damaging the areas to be irrigated. As a methodological procedure, an on-site visit was carried out, followed by a sequence of calculations, in order to evaluate the performance of the motor-pump assemblies found. Later, based on the results obtained at the end of the study, the work revealed that the current pumping system is significantly lower than expected, but it has the possibility of increasing its efficiency, with a new dimensioning; increasing the suction and suction diameters as a result, the load loss will be reduced, in this way, smaller power pumps can be used.

**Keywords:** Pump Station - 01, Motor Pump, Yield.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração de como acontece o Golpe de Aríete .....	16
Figura 2 - Coeficiente C da fórmula de Hazen-Williams.....	18
Figura 3 - Comprimentos Equivalentes de Singularidades para Aço Galvanizado e Ferro Fundido.....	19
Figura 4 - Tabela do coeficiente de rugosidade de Manning.....	22
Figura 5 - Bomba axial .....	23
Figura 6 - Ilustração de sistema com bomba afogada e bomba não afogada .....	24
Figura 7 - Curvas características de bomba centrífuga.....	26
Figura 8 - Cavitação .....	27
Figura 9 - Vista de satélite da estação de bombeamento 01 no município de porto nacional – TO.....	29
Figura 10 - Estação de Bombeamento – 001 .....	32
Figura 11 - Canal de Chamada .....	33
Figura 12 - Estrutura da EB-001.....	34
Figura 13 - Bombas Centrifugas.....	35
Figura 14 - Tubulações de Recalque de 500mm e 700 mm.....	35
Figura 15 - Linha de Recalque 1200 mm e Peças Especiais .....	36
Figura 16 - Vazamentos na Válvula de retenção, registro de gaveta e juntas de vedação.....	37
Figura 17 - Dados da bomba KSB de 400 cv .....	42
Figura 18 - Curva característica da bomba SNZ 500-480 (400 cv) .....	43
Figura 19 - Dados da bomba KSB de 750 cv .....	44

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Perdas de Cargas Localizadas (bombas 400 cv).....	38
Tabela 2 - Perdas de Cargas Localizadas (bombas 750 cv).....	39
Tabela 3 - Orçamento do projeto de pesquisa .....	46
Tabela 4 - Cronograma do projeto pesquisa .....	47



## LISTA DE SIGLAS

**EB- Estação de bombeamento**

**H<sub>2</sub>O- Água**

**hf- Perdas de carga distribuída**

**mm- Milímetros**

**m- Metro**

**m/s- Metros por segundos**

**cm<sup>2</sup>- Centímetro quadrado**

**N- Newtons**

**H- Altura**

**H<sub>m</sub>- Altura manométrica**

**H<sub>s</sub>- Altura de sucção**

**H<sub>r</sub>-Altura de recalque**

**H<sub>g</sub>- Altura geométrica**

**CV- Cavalo de potencia**

**RPM- Rotação por minuto**

**Pa- Pascal**

**N/m<sup>3</sup>- Newtons por metro cúbico**

**Kgf/m<sup>3</sup>-Quilograma força por metro cúbico**

## LISTA DE FÓRMULAS

Vazão Volumétrica	equação 1
Perdas de Carga localizadas ou singulares (hs)	equação 2
Hazen-Williams (hf)	equação 3
Altura Geométrica	equação 4
Altura Manométrica	equação 5
Fator K	equação 6
Raio Hidráulico	equação 7
NPSH disponível	equação 8
Potência do conjunto elevatório	equação 9

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b>	<b>11</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>12</b>
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	PROBLEMA	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
2.1	ÁGUA	13
2.1.1	<b>Uso da água pelas culturas</b>	<b>13</b>
2.1.2	<b>Ciclo Hidrológico</b>	<b>13</b>
2.1.2.1	<i>Evapotranspiração</i>	13
2.1.2.2	<i>Evaporação</i>	13
2.1.2.3	<i>Precipitação</i>	13
2.1.2.4	<i>Infiltração</i>	14
2.1.2.5	<i>Escoamento Superficial</i>	14
2.1.3	<b>Manancial</b>	<b>14</b>
2.1.3.1	<i>Manancial subterrâneo</i>	14
2.1.3.1	<i>Manancial superficial</i>	14
2.1.4	<b>Captação de água</b>	<b>14</b>
2.1.4.1	<i>Captação de água subterrânea</i>	14
2.1.4.2	<i>Captação de águas superficiais</i>	14
<b>3</b>	<b>DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO</b>	<b>16</b>
3.1	GOLPE DE ARÍETE	16
3.2	ADUÇÃO E SUBADUÇÃO	16
3.3	VAZÃO VOLUMÉTRICA	17
3.4	PERDAS DE CARGAS	17
3.4.1	<b>Perdas de Carga Distribuídas (hf)</b>	<b>17</b>
3.4.2	<b>Perdas de Carga Localizadas ou Singulares (hs)</b>	<b>17</b>
3.5	ALTURA MANOMÉTRICA E ALTURA TOTAL DE ELEVAÇÃO	20
3.6	RESERVATÓRIO DE DISTRIBUIÇÃO	20
3.7	SEÇÕES TRAPEZOIDAIS E RETANGULARES-CANAIS	21

3.8 BOMBAS CENTRÍFUGAS .....	23
<b>3.8.1 Canalização de Sucção .....</b>	<b>24</b>
<b>3.8.2 Canalização de recalque .....</b>	<b>25</b>
<b>3.8.3 Curvas Características das Bombas Centrífugas .....</b>	<b>25</b>
<b>3.8.4 NPSH requerido e NPSH disponível.....</b>	<b>26</b>
<b>3.8.5 Cavitação.....</b>	<b>27</b>
3.9 POTÊNCIA DO CONJUNTO ELEVATÓRIO.....	28
3.10 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS.....	28
3.11 ESCOLHA DA BOMBA HIDRÁULICA .....	28
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCURSÕES .....</b>	<b>32</b>
5.1 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO – 001 .....	32
5.2 TUBULAÇÕES E PEÇAS ESPECIAIS. ....	36
5.3 SISTEMA EM FUNCIONAMENTO ATUAL.....	36
5.4 CÁLCULOS DE IDENTIFICAÇÃO.....	37
5.5 ANÁLISE CONFORME AS CURVAS DE RENDIMENTO DAS BOMBAS INSTALADAS.....	42
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>7 ORÇAMENTO .....</b>	<b>46</b>
<b>8 CRONOGRAMA .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O que compõe a maior parte da matéria viva é a água, no ser humano é o equivalente por mais de 60% do seu peso, que chega a 98% em alguns animais aquáticos (UNESP, 2011). É um elemento natural, incolor e inodoro, que sua falta impede a vida na Terra, contudo, é importante conhecer sua distribuição no planeta (VIEIRA, 2006).

É um mineral (H<sub>2</sub>O) fundamental para o planeta. Forma oceanos, geleiras, lagos e rios. Cobrindo 75% da superfície da Terra, o que chega a 1,34 bilhões de quilômetros cúbicos. No subsolo, há mais quatro milhões de quilômetros cúbicos que torneiam rochas, cavernas, desenvolvem poços, lençóis e aquíferos (REDE DE ÁGUAS, 2015).

Com esses dados, é para se pensar que exista água em abundância no planeta terra, significando o maior volume, 97,5% é salgada e somente 2,5 % é doce.

Devido ao aumento da população, a humanidade se vê obrigada a utilizar a maior porção de solo possível para agricultura, com isso, o emprego da irrigação vem sendo estimulado para atender as necessidades hídricas em áreas áridas e também semiáridas da Terra, tornando-as produtivas.

Diante disso, deve-se ter um dimensionamento que visa economia e que ao mesmo tempo atenda as demandas técnicas do projeto, assim evitando desperdício energético e também um superdimensionamento de equipamentos tais como: bombas, canalizações e peças especiais.

Nessa circunstância, o presente trabalho teve como objeto avaliar como se encontra a eficiência das bombas hidráulicas no Projeto de Irrigação São João da estação de bombeamento-001, buscar reconhecer o projeto atual e dentro das possibilidades.

