

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**BRUNO DE ABREU SILVEIRA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO EM  
LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO NA FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE  
DO SUL**

**Alegrete  
2021**

**BRUNO DE ABREU SILVEIRA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO EM  
LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO NA FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE  
DO SUL**

Trabalho de Conclusão de  
Curso II apresentado ao programa de  
graduação em Engenharia Agrícola da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do  
Título de Bacharel em Engenharia  
Agrícola

Orientador: Prof. Eng. Agr. Douglas de Oliveira Adolpho

**Alegrete**

**2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S898a Silveira, Bruno de abreu  
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO EM  
LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO NA FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO  
SUL / Bruno de abreu Silveira.  
63 p.  
  
Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2021.  
"Orientação: Douglas de Oliveira Adolpho".  
  
1. Estação de bombeamento. 2. Irrigação. I. Título.

**BRUNO DE ABREU SILVEIRA**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO EM LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO NA FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Trabalho defendido e aprovado em: 05, outubro de 2021.

Banca examinadora:

---

Prof. Douglas de Oliveira Adolpho  
Orientador  
(UNIPAMPA)

---

Eng. Agríc. Michel Lopes Pagnossin

---

Me. Miguel Chaiben Neto



Assinado eletronicamente por **DOUGLAS DE OLIVEIRA ADOLPHO, PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR - SUBSTITUTO**, em 08/10/2021, às 08:45, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Miguel Chaiben Neto, Usuário Externo**, em 08/10/2021, às 10:30, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Michel Lopes Pagnossin, Usuário Externo**, em 08/10/2021, às 11:43, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0634543** e o código CRC **D092BEFA**.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço à minha família, em especial ao meus pais, Ivonete de Abreu Silveira, e Herivelto Garcia Silveira, pois toda essa caminhada é devido aos esforços de ambos, pois foram e são os pilares dessa trajetória.

Também agradeço a minha esposa Hellen Mengue Nogueira, que nessa reta final me encoraja para seguir em frente e ultrapassar obstáculos.

Agradeço ao meu orientador e colega, Douglas de Oliveira Adolpho, que é uma pessoa dedicada, batalhadora e que esteve presente me auxiliando no trabalho de conclusão de curso.

Aos participantes da banca, obrigado por aceitar e estarem presentes na minha avaliação; A coordenadora do curso de Engenharia Agrícola, Eracilda Fontanela que sempre esteve e está presente, orientando os alunos da melhor forma e buscando melhorias.

Agradeço a empresa Campo & Lavoura, que abriu as portas para o mercado de trabalho.

Então fica meus sinceros agradecimentos a todos por fazerem parte da minha história.

A todos o meu muito obrigado!

## RESUMO

Diante do contexto nacional e principalmente regional, o arroz irrigado por inundação tem expressiva participação no produto interno bruto, contanto diante ao cenário atual vem sofrendo desaceleração no cultivo. Os elevados custos de produção onde o sistema de bombeamento está ligado diretamente, pois através do seu elevado custo de implantação, ocorre ainda o alto consumo de água e de energia elétrica. O seguinte trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de sistemas de bombeamento em uma propriedade produtora de arroz irrigado, localizada na cidade de Alegrete-RS. As atividades referidas ao projeto foram divididas em duas etapas. Na primeira o foco foi caracterizar o sistema de irrigação, onde foi realizado o levantamento dos dados do sistema, nos quais são: vazão; alturas geométricas; comprimento de tubulação de sucção e recalque; diâmetro das tubulações; caracterização das peças especiais; bomba centrífuga e motor elétrico. Segunda etapa compreendeu os seguintes processos: averiguar a eficiência dos sistemas de bombeamento existentes instalados na propriedade; apresentar sua real eficiência; propor um redimensionamento, mostrando o cenário atual e comparando-o com um novo cenário, no qual torna-se mais eficaz, com isso, havendo um maior rendimento. O trabalho pode mostrar a situação encontrada no campo em que, na primeira estação de bombeamento foi possível atingir uma economia de 46,7% no consumo de energia após o redimensionamento. Já no segundo sistema avaliado foi possível adequar seu funcionamento de modo a atender a vazão necessária, para isso o melhor cenário foi com o uso da tubulação de 640 mm de diâmetro que proporcionou os melhores parâmetros hidráulicos aliado ao menor consumo de energia.

Palavras-chave: Arroz irrigado, sistema de bombeamento, eficiência, rendimento

## ABSTRACT

Given the national and mainly regional context, flood-irrigated rice has an expressive share in the gross domestic product, but given the current scenarios it has been suffering a slowdown in cultivation, having as the pivot of the situation the high production costs, where the system of pumping has a direct participation, being through the high cost of implantation of the system, consumption of water and electric energy. The following work has as principles to evaluate the efficiency of pumping systems in an irrigated rice producing property, located in the city of Alegrete-RS. The activities were divided into two stages, in order to characterize the irrigation system, surveying the system data: flow; geometric heights, length of suction and discharge piping; diameter of pipes, characterization of special parts, centrifugal pump and electric motor. The second stage is defined as: verifying the efficiency of the existing pumping systems installed on the property; present its real efficiency; propose a resizing, showing a new scenario in which, it becomes more efficient, with a higher yield and at the same time meeting the water demands of the irrigated rice crop. The work can show the situation found in the field where, in the first pumping station, it was possible to achieve savings of 46.7% in energy consumption after resizing. In the second system evaluated, it was possible to adapt its operation in order to meet the required flow, for this the best scenario was the use of a 640 mm diameter pipe that provided the best hydraulic parameters combined with lower energy consumption.