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo Geral

Aferir a eficiência do sistema de pressurização do setor EB-01 do Projeto de Irrigação São João hidro agrícola, assim podendo verificar a eficiência e o rendimento do equipamento hidráulico.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- 1) Dimensionar o atual Projeto de Irrigação São João hidro agrícola no setor EB-01;
- 2) Aferir a eficiência no conjunto elevatório do Projeto de Irrigação São João hidro agrícola no setor EB-01 e calcular a eficiência das atuais bombas na estrutura.

.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Devido ao período de funcionamento do Projeto de Irrigação Hidro Agrícola São João, pode ser feita uma análise da infraestrutura utilizada pelo mesmo, já que com o decorrer do tempo, a demanda sofre alteração. De acordo com isso, este projeto foi formulado visando identificar a eficiência das bombas hidráulicas usadas no Setor EB-01 do Projeto, já que o nível de vigência pode estar comprometido, então, com base nos resultados, serão sugeridas eventuais alterações no projeto, a fim de examinar se existe a necessidade de transformação do sistema hidráulico existente.

## **1.3 PROBLEMA**

Em razão de um dimensionamento que não levou em consideração as perdas de cargas tais como: altura geométrica, peças especiais e o traçado da tubulação, podem acarretar grande alterações do sistema hidráulico e com isso gerar ineficiência da estrutura. Então, o funcionamento atual das bombas do Projeto de Irrigação São João Hidro Agrícola no setor EB-01, é eficiente no ponto de vista técnico e econômico?

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ÁGUA**

#### **2.1.1 Uso da água pelas culturas**

A água é elemento primordial ao metabolismo vegetal, pois participa ativamente do processo de absorção radicular e da reação de fotossíntese. A planta, entretanto, transfere para a atmosfera em torno de 98% da quantidade de água que remove do solo (NETTO, 1998).

#### **2.1.2 Ciclo Hidrológico**

Sabendo como a água está distribuída no mundo, é de grande importância entender como se move de um meio para outro no planeta Terra, nesse sentido, Alvarez, (1988) assegura que o comportamento natural da água quanto à sua ocorrência, transformações de estado e relações com a vida humana é bem caracterizado por meio do conceito de ciclo hidrológico.

- Evapotranspiração;
- Evaporação;
- Precipitação;
- Infiltração;
- Escoamento Superficial.

##### **2.1.2.1 Evapotranspiração**

Denomina-se o conjunto de processos físicos e fisiológicos que provocam a transformação da água precipitada na superfície da Terra em vapor (ALVAREZ, 1988).

##### **2.1.2.2 Evaporação**

Dá-se aos fenômenos físicos que transformam em vapor a água precipitada sobre a superfície do solo e a águas dos mares, dos lagos, dos rios e dos reservatórios de acumulação (ALVAREZ, 1988).

##### **2.1.2.3 Precipitação**

Entende-se um conjunto de águas originadas do vapor de água atmosférico que cai, em estado líquido ou sólido, sobre a superfície da terra. O conceito englobar, portanto, não somente a chuva, mas também a neve, granizo, o nevoeiro, o sereno e a geada (ALVAREZ, 1988).

#### **2.1.2.4 Infiltração**

As águas provenientes das precipitações que venham a ficar retidas no terreno ou a escoar superficialmente podem se infiltrar no solo por efeito da gravidade ou de capilaridade, passando a formar a fase subterrânea do ciclo hidrológico (ALVAREZ, 1988).

#### **2.1.2.5 Escoamento Superficial**

É a fase do ciclo hidrológico que trata do conjunto das águas que, por efeito da gravidade, se desloca na superfície da terra (ALVAREZ, 1988).

#### **2.1.3 Manancial**

Manancial é a fonte de água doce superficial ou subterrânea utilizada para consumo humano, desenvolvimento de atividades econômicas e abastecimento público; podendo ser classificado em dois grupos (NETTO, 1998).

##### **2.1.3.1. Manancial subterrâneo**

Junto aquele cujo água provenha do subsolo, podendo aflorar a superfície ou ser superiora artificialmente pelo meio de conjuntos motor bomba (NETTO, 1998).

##### **2.1.3.1 Manancial superficial**

Constituído pelos córregos, lagos, rios, represas, etc. O que tem o espelho de água na superfície terrestre (NETTO, 1998).

#### **2.1.4 Captação de água**

Na captação deve ser levado em consideração o manancial a ser abusado na implantação do sistema de abastecimento de água (NETTO, 1998).

##### **2.1.4.1 Captação de água subterrânea**

Para o aproveitamento da água subterrânea, é importante a ação de estudos que visem a avaliação das reservas existentes, sendo essas, fontes ou bicas de água, lençol freático ou superficial e lençol profundo ou artesianos (NETTO, 1998).

##### **2.1.4.2 Captação de águas superficiais**

Em tal captação, são utilizados mananciais superficiais constituídos pelos córregos, rios, lagos e reservatórios artificialmente criados, sendo que esses últimos,



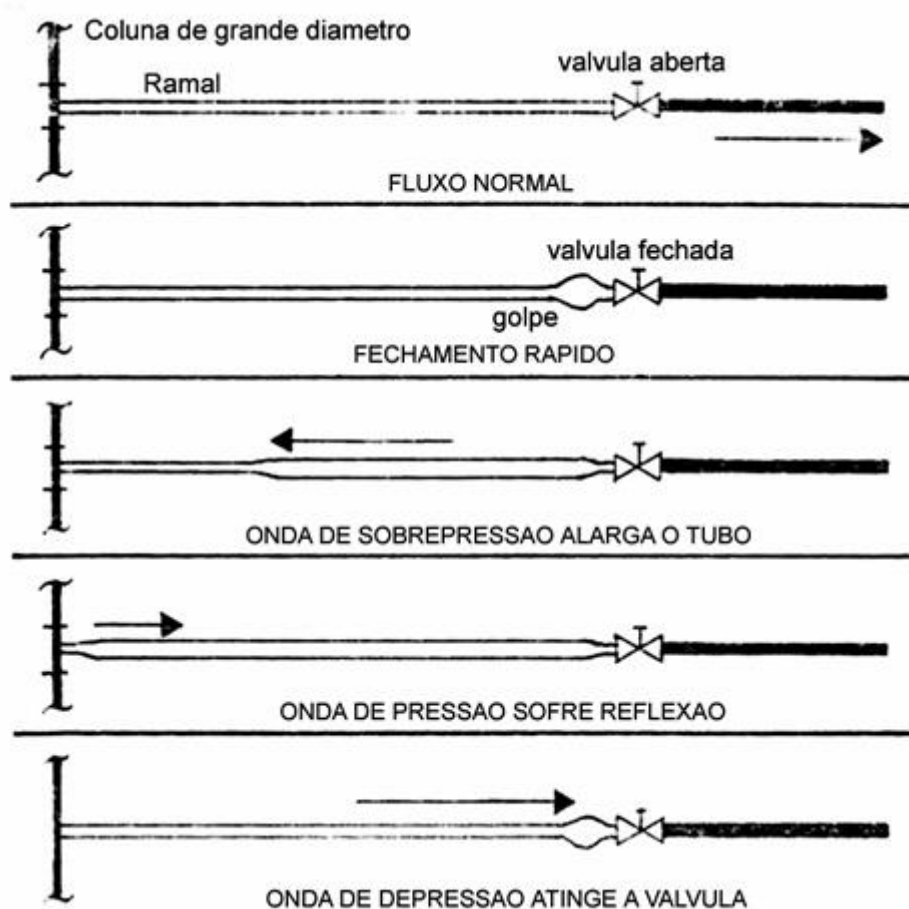
fazem parte da captação do sistema, quando construídos a garantir um determinado volume de água para fins de abastecimento público (NETTO, 1998).

### 3 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

#### 3.1 GOLPE DE ARÍETE

É um choque violento que se produz sobre as paredes de um conduto forçado quando o movimento do líquido é modificado bruscamente, pois é a sobre pressão que as canalizações recebem, por exemplo, se fechar um registro, interrompendo-se o escoamento (NETTO, 1998).