**Keywords:** Irrigated rice, pumping system, efficiency, yield

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lavoura de arroz irrigação com cultivo em taipas .....	18
Figura 2 - Sistema de bombeamento convencional .....	19
Figura 3 - Estação de bombeamento com estrutura flutuante.....	20
Figura 4 - Rendimento da bomba hidráulica .....	21
Figura 5 - Rendimento do motor em relação a potência .....	22
Figura 6 - Sistema de bombeamento motor e bomba .....	25
Figura 7- Município de Alegrete na Fronteira oeste do Rio Grande do Sul .....	27
Figura 8 - 7º Sub-distrito Guassu Boi .....	28
Figura 9 - GPS Garmin 62 s, marcando ponto .....	29
Figura 10- Nível óptico para levantamento altimétrico .....	30
Figura 11 - Localização dos sistemas de bombeamento .....	30
Figura 12 - Localização do 1º sistema de bombeamento.....	31
Figura 13 - Ponto de captação em barramento .....	31
Figura 14 - Bomba centrífuga modelo 10 DBE.....	32
Figura 15 - Localização do 2º sistema de bombeamento.....	33
Figura 16 - Motor trifásico marca Siemens.....	33
Figura 17- Dimensionamento correias e polias do 1º levante .....	45
Figura 18 - Dimensionamento de correias e polias do segundo levante .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Peças especiais e seus respectivo diâmetros	35
Tabela 2- Rendimento de transmissões	39
Tabela 3- Dados referente a 1º estação de bombeamento, situação encontrada	40
Tabela 4 - Rendimento do Sistema de Bombeamento com situação encontrada	42
Tabela 5 - Potência do 1º sistema de bombeamento não redimensionado	42
Tabela 6- Valores para cálculo de consumo energético 1º EB não redimensionada	43
Tabela 7 - Dados da 1º estação de bombeamento redimensionada	44
Tabela 8 - Rendimento do sistema de bombeamento redimensionado	46
Tabela 9 - Potências da 1º EB redimensionada	47
Tabela 10 - Valores para cálculo de consumo energético 1º EB redimensionada	47
Tabela 11 - Comparativo de consumo energético entre a EB encontrada e redimensionada	48
Tabela 12 - Dados do 2º sistema de bombeamento	49
Tabela 13 - Eficiência do sistema de bombeamento	50
Tabela 14 - Potências da 2º estação de bombeamento não redimensionado	50
Tabela 15 - Valores para cálculo de consumo energético do 1º cenário da 2º estação de bombeamento	51
Tabela 16 - Dados do redimensionamento do 1º cenário do 2º levante	52
Tabela 17 - Rendimento de bombeamento (EB-a)	53
Tabela 18 - Valores de potência da EB-2-a	54
Tabela 19 - Valores para cálculo de consumo energético (2º EB-a)	54
Tabela 20 - Dados do redimensionamento da 2º estação de bombeamento, 2º cenário	56
Tabela 21 - Rendimento do segundo sistema de bombeamento, segundo cenário	56
Tabela 22 - Potências da 2º EB redimensionada 2º cenário	57
Tabela 23 - Valores para cálculo de consumo energético, 2º EB-b	57
Tabela 24 - Comparativo de consumo de energia em kWh para uma safra	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Relação da carga no eixo do motor condição de rendimento

23

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Rendimento da bomba hidráulica	25
Gráfico 2-Curva da bomba 10 DBE	42
Gráfico 3-Curva da bomba 14 DBE	45
Gráfico 4-Comparativo de consumo energético entre a EB encontrada e redimensionada no período 1 safra	48
Gráfico 5-Comparativo de consumo energético entre a EB encontrada e redimensionada no período 10 safras	48
Gráfico 6-Curva da bomba 10 DBE	50
Gráfico 7-Curva da Bomba 10 DBE- EB-2-a	54
Gráfico 8-Curva da bomba 10 DBE	

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. OBJETIVO GERAL .....	16
2.1 Objetivo Específicos .....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 Cultura do Arroz ( <i>Oryza Sativa, L.</i> ).....	17
3.2 Sistema de Irrigação por Inundação .....	17
3.3 Sistema de Bombeamento em Lavoura de Arroz Irrigado .....	18
3.4 Rendimento da Bomba Centrífuga.....	20
3.5 Eficiência dos Sistemas de Bombeamento .....	21
3.6 Rendimento do Motor Trifásico.....	21
3.7 Potência Hidráulica .....	22
3.8 Potência Consumida pela Bomba.....	23
3.9 Rendimento do Sistema Motor e Bomba.....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	27
4.1 Levantamento de Dados dos sistemas de Bombeamento.....	28
4.1.2 Descrição Técnica dos Sistemas de Bombeamento .....	30
4.2 Análise de Dados com Ênfase na Eficiência do Sistema de Bombeamento .....	34
4.2.1 Velocidade do Escoamento dos Fluidos.....	34
4.2.2 Determinação das Perdas de Carga no Sistema .....	34
4.2.3 Perda de Carga Distribuída em Tubulação Única.....	36
4.2.4 Perda de Carga distribuída e Localizada em Tubulação Única .....	36
4.2.5 Altura Manométrica do Sistema de Bombeamento.....	37
4.2.6 Dimensionamento de Polias e Correias .....	37
4.2.7 Potência e Rendimento do Sistema de bombeamento .....	37

4.2.7.1 Potência Hidráulica .....	38
4.2.7.2 Potência Motor-Bomba .....	38
4.2.7.3 Determinação da Potência do Motor Elétrico Acionador ...	39
5.1 Caracterização das Estações de Bombeamento .....	40
5.1.1 Avaliação do Primeiro Sistema de Bombeamento .....	40
5.1.1.1 Redimensionamento do Primeiro Sistema de Bombeamento .....	43
5.1.2.1 Redimensionamento do segundo Sistema de Bombeamento .....	52
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do arroz (*Oryza Sativa L.*) abastece metade da população mundial sendo dividida em seis espécies, onde são consideradas como alimento primordial na alimentação básica.

No Brasil, temos grande o predomínio de dois tipos de manejo de arroz: o arroz irrigado, também conhecido como arroz de terras baixas, no qual necessita de grandes demandas hídricas; e o arroz de sequeiro, não necessita ser inundado e sua demanda hídrica é menor.

O Rio Grande do Sul possui destaque de maior produtor de arroz irrigado e de acordo com a Sociedade Sul-Brasileira de arroz irrigado (SOSBAI, 2018). O estado tem o predomínio por sistema de irrigação por inundação, como sistema de cultivo com taipas em nível. A inundação ocorre a partir de cotas mais altas, sendo a água distribuída por gravidade, mantendo-se uma lâmina de água por meio de taipas construídas com diferença de nível de 5 a 10 cm.

Para o Instituto Rio Grandense de Arroz Irrigado (IRGA, 2021), a área cultivada no estado na safra 2020/2021 foi de 969.239 hectares, onde a fronteira oeste correspondeu com 269.938 hectares sendo a maior produtora do estado, municípios como Uruguaiana, Alegrete e Itaqui se destacaram como maiores produtores.

Volume consumido de água no sistema de irrigação depende da textura e declividade do solo, temperatura e umidade relativa do ar, assim determinando vazões contínuas aproximadas de 1,5 a 2,0 l/s/ha, em um período médio de irrigação de 80 a 100 dias, dependendo da cultivar e condições externas, atualmente, na irrigação do arroz, tem-se utilizado vazões de 1,7 a 3,0 l/s/ha.

De acordo com Sosbai (2018) estima-se que o volume de água utilizado em lavouras de arroz irrigado na região sul do Brasil, é em média de 6 a 12 mil m<sup>3</sup>/ha.

O custo médio ponderado da energia elétrica para irrigação na lavoura de arroz irrigado no Rio Grande do Sul foi de R\$ 354,44 por hectare na safra 2020/2021, havendo uma participação de 3,06% no custo total da lavoura (IRGA, 2021).

Conforme Macintyre (1982), o rendimento total das bombas centrífugas pode ter variações conforme o seu modelo, para o rendimento ser considerado aceitável deve ficar entre 60% e 75%.

Na Fronteira Oeste do Rio grande do Sul, no município de Alegrete é corriqueiro vermos nas propriedades produtoras de arroz irrigado os sistemas de bombeamento mal dimensionados, pode-se reduzir o consumo expressivamente de energia em algumas estações se forem redimensionadas as perdas de carga e assim melhorando a eficiência e conseqüentemente melhorando a eficiência do sistema de bombeamento. Para otimizar o desempenho energético das estações de bombeamento, visando diminuir perdas, é necessário seguir alguns critérios, tais como a bomba hidráulica deverá ter rendimento superior a 80%, o acoplamento deve ser direto da bomba ao motor; as tubulações devem ser dimensionadas para que a água circule com velocidades de até 1,0 m/s na tubulação de sucção e, no máximo, de 2,0 m/s na tubulação de recalque (IRGA, 2009).

Segundo Kopp (2015), a falta de parâmetros que determinem ou indiquem um dimensionamento eficaz, dificulta avaliação das estações de bombeamento, pois o bombeamento possui parâmetros variáveis de dimensionamento para safra, levando em conta área irrigada e alteração do local dentro de um rodízio de áreas usual no sistema.

O dimensionamento das estações de bombeamento é uma etapa fundamental para o bom desempenho dos sistemas pressurizados de irrigação. A primeira preocupação está no dimensionamento hidráulico, entretanto, a viabilidade do empreendimento varia conforme a sua eficiência e custos da implantação e operação.

Levando em conta as questões pertinentes aos rendimentos dos sistemas de bombeamento na lavoura de arroz irrigado, é notório verificar a falta de informação a questões técnicas e racionais, havendo a necessidade de assessoria técnica especializada no mercado.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Realizar levantamento técnico que consiste em identificar as estruturas dos sistemas de bombeamento elétrico dispostos e utilizados em propriedades rurais no qual suas atividades primárias são o cultivo de arroz irrigado por inundação.

### **2.1 Objetivo Específicos**

- i. Realizar levantamento técnico, caracterizando o sistema de bombeamento presente na propriedade rural;
- ii. Efetuar a análise de dados com ênfase na eficiência do sistema de bombeamento instalado, rendimento da bomba centrífuga e consumo de Cavalo Vapor (cv) dos motores elétricos de acionamento do sistema e rendimento geral dos componentes;
- iii. Propor medidas cabíveis ao produtor de arroz se necessário, que otimizem a eficiência do sistema de irrigação e cumpra com as demandas da lavoura de arroz quanto à vazão.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

Este capítulo está destinado a uma revisão dos principais assuntos que embasam este trabalho, possibilitando conhecer melhor o sistema de irrigação por inundação no qual é tão peculiar e se restringe boa parte a região do sul do Brasil, onde é uma das principais ferramentas para produção de arroz irrigado.

#### **3.1 Cultura do Arroz (*Oryza Sativa*, L.)**

Conforme Nunes (2016), o arroz (*oriza sativa* L.), divide o seu ciclo em três fases de desenvolvimento: plântula, estágio vegetativo e estágio reprodutivo. A duração do ciclo pode variar conforme a cultivar. O arroz é uma gramínea, classificada no grupo de plantas C-3, habituada ao ambiente aquático. Para apresentar potencial produtivo, a cultura necessita de temperatura ao redor de 24 a 30 °c e radiação solar elevada.

#### **3.2 Sistema de Irrigação por Inundação**

O Rio Grande do Sul caracteriza-se pelo cultivo de grandes áreas de arroz irrigado (FIGURA 1), no qual predomina o sistema de cultivo com taipas em nível. A irrigação por inundação, na grande parte das lavouras, é pouco planejada, embora se tenha o domínio da água. A inundação ocorre a partir de patamares mais altos, sendo a água conduzida por gravidade, mantendo-se uma lâmina de água por meio de taipas construídas com diferença de nível de 5 a 10 cm. (SOSBAI, 2018).