Figura 1 - Ilustração de como acontece o Golpe de Aríete



Fonte: (NETTO, 1998)

#### 3.2 ADUÇÃO E SUBADUÇÃO

São as principais canalizações destinadas a conduzir água para um determinado local, que antecedem a rede de distribuição.

Quando existirem derivações de uma adutora destinadas a conduzir água para outros pontos, constituindo ramificações da canalização são denominadas de subadutoras (NETTO, 1998).

### 3.3 VAZÃO VOLUMÉTRICA

É definida como a quantidade volumétrica ou mássica de um fluido que corre através de uma seção de uma adutora ou tubulação por unidade de tempo (CASSIOLATO e ALVES, 2008).

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo:

$Q$  = Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$V$  = Volume ( $\text{m}^3$ );

$t$  = Tempo (s). Unidades de volume mais comuns.

### 3.4 PERDAS DE CARGAS

É definida pela perda de energia que acontece pelo atrito que existe entre o líquido ao ser transportado e a parede do tubo (NETTO, 1998).

Nem sempre o dimensionamento do tubo de um projeto é retilíneo, tendo derivações no traçado, com isso o uso de joelhos e peças especiais gera grande atrito no seu transporte (PIMENTA, 1981).

- Perdas de Carga Distribuídas ( $h_f$ );
- Perdas de Carga Localizadas ou Singulares ( $h_s$ );

#### 3.4.1 Perdas de Carga Distribuídas ( $h_f$ )

Ocorrem ao longo das tubulações, devido a rugosidade do material com o atrito do fluido ou gasoso nas paredes das tubulações simbolizada por  $h_f$ .

#### 3.4.2 Perdas de Carga Localizadas ou Singulares ( $h_s$ )

Causadas pela presença de acessórios (peças especiais, variações bruscas da seção de escoamento, mudanças de direções) simbolizada por  $h_s$ .

A soma das duas formas é a perda de carga total, simbolizada por:  $H_p$  ou  $\Delta h$  (PIMENTA, 1981).

$$H_p = \Delta h = h_f + h_s \quad \text{Eq. (2)}$$

De acordo com GOMES (2010), para determinar as perdas de cargas que ocorrem ao longo das tubulações, em grandes diâmetros de até 3500mm e velocidades de escoamento de 3 m/s, a fórmula mais indicada é a de Hazen-Williams.

$$hf = \frac{10,643 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}} * Leq \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

$hf$  = perdas de carga (m);

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);

$C$  = Coeficiente adimensional que depende da natureza das paredes do tubo;

$D$  = diâmetro do tubo (m);

$Leq$  = comprimento equivalente (m).

O coeficiente  $C$  da fórmula de Hazen-Williams pode ser extraído da tabela abaixo;



















**Figura 2 - Coeficiente C da fórmula de Hazen-Williams**

TUBO	C
Aço corrugado ( chapa ondulada )	60
Aço com juntas lock-bar, novos	130
Aço galvanizado ( novos e em uso )	125
Aço rebitado, novos	110
Aço rebitado, em uso	85
Aço soldado, novos	120
Aço soldado, em uso	90
Aço soldado com revestimento especial, novos e em uso	130
Chumbo	130
Cimento-amianto	140
Cobre	130
Concreto, bom acabamento	130
Concreto, acabamento comum	120
Ferro fundido, novos	130
Ferro fundido em uso	90
Plástico	140

FONTE: AZEVEDO NETTO (1998)

Porém, o procedimento mais utilizado para a determinação de perda de carga localizada, é o método dos comprimentos virtuais ou equivalentes de singularidade, cujo, parte do princípio que as conexões podem ser substituídas por comprimentos equivalentes ( $Le$ ), quando do cálculo resultam na mesma perda de carga. Na procura do comprimento equivalente de singularidade para o aço galvanizado e ferro fundido, adota-se as equações na seguinte tabela:

**Figura 3 - Comprimentos Equivalentes de Singularidades para Aço Galvanizado e Ferro Fundido**

Acessório	Equação	Figura	Comprimento equivalente ( $Le/D$ ) (nº de diâmetros)
Cotovelo 90° raio longo	$Le = 0,068 + 20,96 D$		22
Cotovelo 90° raio médio	$Le = 0,114 + 26,56 D$		28,5
Cotovelo 90° raio curto	$Le = 0,189 + 30,53 D$		34
Cotovelo 45°	$Le = 0,013 + 15,14 D$		15,4
Curva 90° R/D = 1,5	$Le = 0,036 + 12,15 D$		12,8
Curva 90° R/D = 1	$Le = 0,115 + 15,53 D$		17,5
Curva 45°	$Le = 0,045 + 7,08 D$		7,8
Entrada normal	$Le = -0,23 + 18,63 D$		14,7
Entrada de Borda	$Le = -0,05 + 30,98 D$		30,2
Registro de gaveta aberto	$Le = 0,010 + 6,89 D$		7
Registro de globo aberto	$Le = 0,01 + 340,27 D$		342
Registro de ângulo aberto	$Le = 0,05 + 170,69 D$		171,5
Tê 90° passagem direta	$Le = 0,054 + 20,90 D$		21,8
Tê 90° saída lateral	$Le = 0,396 + 62,32 D$		69
Tê 90° saída bilateral	$Le = 0,396 + 62,32 D$		69
Válvula de pé com crivo	$Le = 0,56 + 255,48 D$		265
Saída de canalização	$Le = -0,05 + 30,98 D$		30,2
Válvula de retenção, leve	$Le = 0,247 + 79,43 D$		83,6

FONTE: MARTINS (2004)

### 3.5 ALTURA MANOMÉTRICA E ALTURA TOTAL DE ELEVAÇÃO

A altura de elevação é o acréscimo de pressão que a bomba pode notificar ao fluido. Costuma demonstrar em metros de coluna do líquido ou em Newtons (N) por centímetro quadrado (cm<sup>2</sup>). Representada por  $H$  (LANCASTRE, 1996).

O desnível topográfico entre o nível de água dos reservatórios inferior e superior é dito como altura geométrica, representado pela sigla  $H_g$ . Sendo representada pela fórmula a seguir (NETTO, 1998).

$$H_g = H_s + H_r \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

$H_g$  = altura geométrica;

$H_s$  = altura de sucção, ou seja, altura do eixo da bomba sobre o nível inferior;

$H_r$  = altura de recalque, isto é, altura do eixo da bomba sobre o nível superior.

Entende-se por altura manométrica, a altura geométrica somada com todas as perdas de cargas geradas ao longo de toda a tubulação (NETTO, 1998).

$$H_m = H_g + h_f \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

$H_m$  = altura manométrica;

$H_g$  = altura geométrica;

$h_f$  = perdas de carga.

### 3.6 RESERVATÓRIO DE DISTRIBUIÇÃO

São utilizados para compensar as modificações horárias de vazão e garantir a alimentação da rede de distribuição em emergências, assim oferecendo níveis necessários à manutenção de pressão na rede (NETTO, 1998).

Podem ser classificados, dependendo da configuração e posição à rede:

- Enterrados, semienterrados, apoiados ou elevados;
- De montante ou de jusante;

Geralmente os materiais usados em sua construção são alvenarias de pedra, concreto armado, chapa metálica e materiais especiais (fibra de vidro) (NEVES, 1989).

### 3.7 SEÇÕES TRAPEZOIDAIS E RETANGULARES-CANAIS

Nas seções transversais dos canais, como são muito variáveis, usam-se seções abertas (semicirculares, retangulares, trapezoidais e triangulares), ou fechadas (circulares, ovais, elípticas, ferradura, etc.), de combinação com o tipo da obra, sua necessidade de demanda, rugosidade das paredes ou seu revestimento (NEVES, 1989).

Seções retangulares podem ser utilizadas apenas canais abertos em rocha, ou dar cumprimento em paredes de alvenaria, concreto e até mesmo de madeira; já as trapezoidais são mais usadas para canais abertos em terreno natural, dependendo o ângulo  $\theta$  dos taludes; via de regra ângulos maiores que  $45^\circ$  devem ser utilizados somente quando as paredes são revestidas de alvenaria, concreto ou madeira (NEVES, 1989).