Figura 1 - Lavoura de arroz irrigação com cultivo em taipas



Fonte: O Autor

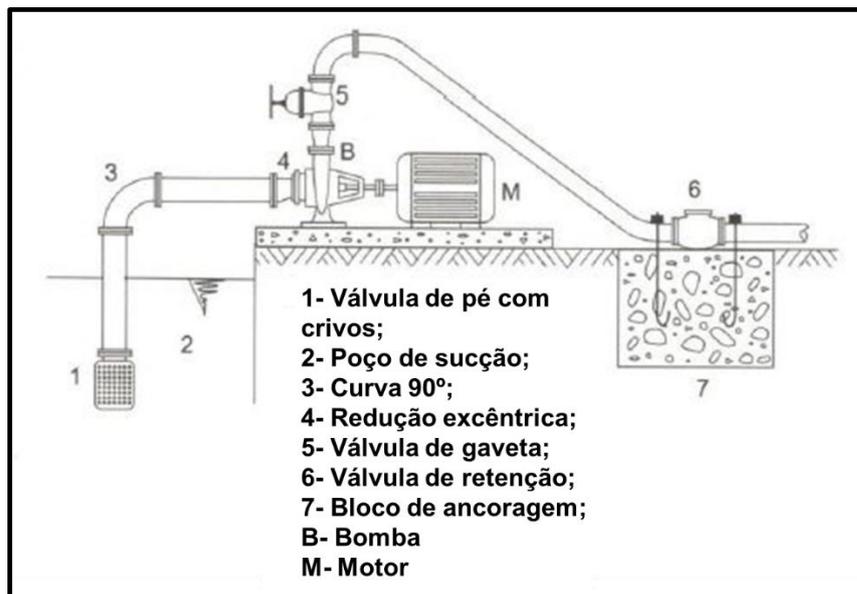
A irrigação por inundação para ser bem sucedida irá depender do dimensionamento correto do sistema de bombeamento, manejos eficientes, conhecimento técnico da topografia do terreno, do volume de água disponível, demanda hídrica da(s) cultura(s) a serem cultivadas e condições climáticas.

### **3.3 Sistema de Bombeamento em Lavoura de Arroz Irrigado**

O sistema de bombeamento na lavoura de arroz irrigado, possui a função de captar água, de uma conta mais baixa onde realiza o recalque do fluido até as cotas mais elevadas, em um ponto de distribuição onde passa ser conduzida por canais de terra no qual distribuem a água por gravidade aos tabuleiros.

As estações de bombeamento (FIGURA 2) para lavoura arroseira é basicamente composto por: a) motor elétrico ou motor a diesel para acionamento, bomba centrífuga, sistema de acoplamento para transmissão mecânica, tubulação de recalque, tubulação de sucção e peças especiais.

Figura 2 - Sistema de bombeamento convencional



Fonte: Tolentino, (2021)

Na fronteira oeste do Rio Grande do Sul é comum vermos estruturas flutuantes, denominadas comumente como balsas (FIGURA 3), onde possuem a função de suprir a canalização de sucção, zerando a altura geométrica e conseqüentemente a manométrica. Conforme (KOPP, 2015) às estruturas flutuantes servem para melhor posicionamento das bombas centrífugas, acompanhando o nível da água e para que a altura geométrica de sucção seja nula perante ao processo de bombeamento, mas havendo alteração na altura geométrica do recalque.

Figura 3 - Estação de bombeamento com estrutura flutuante



Fonte: O Autor

### 3.4 Rendimento da Bomba Centrífuga

A bomba é um dispositivo do sistema de irrigação no qual tem função de transformar energia mecânica em energia hidráulica cedida ao fluido. No processo de transformação energética existem perdas, ou seja, nunca haverá 100% de transformação de energia mecânica para energia hidráulica. Então o rendimento da bomba (FIGURA 4) é a relação da potência mecânica fornecida à bomba pelo motor e a potência hidráulica cedida ao fluido (EQUAÇÃO 1), (AZEVEDO, 2005).

$$\eta = \frac{Ph}{P} \quad \dots(1)$$

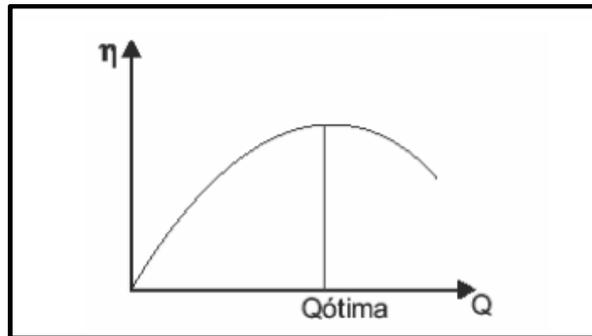
Onde:

$\eta$ : Rendimento da bomba;

Ph: Potência Hidráulica;

P: Potência Consumida

Figura 4 - Rendimento da bomba hidráulica



Fonte: AZEVEDO (2005)

### 3.5 Eficiência dos Sistemas de Bombeamento

Trabalho útil é aquele necessário para suprir as necessidades de água da lavoura, vencendo o desnível (altura geométrica) entre o manancial de água e a área a ser irrigada. Este sistema é composto pelos seguintes elementos: bomba; tubulação de sucção; tubulação de descarga e sistema motriz. A potência (EQUAÇÃO 2) que a bomba transfere ao fluido é proporcional a vazão requerida, que é função de características do solo, da topografia e do plano de irrigação da lavoura. A altura manométrica é constituída pela altura geométrica, pelas perdas na tubulação de sucção, pelas perdas na tubulação de descarga e da energia cinética no bocal de descarga da tubulação.