O dimensionamento de ambas seções, é feito de acordo com a tabela e formulas abaixo:

Figura 4 - Tabela do coeficiente de rugosidade de Manning

Natureza das paredes	Condição	
	Boa	Mã
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,017
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,030
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento	0,012	0,017
Argamassa de cimento	0,011	0,015
Argamassa de cimento alisado	0,010	0,013
Barro vitrificado (manilhas)	0,011	0,017
Calhas de madeira aplainada	0,010	0,014
Calhas de madeira não aplainada	0,011	0,015
Calhas metálicas corrugadas	0,023	0,030
Calhas metálicas lisas semicirculares	0,011	0,015
Concreto	0,012	0,018
Fundo de terra e taludes empedrados	0,028	0,035
Fundo pedregoso e com vegetação nos taludes	0,025	0,040
Revestimento de concreto bruto	0,017	0,018
Revestimento de concreto liso	0,011	0,013
Rocha irregular ou paredes de pedras irregulares ou mal-arrumadas	0,035	-
Rocha lisa e uniforme	0,025	0,035
Terra, curvilíneo e lamoso	0,023	0,030
Terra, dragado	0,025	0,033
Terra, retilíneo e uniforme	0,017	0,025
Tubo de bronze ou de vidro	0,009	0,013
Tubo de concreto	0,012	0,016
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,015
Tubo de ferro galvanizado	0,013	0,017

Fonte: (NEVES, 1989)

Fator K:

$$K = \frac{Q \cdot n}{I^{1/2}} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

n = Coeficiente de rugosidade de Manning;

I = Declividade do fundo (m/m).

Fator k serve para determinar as dimensões do canal, assim sendo, o produto final do Raio Hidráulico multiplicado pela área molhada deverá ser o seu valor ou mais próximo possível do mesmo.

Raio Hidráulico:

$$Rh = \frac{Am}{Pm} \quad \text{Eq. (7)}$$



Onde:

$A_m$  = Área molhada ( $m^2$ );

$P_m$  = Perímetro molhado (m).

### 3.8 BOMBAS CENTRÍFUGAS

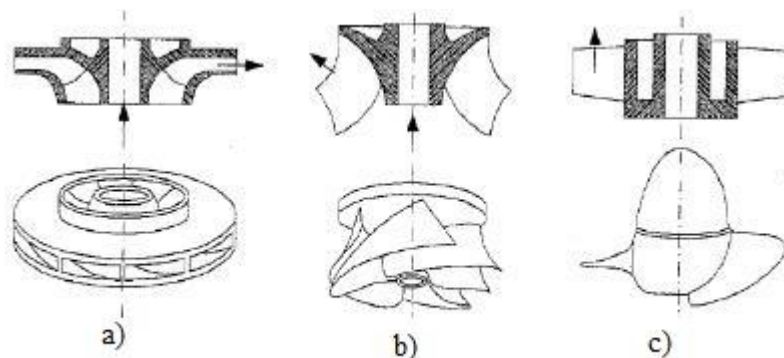
Bomba é uma máquina hidráulica que tem a capacidade de elevar a pressão de um fluido, comunicando energia.

Em bombas tipo centrífugas, a força centrífuga produzida ao fluido através de uma roda ou propulsor, move-se dentro de um corpo ou caixa, assim orientando o fluido até à saída, gerando o aumento de pressão (LANCASTRE, 1996).

Com base no propulsor, classifica-se três classes:

- a) Bombas centrífugas ou de escoamento radial - o desenvolvimento da pressão neste tipo de bomba, acontece basicamente pela ação da força centrífuga. O líquido bombeado entra axialmente pelo centro e sai radialmente pela periferia; adaptando-se, geralmente a grandes alturas de elevação (LANCASTRE, 1996);
- b) Bombas de escoamento misto ou diagonal - neste tipo, a pressão é desenvolvida, em parte, pela força centrífuga e, em parte, pela ação da sucção das pás do rotor sobre o líquido. Assim, o líquido entra axialmente e sai em uma direção média entre axial e diagonal. São utilizadas principalmente quando pretende-se recalcar o líquido a alturas médias (LANCASTRE, 1996);
- c) Bombas de escoamento axial - “o líquido entra axialmente e sai em movimento helicoidal em direção praticamente axial” (PORTO, 2001). Estas adaptam-se bem a vazões altas e pequenas alturas.

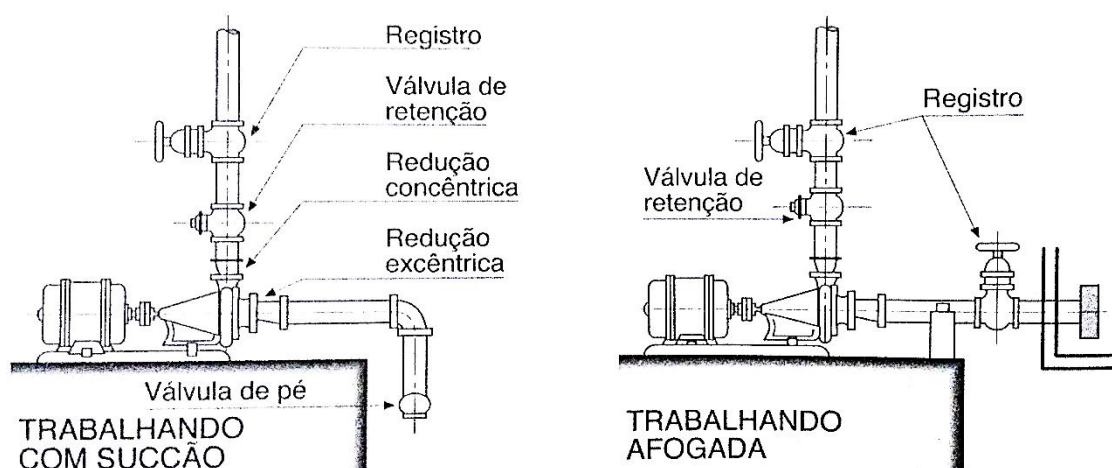
**Figura 5 - Bomba axial**



Fonte: (NETTO, 1998)

Um sistema elevatório pode ser classificado de duas formas, bombas afogadas e bombas não-afogadas. As afogadas, trabalham abaixo do nível da água do reservatório de sucção; já as não-afogadas tem o funcionamento acima do nível do reservatório de sucção. A seguir demonstração das instalações das bombas citadas.

**Figura 6 - Ilustração de sistema com bomba afogada e bomba não afogada**



Fonte (NETTO, 1998)

Devido ao grande campo de aplicação, a fabricação das bombas centrífugas podem ter variações de modelos, sendo classificadas com os seguintes critérios;

- *Movimento do líquido*: sucção simples (rotor simples) e dupla sucção (rotor de dupla admissão);
- *Admissão do fluido*: radial; diagonal e helicoidal;
- *Números de rotores ou estágios*: um estágio (um rotor) e estágios múltiplos (dois ou mais rotores);
- *Tipo de rotor*: rotor fechado; semifechado; aberto e rotor a prova de entupimento;
- *Posição do eixo*: vertical; horizontal e inclinado;
- *Pressão*: baixa ( $H_{man} \leq 15$  m); média ( $H_{man}$  de 15 a 50 m) e alta ( $H_{man} \geq 15$  m).

### 3.8.1 Canalização de Sucção

Esta canalização deve ser mais curta possível, evitando-se ao máximo de curvas, peças especiais (NETTO, 1998).

Tubulações de sucção, podem-se admitir trechos perfeitamente horizontais, com isso, devem-se ser sempre ascendentes até atingir a bomba (NETTO, 1998).

Geralmente esse tipo de canalização tem um diâmetro comercial imediatamente maior ao diâmetro de recalque. A altura máxima de sucção acrescidas das perdas de cargas deve satisfazer as especificações apresentadas pelo fabricante das bombas (NETTO, 1998).