$$Pa = Q \cdot \gamma \cdot Hm \quad \dots(2)$$

Onde:

Pa: é a potência entregue ao fluido,

Q: é a vazão, m<sup>3</sup>/s

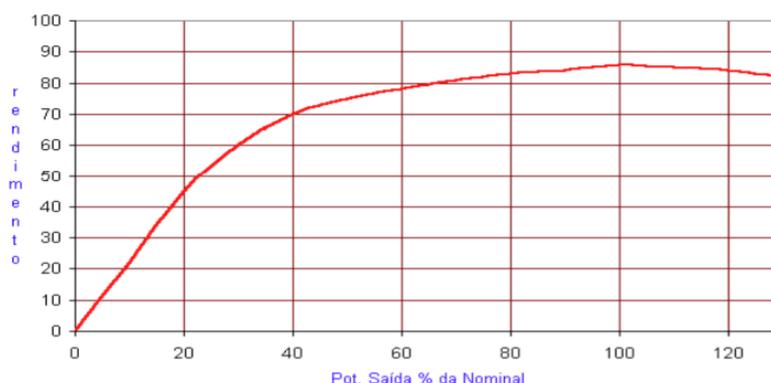
γ: é o peso específico, N/m<sup>3</sup>

Hm: é a altura manométrica,

### 3.6 Rendimento do Motor Trifásico

Para Azevedo (2005), o rendimento do motor trifásico é a relação da transformação da energia elétrica para mecânica no sistema (FIGURA 5), onde pode ter variações da carga mecânica em seu eixo.

Figura 5 - Rendimento do motor em relação a potência



Fonte: AZEVEDO (2005)

O rendimento de um motor elétrico trifásico varia com o rendimento com a potência de saída. Se o Motor estiver operando com carga nominal abaixo de 50% também haverá perdas bruscas e conseqüentemente a eficácia de rendimento também irá diminuir (QUADRO 1).

Quadro 1- Relação da carga no eixo do motor condição de rendimento

Carga no eixo do motor	Condição do rendimento
Abaixo de 50% da potência nominal	Aumento acentuado das perdas
Entre 50% e 75% da potência nominal	Pouca variação do rendimento
Entre 75% e 100% da potência nominal	Rendimento próximo ao nominal
Acima de 100% da potência nominal	Sobrecarga, com queda de rendimento

Fonte: AZEVEDO, (2005)

### 3.7 Potência Hidráulica

É o fator importante a determinar para que possamos utilizar nas equações futuras de eficiência do sistema de bombeamento (motor e bomba), iremos utilizar na (EQUAÇÃO 3).

$$Ph = \frac{y*q*h}{270} \quad \dots(3)$$

Onde:

Ph= potência hidráulica, em CV;

Y= peso específico do fluido, em Kgf/L;

Q=vazão, em m<sup>3</sup>/h;

H= altura manométrica, em (m);

270= Fator de conversão.

### 3.8 Potência Consumida pela Bomba

É um fator importante para dimensionamento do sistema, é o momento que vamos verificar a potência que o motor trifásico deverá fornecer a bomba para que ela consiga suprir a vazão em função da altura manométrica do levante. Ela pode ser calculada na (EQUAÇÃO 4).

$$P = \frac{y*Q*H}{270*N} \quad \dots(4)$$

Onde:

P= potência requerida pela bomba, em CV

y= peso específico do fluido, em Kgf/L

Q=vazão, em m<sup>3</sup>/h

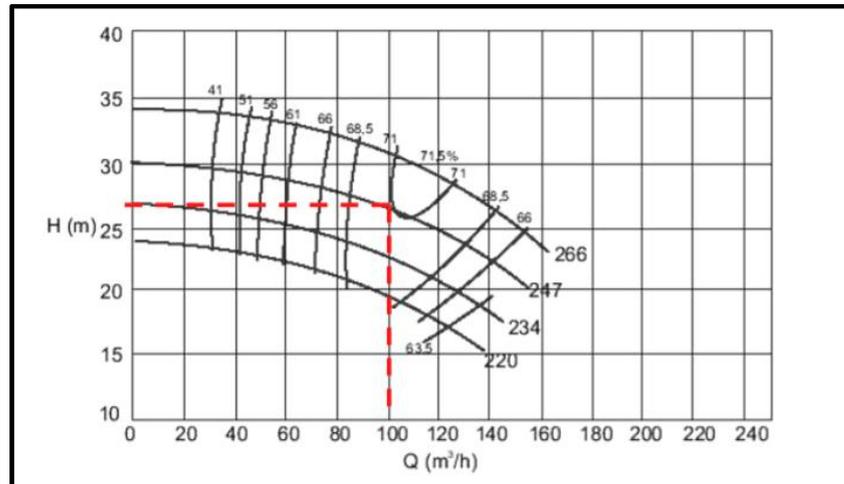
H= altura manométrica, em (m)

270= Fator de conversão

N= eficiência, em (%)

Porém precisamos saber o rendimento da bomba, que é fornecido pelos fabricantes (GRÁFICO 1), onde irá entrar com apenas dois dados no eixo Y, entra-se com (H= altura manométrica) e no eixo X (Q= vazão desejada).

Gráfico 1- Rendimento da bomba hidráulica



Fonte: AZEVEDO,(2005)

### 3.9 Rendimento do Sistema Motor e Bomba

O rendimento do sistema motor e bomba é também conhecido como rendimento global, sendo o produto do rendimento da bomba em seu ponto de funcionamento, pelo rendimento do motor em função do carregamento (MACINTRY,1988). Para Kopp (2015) o rendimento do sistema motor e bomba limita-se ao rendimento individual de cada componente do sistema de bombeamento, em função da sua capacidade e características físicas.