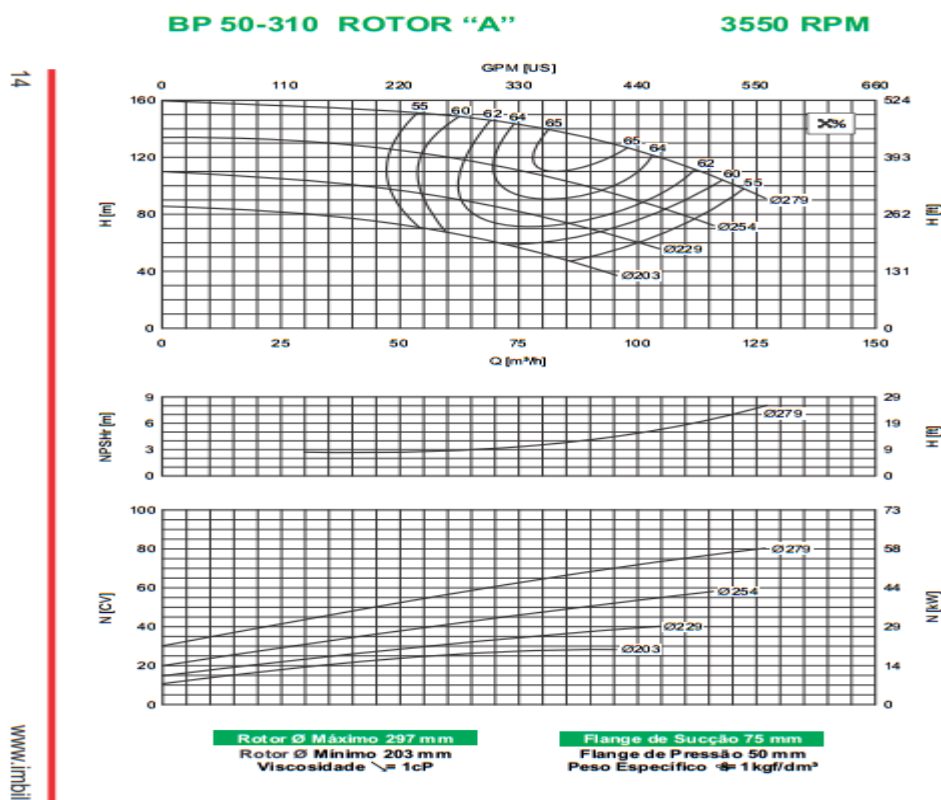
### **3.8.2 Canalização de recalque**

O diâmetro de uma linha de recalque pode ser qualquer. Caso for adotado um diâmetro relativamente grande, terá perdas de cargas pequenas e, em consequência, a potência da bomba será reduzida. Os conjuntos elevatórios serão de custo mais baixo, porém, o custo da linha de recalque será elevado. Se, ao contrário, for colocado um diâmetro relativamente pequeno, resultará em perdas de cargas elevadas, procederão maior potência no conjunto elevatório. O custo da canalização será baixo e as bombas serão custosas, consumindo mais energia (NETTO, 1998).

### **3.8.3 Curvas Características das Bombas Centrífugas**

De acordo com (NETTO, 1998), o resultado de uma bomba centrífuga é representado através de diagrama, traçando as curvas características de carga, rendimento, e potência absorvida relacionadas à vazão, para gerar este diagrama, a bomba fica em velocidade constante de funcionamento (rotações por minuto), figura 7.

Figura 7 - Curvas características de bomba centrífuga



Fonte: Catálogo Imbil Bp (2015)

### 3.8.4 NPSH requerido e NPSH disponível

NPSH do inglês "Net Positive Suction Head" é a sigla universalmente adotada para designar a energia disponível na sucção, em outras palavras, seria a carga positiva e efetiva na sucção (NETTO, 1998).

Na análise do NPSH, existem dois valores a serem considerados, a saber:

- NPSH requerido – é a carga energética líquida requerida pela bomba para promover a sucção. Este é uma característica hidráulica fornecida pelo fabricante (NETTO, 1998):
- NPSH disponível – diz respeito à carga energética líquida e disponível na instalação, ou seja, refere-se a uma característica das instalações de sucção e deve pode ser calculada através da fórmula abaixo (NETTO, 1998):

$$NPSH_{disponível} = \pm H + \frac{P_a - P_v}{\gamma} - hf \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

$H$  = carga ou altura de água na sucção: positiva quando a bomba está afogada e negativa em caso contrário (m);

$P_a$  = pressão atmosférica no local (Pa)

$P_v$  = pressão vapor (Pa)

$\gamma$  = peso específico (N/m<sup>3</sup>)

$H_f$  = soma de todas as perdas de carga na sucção (m).

Para o bom funcionamento da bomba é necessário que a energia disponível na instalação para a sucção deve ser maior que a energia requerida pela bomba, ou seja:

$$NPSH_{disponível} \geq NPSH_{requerido}$$

### 3.8.5 Cavitação

É o fenômeno de desgaste e destruição, por conta da pressão total em certo ponto que se reduz em valores abaixo do limite, assim alcançando o ponto de ebulição da água (para essa pressão), o líquido ferve e os condutos ou peças (de bombas, turbinas ou tubulações) apresentam bolsas de vapor dentro da própria corrente.

Quando a pressão em algum ponto de uma bomba ou turbina chega ao limite crítico (pressão de vapor) tornam-se precárias as condições de funcionamento, que causam vibrações nas máquinas, assim diminuindo o rendimento e provocar grandes danos materiais nas estruturas.

**Figura 8 - Cavitação**



Fonte: Quimatic (2016)

### 3.9 POTÊNCIA DO CONJUNTO ELEVATÓRIO

O conjunto elevatório (bomba-motor), tem como intuito vencer as derivações de nível entre os dois pontos e perdas cargas, durante todo o percurso elevatório (perda por atrito da canalização e perdas localizadas, devida às peças especiais) (NETTO, 1998), o dimensionamento calculado com a formula a seguir:

$$P = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * \eta} \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

$P$  = Potência (cv)

$\gamma$  = peso específico do líquido a ser elevado, em Kgf/m<sup>3</sup>;

$Q$  = vazão, em m<sup>3</sup>/s;

$H_{man}$  = altura manométrica em m;

$\eta$  = rendimento global do conjunto elevatório;

$\eta = \eta_{motor} * \eta_{bomba}$

### 3.10 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS

As bombas deverão ter suas próprias edificações, ou seja, casas de bombas ou salas de bombas. Essas edificações devem ter iluminação e ventilação adequada e ser suficiente espaçosas para a instalação e movimentação dos grupos elevatórios, incluindo-se espaços para a parte elétrica dos mesmos, tais como quadros, chaves elétricas, etc.

Aconselham-se certos cuidados quanto o projeto de estações elevatórias e na instalação dos grupos elevatórios, tais como:

- Poços de sucção e canais de acesso;
- Peças especiais;
- Assentamento das bombas;
- Canalização de sucção;
- Canalização de recalque.

### 3.11 ESCOLHA DA BOMBA HIDRÁULICA

É determinada através da estrutura projetada e sua demanda, especialmente, pelas condições de operação e de manutenção e, ainda, por estimas econômicas. Espontaneamente, o interesse do comprador é instalar uma unidade que forneça a vazão desejada de fluido para a pressão necessária (NETTO, 1998)

#### 4 METODOLOGIA

O trabalho em pauta teve como objetivo identificar a eficiência do sistema de bombeamento-001 do Projeto de Irrigação Hidro Agrícola São João no município de Porto Nacional – TO, situado entre as coordenadas geográficas 10°25'00" e 10°27'30" de latitude sul e 48°20'00" e 48°22'30" de longitude oeste, a 25 km do município de Palmas- TO, particularmente as bombas que trabalham na captação de água bruta.

**Figura 9 - Vista de satélite da estação de bombeamento 01 no município de porto nacional – TO**



Fonte: Google Earth (2016)

Constituiu na solicitação de uma visita técnica e informações do projeto atual, com isso, verificou-se a competência e o rendimento do equipamento hidráulico instalado, foi utilizado metodologicamente os passos a seguir:

- Há quanto tempo as bombas não são trocadas;
- Periodicidade nas manutenções;
- Período de funcionamento das bombas;
- Potência instalada;
- Vazão de demanda;
- Diâmetro de sucção;
- Diâmetro de recalque;
- Altura de Sucção;
- Altura de Recalque;
- Peças especiais.