Para determinação do rendimento do sistema de bombeamento, utiliza-se a (EQUAÇÃO 5 e 6) para determinação do rendimento do motor e bomba e (EQUAÇÃO 7) para determinar o rendimento do sistema de bombeamento (motor-bomba).

$$nm = \left( \frac{Pm}{Pe} \right) \quad \dots(5)$$

Onde:

nm: rendimento do motor;

Pm: potência Mecânica, em (CV);

Pe: potência elétrica, em (KW).

$$nb = \left( \frac{Ph}{Pm} \right) \quad \dots(6)$$

Onde:

nb: rendimento da bomba;

Ph: potência hidráulica, em (CV);

Pm: potência mecânica, em (CV);

$$nm * nb = \left( \frac{Ph}{Pe} \right) \quad \dots(7)$$

Onde:

nm\*nb: rendimento motobomba (%);

Ph: potência hidráulica, em (cv);

Pe: potência elétrica, em (cv).

O rendimento total do sistema é simplesmente o produto do rendimento do motor e bomba (Figura 6).

Figura 6 - Sistema de bombeamento motor e bomba



Fonte: AZEVEDO, (2005)

Conforme Gomes (2012), às bombas centrífugas podem operar em uma margem satisfatória na faixa de vazão entre 70 e 120% do ponto de melhor rendimento. Ainda Gomes (2012), o motor elétrico também sofre variações do rendimento, fator de potência, velocidade de rotação e corrente, em função da

potência da carga acionada, logo, a melhor região de trabalho do motor está entre 75 e 100% da carga acionada, ou seja, é nesta região que se obtém valores elevados para o rendimento e o fator de potência de motor, contudo, aplicação em valores inferiores a 75% não são inviabilizadas, mas perdem em eficiência. Em relação a faixa de frequência de alimentação do motor, o autor recomenda variação entre 30 a 60Hz.

Segundo Filho et al. (2011) desenvolveram e validaram uma metodologia para diagnosticar energeticamente um sistema de bombeamento. Dentre as medidas propostas para economia de energia, o redimensionamento de bombas foi uma das que apresentou resultados mais significativos.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho tem o objetivo de verificar a eficiência dos sistemas de bombeamento de irrigação por inundação que fornecem água para a lavoura de arroz irrigado. Os sistemas de bombeamento se localizam na agropecuária São Francisco, localizada na fronteira oeste do Rio Grande do Sul (FIGURA 7), mais precisamente na cidade de Alegrete, localizada no 7º Sub-distrito Guassu Boi.

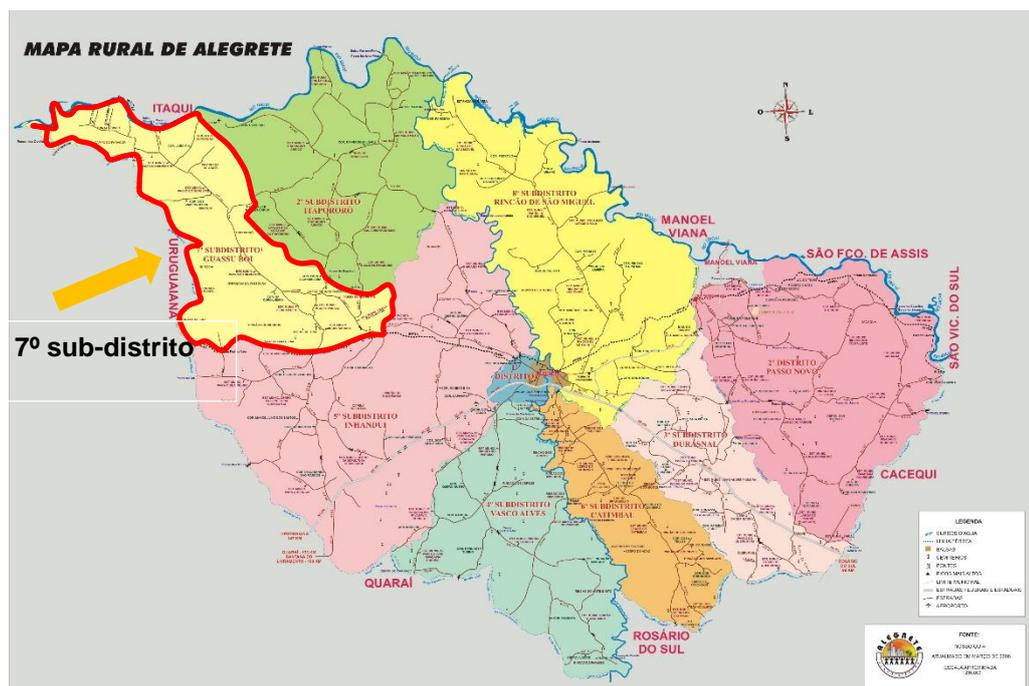
Figura 7- Município de Alegrete na Fronteira oeste do Rio Grande do Sul



Fonte: Prefeitura Alegrete (2021)

A Figura 8 ilustra o 7º Sub-distrito do Guassu Boi localizado no município de Alegrete – RS.

Figura 8 - 7º Sub-distrito Guassu Boi



Fonte: Prefeitura de Alegrete (2021)

O trabalho ocorreu em duas etapas, onde a primeira etapa se destina ao levantamento técnico de dois sistemas de bombeamento, no qual houve coleta de dados a campo, caracterizando-os para fins de verificação da eficiência. Já a segunda etapa consistiu na verificação da eficiência dos mesmos, através da análise de dados da estação, visando verificar o rendimento da bomba hidráulica e consumo de cavalos de vapor (CV) do motor elétrico. Ainda na segunda etapa será realizado um redimensionamento quando necessário dos sistemas de irrigação, visando a sua otimização e apresentando relatório comparativo da situação encontrada na propriedade e as projetadas. Para o segundo sistema de bombeamento será proposto dois cenários, sendo o primeiro com a utilização de uma tubulação de 480mm e para o segundo cenário será utilizado uma tubulação de 640 mm.