Em resposta a solicitação da visita foi analisado, o layout da estrutura hidráulica, desde o manancial até o destino final da água. Sendo assim, possibilitou a caracterização da estrutura que está instalada no momento, com todas as suas particularidades de execução e instalação.

Após conhecer o local através da visita, foi possível realizar uma caracterização, identificando as principais peculiaridades do local, que começou no manancial, passou pelo canal, chegando à sucção, posteriormente a casa de bombas e findando no ponto de descarga da tubulação de recalque.

Em posse dos dados fornecidos, o trabalho prosseguiu para a etapa dos cálculos, ou seja, foram realizados cálculos para a identificação de como está a estrutura de pressurização instalada atualmente. Assim, possibilitou o reconhecimento da eficiência e os pontos em que há a oportunidade de alteração.

As etapas de cálculos ocorreram de acordo com a seguinte sequência: primeiramente foi encontrada a altura geométrica, utilizando a equação apresentada abaixo:

$$H_g = H_s + H_r \quad \text{Eq. (4)}$$

Após isso, foram determinadas as perdas de cargas, tanto a perda ao longo da tubulação, quanto as localizadas. Para o cálculo da perda ao longo da tubulação foi aplicada a fórmula de Hazen-Willians:

$$h_f = \frac{10,643 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}} * L_{eq} \quad \text{Eq. (3)}$$

Para o cálculo das perdas de carga localizadas, ou seja, aquela provocada pelo encurtamento da seção da tubulação ou pela mudança de direção (NETTO, 1998), através das peças utilizadas na canalização de sucção e de recalque (válvula de pé com crivo, curvas, redução, etc.) usou-se o método de comprimento equivalente de singularidade.

Possibilitou conhecer a altura manométrica através da formula a baixo:

$$H_{mt} = H_g + h_f \quad \text{Eq. (5)}$$

A etapa seguinte consistiu no conhecimento do rendimento o qual os conjuntos moto bombas estão trabalhando, para tal aplicada a fórmula abaixo:

$$P = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * n} \quad \text{Eq. (9)}$$



Logo em seguida, verificou-se o catálogo do fabricante das bombas atuais, após análise das curvas características, assim, foi apurado o atual rendimento do sistema hidráulico e proporcionou o conhecimento da eficiência atual do projeto.

Por fim, foram apresentados pontos de melhorias que o projeto necessita, enfatizando onde pode investir de forma a otimizar o trabalho de pressurização do Projeto Hidro Agrícola São João – EB-001.

## 5 RESULTADOS E DISCURSÕES

### 5.1 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO – 001

A estação de bombeamento EB1 (Fig. 10) localizada no final do canal de chamada na cota média de 216,0 m, possui quatro poços de sucção independentes, com alimentação frontal, onde foram instaladas as bombas, cuja função é elevar as águas do reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães até dois canais de irrigação (CP1 e CP2), posicionados ao longo do perímetro irrigável na cota média de 230,0 m.

**Figura 10 - Estação de Bombeamento – 001**



Fonte: Autor 2017.

**Figura 11 - Canal de Chamada**



Fonte: Autor 2017.

O canal de chamada (Fig. 11) foi escavado em solo natural e revestido com blocos de pedras arrumadas, sendo protegido por dique lateral em ambas às margens. Sua extensão de 880 m, taludes (V:H): 1:2, largura do fundo de 8,0 m, cota do fundo 209,0 m, com altura máxima do canal 7,0 m e nível d'água médio de 212,0 m.

A estação de recalque EB1 é constituída por estruturas de concreto armado, semienterradas, onde estão localizadas os grupos elevatórios e os equipamentos auxiliares, destinados à elevação da água (Fig. 12).

**Figura 12 - Estrutura da EB-001**



Fonte: Autor 2017.

- Prédio principal que abriga os grupos elevatórios, com seus acessórios hidromecânicos, que contém os painéis de comando, painel geral de baixa tensão e painel de controle operacional;
- Segundo prédio que se destina à subestação transformadora e cabine de medição.

#### CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

O projeto possui um sistema com vazão total de 4,2 m<sup>3</sup>/s, sendo duas bombas de 400 cv com vazão de 0,7 m<sup>3</sup>/s cada e duas bombas de 750 cv com vazão de 1,4 m<sup>3</sup>/s cada (Fig. 13). Os conjuntos elevatórios trabalham afogadas numa profundidade de 5,0 m, tipo centrifugas com operação automática.

**Figura 13 - Bombas Centrifugas**



Fonte: Autor 2017.

**Figura 14 - Tubulações de Recalque de 500mm e 700 mm**



Fonte: Autor 2017.

## 5.2 TUBULAÇÕES E PEÇAS ESPECIAIS.

As tubulações de sucção e recalque são constituídas em aço carbono; sendo que, as de sucção possuem diâmetro de 550 mm e 750mm, já as de recalque possuem diâmetro de 500 mm e 700mm (Fig. 14). A linha de recalque de 1200 mm com extensão de 1150 m, contendo desnível de 14,0 m; e juntas de expansão também em aço carbono ao longo de sua extensão (Fig. 15).

**Figura 15 - Linha de Recalque 1200 mm e Peças Especiais**



Fonte: Autor 2017

Foram observadas peças especiais instaladas no sistema, tais como: registros de gaveta, curvas de 90° e válvulas de retenção, sendo do tipo fechamento rápido (Clasar ou similar).

## 5.3 SISTEMA EM FUNCIONAMENTO ATUAL

Atualmente, está em funcionamento somente dois conjuntos motobomba, um de 750 cv e um 400 cv, cuja a vazão bombeada está em torno de 2,1 m<sup>3</sup>/s que supre a necessidade do abastecimento na produção atual. Assim não sendo necessário o funcionamento em sua capacidade máxima, visto que apenas duas bombas das quatro bombas conseguem abastecer a área a ser irrigada.

Ainda sobre o funcionamento das bombas, pode observar a precariedade do mecanismo devido à falta de manutenção preventiva e peças com necessidade de

troca (Fig. 16). Seguindo esse raciocínio, os problemas apresentados podem vir a acarretar desperdício e falta de água na cultura implantada.

**Figura 16 - Vazamentos na Válvula de retenção, registro de gaveta e juntas de vedação**



Fonte: Autor 2017.

#### 5.4 CÁLCULOS DE IDENTIFICAÇÃO

Através desses dados foi possível conhecer o rendimento o qual os conjuntos motobombas estão trabalhando, aplicando os cálculos descritos abaixo

No primeiro momento verificou-se a altura geométrica utilizando a equação abaixo:

$$H_g = H_s + H_r$$

Onde:

$H_g$  = altura geométrica;

$H_s$  = altura de sucção;

$H_r$  = altura de recalque.

Desse modo, tem-se:

$$H_g = 14,00 - 5,00 \therefore H_g = 9,00m$$

Logo após foi calculado as perdas de cargas ao longo da tubulação, por meio das fórmulas apresentadas por Netto *et. al.* (1998). Sendo que primeiramente foi calculada as perdas de cargas locais, aquelas que são provocadas pelo emprego de peças especiais, através do método denominado de comprimento virtual ou equivalente de singularidade ( $L_e$ ), conforme a tabela 1 e tabela 2 abaixo:

**Tabela 1 - Perdas de Cargas Localizadas (bombas 400 cv)**

<b>DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS</b>	
<b>Q= 0,70 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Sucção</b>	
<b>Diâmetro de sucção (mm)</b>	550
<b>Comprimento vertical sucção (m)</b>	5,00
<b>Comprimento horizontal sucção (m)</b>	3,00
<b>Válvula gaveta (m)</b>	6,21
<b>Comprimento equivalente (m)</b>	14,21
<b>Recalque</b>	
<b>Diâmetro recalque (mm)</b>	500
<b>Comprimento vertical recalque (m)</b>	14,00
<b>Comprimento horizontal recalque (m)</b>	1150,00
<b>Válvula retenção (m)</b>	67,78
<b>Válvula gaveta (m)</b>	5,87
<b>Curvas de 90°</b>	21,03
<b>Comprimento equivalente (m)</b>	1258,678