#### 4.1 Levantamento de Dados dos sistemas de Bombeamento

A primeira etapa consistiu na coleta de dados a campo, realizada no período entre a safra de arroz 2018/2019 na Agropecuária São Francisco. Foi realizado os levantamentos de dados de dois sistemas de bombeamento, que constou itens básico

para avaliação da eficiência do sistema de bombeamento e para o redimensionamento, tais como: a) especificações das bombas centrífugas; b) motores elétricos de acionamento; c) acoplamento motor-bomba; d) comprimento e diâmetro das canalizações; e) peças especiais instaladas e f) altura geométrica de recalque e sucção.

Para suporte na coleta de dados foram utilizados alguns equipamentos, como GPS da marca Garmin 64s conforme a Figura 9, para determinação do comprimento das tubulações.

Figura 9 - GPS Garmin 62 s, marcando ponto



Fonte: Autoria própria

O nível óptico foi utilizado para altimetria do terreno conforme ilustrado na Figura 10 e por último trena para verificarmos diâmetros das tubulações, das polias motoras e movidas.

Figura 10- Nível óptico para levantamento altimétrico

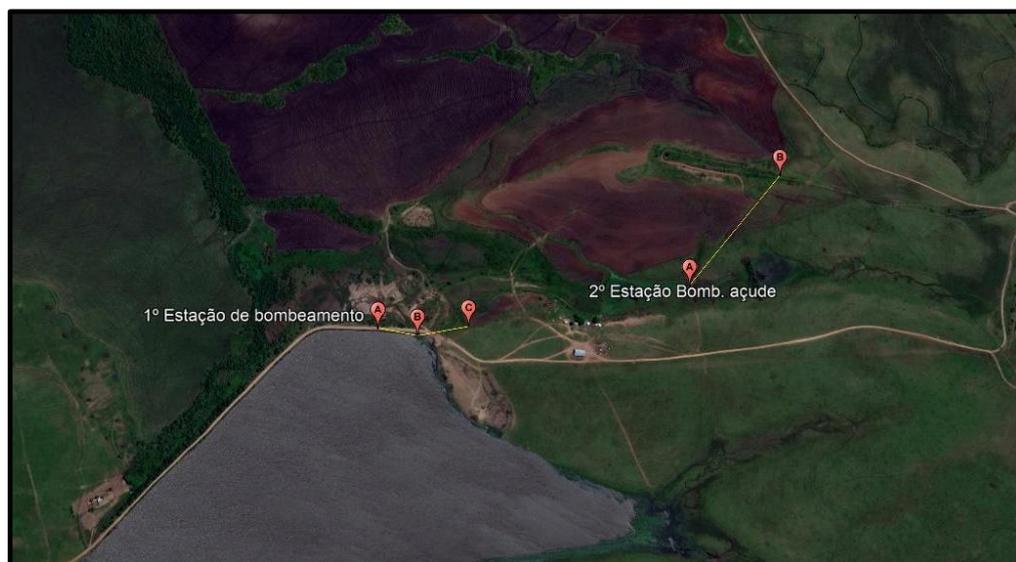


Fonte: O autor

#### 4.1.2 Descrição Técnica dos Sistemas de Bombeamento

Foram analisados dois sistemas de bombeamento (FIGURA 11), na agropecuária São Francisco. Onde são destinados a recalcar água para lavoura de arroz irrigado.

Figura 11 - Localização dos sistemas de bombeamento



Fonte: O autor

O primeiro sistema de bombeamento, (FIGURA 12), localizado nas coordenadas geográficas (-29.682090° -56.342464°), denominado levante da barragem.

Figura 12 - Localização do 1º sistema de bombeamento



Fonte: O Autor

A captação de reservatório do tipo barramento (FIGURA 13), esta estação possui a altura geométrica de 1,54m, comprimento de tubulação de recalque é 214 m, medidos da altura de lâmina de água no nível máximo da barragem, até a saída da canalização.

Figura 13 - Ponto de captação em barramento



Fonte: O Autor

Possui uma tubulação de chapa metálica, com 480 mm de diâmetro, bomba centrífuga 10 DBE, motor elétrico de acionamento de 75 cv, acoplados por polias e correias. Tem em sua instalação um transformador de 75 kva. Características técnicas da bomba hidráulica 10 DBE (FIGURA 14), tem por suas características a) trabalhar com vazões até 1200 m<sup>3</sup>/h; b) pressões até 220 m; c) temperaturas máximas de 120 °c. d) A carcaça da bomba é bipartida radialmente, com os bocais de sucção e descarga flangeados e fundidos integralmente à mesma. O flange de sucção é horizontal (axial) e o de descarga vertical (radial) na linha de centro, o que permite a distribuição homogênea dos esforços devidos à tubulação de descarga; e) rotor é do tipo fechado, com simples sucção enchavetado ao eixo e fixado axialmente; f) mancal é composto por rolamentos de esferas. (Excell, 2021).

Figura 14 - Bomba centrífuga modelo 10 DBE



Fonte: O Autor

Este sistema de bombeamento não possui área efetiva para irrigar, ficando responsável somente pelo fornecimento de água para a segunda estação de bombeamento, que soma uma área irrigada de aproximadamente 175 ha de arroz.

O segundo sistema de bombeamento, (FIGURA 15) esta estação possui a altura geométrica de 14,03 m, e comprimento de tubulação de recalque de 344 m, medidos da altura de lâmina de água no nível máximo do açude, até a saída da canalização.