Fonte: SEPLAN 2002



Tabela 2 - Perdas de Cargas Localizadas (bombas 750 cv)

<b>DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS Q= 1,40 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>Sucção</b>	
<b>Diâmetro de sucção (mm)</b>	750
<b>Comprimento vertical sucção (m)</b>	5,00
<b>Comprimento horizontal sucção (m)</b>	3,00
<b>Válvula gaveta (m)</b>	6,21
<b>Comprimento equivalente (m)</b>	14,21
<b>Recalque</b>	
<b>Diâmetro recalque (m/s)</b>	700
<b>Comprimento vertical recalque (m)</b>	14,00
<b>Comprimento horizontal recalque (m)</b>	1150,00
<b>Válvula retenção (m)</b>	67,78
<b>Válvula gaveta (m)</b>	5,87
<b>Curvas de 90°</b>	21,03
<b>Comprimento equivalente (m)</b>	1258,678

Fonte: SEPLAN 2002

Após conhecer os comprimentos equivalente de sucção e recalque, foi calculado a perda de carga total ao longo da tubulação utilizando a fórmula de Hazen-Williams conforme adverte Azevedo Neto (1998).

$$hf = \frac{10,643 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}} * Leq$$

Onde:

$hf$  = perda de carga (m);

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);

$C$  = coeficiente adimensional que depende da natureza das paredes do tubo;

$D$  = diâmetro do tubo;

$Leq$  = Comprimento Equivalente.

Para esse cálculo foi utilizado  $C=130$  (Ferro fundido) conforme figura 2 apresentada por Azevedo Neto (1998) e a vazão de 4,2 m<sup>3</sup>/s foi dividida pelo número de bombas, sendo assim, tem-se que:

Para as bombas de 400 cv:

$$hf = \frac{10,643 * 0,7^{1,852}}{130^{1,852}} * \left( \frac{14,21}{0,55^{4,87}} + \frac{1258,678}{0,5^{4,87}} \right) \therefore hf = 24,76 m$$

Para as bombas de 750 cv:

$$hf = \frac{10,643 * 1,4^{1,852}}{130^{1,852}} * \left( \frac{14,21}{0,75^{4,87}} + \frac{1258,678}{0,7^{4,87}} \right) \therefore hf = 17,39 m$$

Logo após, calculou-se a altura manométrica ( $Hmt$ ) para ambas bombas, que pode ser compreendida como a altura geométrica somada com todas as perdas de cargas ao longo de toda a tubulação (NETTO *et. al.*, 1998), para tanto aplicou-se a fórmula abaixo:

$$Hmt = Hg + hf \therefore Hm = Hs + Hr + hf$$

Onde:

$Hman$  = altura manométrica;

$Hg$  = altura geométrica (soma das alturas de sucção e recalque);

$Hs$  = altura de sucção;

$Hr$  = altura de recalque;

$hf$  = perda de carga.

Logo, tem-se que:

Para as bombas de 400 cv:

$$Hmt = 24,76 - 5,00 + 14,00 \therefore Hmt = 33,76 m$$

Para as bombas de 750cv:

$$Hmt = 17,39 - 5,00 + 14,00 \therefore Hmt = 26,40 m$$

Com o conhecimento da altura manométrica e com emprego da fórmula descrita abaixo foi possível identificar qual a potência e o rendimento em que as bombas estão trabalhando, considerando que as potências são de 400 cv e 750 cv:

$$P = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * n} \therefore n = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * P}$$

Onde:

$P$  = potência em cv

$\gamma$  = peso específico do líquido a ser elevado, em Kgf/m<sup>3</sup>;

$Q$  = vazão, em m<sup>3</sup>/s;

$H_{man}$  = altura manométrica em m;

$\eta$  = rendimento global do conjunto elevatório;

Desse modo, tem-se:

Para as bombas de 400 cv:

$$P = \frac{1000 * 0,7 * 33,76}{75 * 0,75} \therefore P = 420,12 \text{ cv} \therefore P_{comercial} = 450 \text{ cv}$$

Rendimento global do sistema atual:

$$n = \frac{1000 * 0,7 * 33,76}{75 * 400} \therefore n = 78,77\%$$

Para as bombas de 750cv:

$$P = \frac{1000 * 1,4 * 26,40}{75 * 0,75} \therefore P = 657,06 \text{ cv} \therefore P_{comercial} = 700 \text{ cv}$$

Rendimento global do sistema atual:

$$n = \frac{1000 * 1,4 * 26,40}{75 * 750} \therefore n = 65,71\%$$

## 5.5 ANÁLISE CONFORME AS CURVAS DE RENDIMENTO DAS BOMBAS INSTALADAS

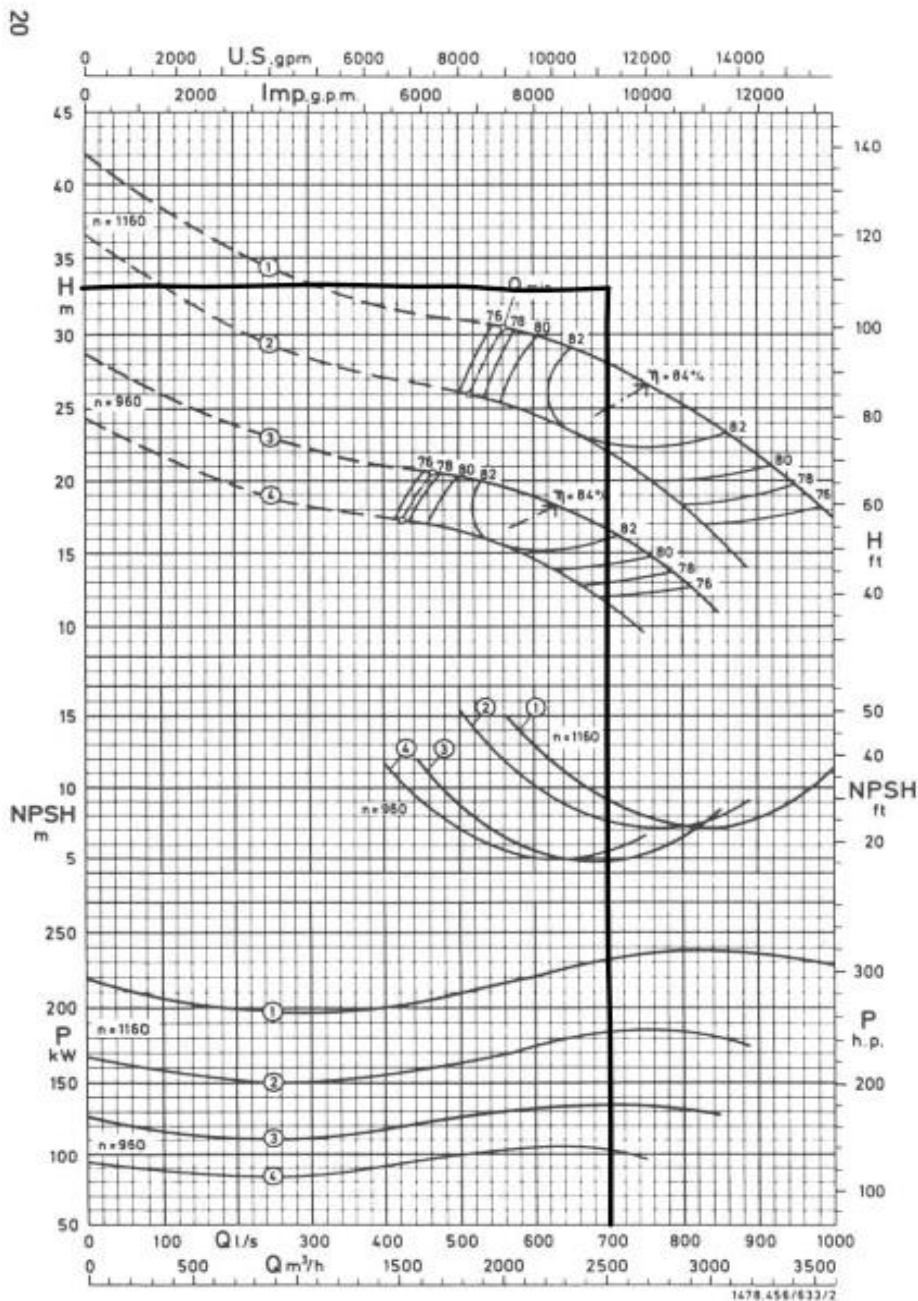
Conforme o objetivo deste trabalho, o rendimento das bombas se analisa conforme a altura manométrica confrontada com a vazão de bombeamento da bomba escolhida, com isso, encontra-se o rendimento do sistema.

**Figura 17 - Dados da bomba KSB de 400 cv**



Fonte: Autor 2017

Figura 18 - Curva característica da bomba SNZ 500-480 (400 cv)



**960/1160** 1/min

Fonte: KSB, 2017

O rendimento atual para tal bomba chega a ser superior, com isso torna-se mais evidente quanto confronta-se a vazão de uma bomba (2520 m<sup>3</sup>/h) com a altura manométrica de 33,76 mca na curva característica da mesma, conforme as figuras 17 e 18. Sendo isso, a altura manométrica máxima de bombeamento desta bomba para trabalhar com eficiência é de 27,5 mca que faz com que o desempenho do sistema tenha rendimento de aproximadamente 83%.

**Figura 19 - Dados da bomba KSB de 750 cv**



Fonte: Autor 2017

Para a bomba KSB SEZ 700-770 (750 cv), o site do fornecedor não disponibiliza a sua curva característica, portanto foi necessário avaliar sua eficiência baseado no dimensionamento. De acordo com a análise do dimensionamento feito, é possível concluir que a bomba funciona quase no seu limite manométrico (27,5 mca); os resultados apontaram superdimensionamento nas bombas de 750 cv, pois de acordo com os cálculos sua potência foi de 700 cv com rendimento de 75%. Para o sistema atual gerou-se um rendimento de 65,71%, o que torna ineficiente perante a potência utilizada pelo projeto.

## 6 CONCLUSÃO

O Projeto São João foi projetado para fornecer uma vazão de 4,2 m<sup>3</sup>/s e irrigar uma área 3.654 ha. O sistema atual trabalha com uma vazão de 2,1 m<sup>3</sup>/s, pois das quatro bombas instaladas, apenas duas bombas estão em funcionamento. Por sorte tal vazão consegue suprir as necessidades atuais.

Cabe ressaltar que a Estação de Bombeamento está com vazamentos devido as peças especiais (válvula de retenção, registro de gaveta, juntas de expansão) estarem desgastadas devido à falta de manutenção.

Por meio da análise, foi possível concluir que as bombas de 750cv não estão em sua capacidade total, visto que a potência calculada foi de apenas 700cv; já as bombas de 400cv estão trabalhando acima do rendimento, ou seja, ineficientes. Um dimensionamento com diâmetros de recalque e sucção maiores irá resultar em uma perda de carga menores ao longo da tubulação, desta forma poderá ser usado bombas menores, resultando na eficiência e economia energética do sistema.

Assim sendo, o estudo mostrou que o sistema de bombeamento da Estação de bombeamento – 001, está ineficiente perante o rendimento requerido pelas estações elevatórias.

Vale ressaltar que, os pontos de como está evidente problemas que afetam diretamente a produção agrícola. Porém, sabe-se que outras pesquisas contribuirão para melhores discussões diante da realidade apresentada, A saber;

- Novo dimensionamento para Estação de bombeamento – 01
- Análise financeira comparando o novo dimensionamento para o atual
- Verificação da eficiência das estações de pressurização existentes no projeto
- Levantamento atual da área total irrigada.

**7 ORÇAMENTO****Tabela 3 - Orçamento do projeto de pesquisa**

<b>Equipamento/Operação</b>	<b>Qde.</b>	<b>Valor unitário (R\$)</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
Computador	1 un.	R\$ 3200,00	R\$ 3200,00
Impressão	7 un.	R\$ 9,00	R\$ 63,00
Encadernação	7 un.	R\$ 3,00	R\$ 21,00
Combustível	30 litros	R\$ 3,95	R\$ 118,50
Canetas	1 un.	R\$ 2,00	R\$ 2,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 3.404,50</b>

Fonte: Autor 2017



## 8 CRONOGRAMA

Tabela 4 - Cronograma do projeto pesquisa

Atividades	Meses/2017											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Definição do tema e assunto	■											
Pesquisa bibliográfica	■	■	■	■								
Redação do projeto	■	■	■	■	■							
Verificação, correção gramatical e metodologia científica			■	■	■							
Defesa do projeto				■	■							
Definição estrutura monografia					■							
Compilação e análise dos dados da pesquisa					■	■	■	■				
Redação da monografia						■	■	■	■	■	■	
Correção gramatical e metodológica									■	■	■	
Defesa da monografia											■	
Acertos finais propostos pela banca											■	
Encadernação da monografia											■	

Fonte: Autor 2017

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALVAREZ, Guillermo Acosta; GARCEZ, Lucas Nogueira. **HIDROLOGIA**. 2.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. 1988. 291 p.

Controle&Instrumentação Edição 138, Medição de Vazão, 2008, César Cassiolato e Evaristo O. Alves.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de Saneamento**. 1. ed. João Pessoa: Editora da Universidade Federal da Paraíba, 2010. 366 p.

Imbil (Brasil). **MANUAL TÉCNICO DE BOMBAS** Bp: Curvas Características. 2015. Disponível em: < <http://www.imbil.com.br/Imbil/Portugues/catalogo>>. Acesso em: 15 de abr. 2017.

KSB, Dimensionamento de bombas. Centro de Treinamento da KSB, 2003. Disponível em: <<https://easyselect.ksb.com/camosHtml/camosHtmlServlet>>.

KSB, Manual de Treinamento: Seleção e Aplicação de Bombas Centrífugas. Centro de Treinamento da KSB, 2003. Disponível em: <[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2008/manual\\_de\\_treinamento.pdf](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/segundo2008/manual_de_treinamento.pdf)>.

LENCASTRE, Armando. **HIDRÁULICA GERAL**. Lisboa: G.C. - Gráfica de Coimbra, Lda, 1996. 651 p.

MMA (Brasília-DF). MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Mananciais**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/mananciais/>>. Acesso em: 12 de abr. 2017.

NETTO, José Martiniano de Azevedo et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1998. 669 p.

NEVES, Eurico Trindade. **CURSO DE HIDRAULICA**. São Paulo: Editora Globo S.A. 1989. 577 p.

PIMENTA, Carlito Flavio. **CURSO DE HIDRAULICA GERAL**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A. 1981. 482 p.

PORTO, Rodrigo de Melo. **HIDRÁULICA BÁSICA**. 2. ed. São Carlos: Eesc-usp, 2001. 519 p.

QUIMATIC (São Paulo-SP). Cavitação. Disponível em: <<http://www.quimatic.com.br/blog/2016/06/como-reduzir-custos-manutencao-bombas-linha-plasteel/>>. Acesso em: 16 de abr. 2017.

REDE DAS ÁGUAS (São Paulo - Sp). Fundação Sos Mata Atlântica (Org.). **A ÁGUA: Água – o recurso mais valioso do Planeta.** 2015. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/projeto/rede-das-aguas/>>. Acesso em: 12 de abr. 2017.

SEPLAN, Secretaria de planejamento do estado do tocantins, 2017. Disponível em: <<http://seplan.to.gov.br/>>.

TUCCI, Carlos E. M.; SILVEIRA, Andre L. L. da; BENETTI, Antonio. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/ufrgs, 2001. 600 p.

UNESP (Guaratinguetá). **Importância do abastecimento de água.** Guaratinguetá: Video, 2011. 12 slides, P&B.

VIEIRA, Andrée de Ridder; COSTA, Larissa; BARRÊTO, Samuel Roiphe. **Livro das Águas.** Brasília: Wwf-brasil, 2006.