Figura 15 - Localização do 2º sistema de bombeamento



Fonte: Autoria própria

Este sistema possui uma tubulação de chapa metálica de 480 mm de diâmetro, e um conjunto com uma bomba denominada 10 DBE acoplada por polias a um motor de 100 cv, marca Siemens (FIGURA 16) e um transformador de 112,5 kva. Esta estação irriga uma área de aproximadamente 175 ha de arroz com vazão de 2,2 l/s e recebe o fornecimento da primeira estação de bombeamento citada acima com vazão de 2,3 l/s.

Figura 16 - Motor trifásico marca Siemens



Fonte: O Autor

## 4.2 Análise de Dados com Ênfase na Eficiência do Sistema de Bombeamento

As informações coletadas a campo, foram analisadas, verificadas as eficiências e rendimentos do sistema de bombeamento, focado no rendimento total dos componentes (motor, bomba e acoplamento) e da bomba centrífuga e consumo de cavalo vapor (cv) do motor elétrico de acionamento e quilowatt-hora (Kwh).

### 4.2.1 Velocidade do Escoamento dos Fluidos

Para determinação da velocidade de escoamento na canalização presente e projetada, foi necessário utilizar a (EQUAÇÃO 8 e 9) de Hazen-Williams.

$$Dr = \sqrt{\left(\frac{4Q}{\pi V r}\right)} \quad \dots(8)$$

$$V = \left(\frac{4Q}{D^2\pi}\right) \quad \dots(9)$$

Onde:

Dr: Diâmetro da Sucção comercial adotado (m);

Q: Vazão (m<sup>3</sup>/s);

V: Velocidade de escoamento (m/s).

### 4.2.2 Determinação das Perdas de Carga no Sistema

As perdas de cargas distribuídas e localizadas irão ser determinadas pelo método de Hazen-Williams, no qual é indicada para diâmetros de tubulações maiores que 50 mm e máximo 3500 mm. Para o cálculo da perda de carga utilizou-se o método do comprimento equivalente de tubulação única. Foi necessário elencar os acessórios, peças especiais presente no sistema de bombeamento, juntamente com seus respectivos valores tabelados Hazen-Williams (TABELA 1).

Tabela 1- Peças especiais e seus respectivo diâmetros

Comprimentos equivalentes em número de diâmetros de canalização retilínea	
Peça Especial	Diâmetro (m)
Ampliação brusca	30
Ampliação gradual	12
Cotovelo 90°	45
Cotovelo 45°	20
Curva 90° raio curto	30
Curva 45° raio curto	15
Curva 90° raio longo	20
Curva 45° raio longo	10
Entrada normal	17
Entrada de borda	35
Junta de dilatação	30
Redução brusca	20
Redução gradual	6
Registro de ângulo aberto	170
Registro de gaveta aberto	8
Registro de globo aberto	350
Saída de canalização	35
"T" passagem direta	20
"T" saída de lado	50
"T" saída bilateral	65
Válvula de pé e crivo normal	250
Válvula de pé e crivo leve	100
Válvula de retenção	100

Fonte: AZEVEDO (2005)

A determinação do comprimento equivalente da tubulação de sucção e recalque se dá pela (EQUAÇÃO 10 e 11).

$$L_v = N_p * D_p * D \quad \dots(10)$$

Onde:

$L_v$ : Comprimento virtual equivalente em número de diâmetro da tubulação (m);

$N_p$ : Número de peças especiais encontrado na tubulação;

$D_p$ : Valor do Diâmetro da peça especial (m);

$D$ : Diâmetro da tubulação (m).

$$\sum L_v \quad \dots(11)$$

Onde:

$\sum L_v$  Somatório de todas os comprimentos equivalente em número de diâmetro da tubulação.

#### 4.2.3 Perda de Carga Distribuída em Tubulação Única

Para as perdas de carga distribuída, se calculou a perda de carga das tubulações de sucção e recalque utilizando método Hazen-Williams, conforme a (EQUAÇÃO 12) e acrescentaremos as perdas de carga localizadas das peças especiais na equação. O coeficiente de atrito adotamos o do ferro fundido novo (135)

$$h_f = 10,643 \frac{L}{D^{4,87}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,852} \quad \dots(12)$$

#### 4.2.4 Perda de Carga distribuída e Localizada em Tubulação Única

Foi determinada a perda de carga distribuída ao longo da canalização de recalque e somada com a perda de carga localizada através da (EQUAÇÃO 13).

$$h_f = 10,643 \frac{L+L_v}{D^{4,87}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,852} \quad \dots(13)$$

Onde:

$H_f$ : Perda de carga (m);

$C$ : Coeficiente de atrito;

D: Diâmetro da tubulação (m)

L: Comprimento da tubulação

Lv: Comprimento equivalente/virtual das peças especiais em número de diâmetros;

Q: Vazão (m<sup>3</sup>/s).

#### 4.2.5 Altura Manométrica do Sistema de Bombeamento

A altura manométrica de uma bomba é o valor que representa o ganho de energia de pressão do líquido entre a entrada e a saída da bomba. É a energia que a bomba deve transmitir para o fluido para o transporte de uma determinada vazão até o ponto final designado pelo sistema. Para determinação da altura manométrica dos 3 sistemas de bombeamento da agropecuária São Francisco, foi utilizado a (EQUAÇÃO 14).

$$H_m = H_{fs} + H_{fr} + H_{gs} + H_{gr} \quad \dots(14)$$

Onde:

H<sub>m</sub>: Altura manométrica (m.c.a);

H<sub>fs</sub>: Perda de carga na sucção;

H<sub>fr</sub>: Perda de carga no recalque;

H<sub>gs</sub>: Altura geométrica de sucção (m);

H<sub>gr</sub>: Altura geométrica do recalque (m).

#### 4.2.6 Dimensionamento de Polias e Correias

Para verificação e seleção de polias e correias foi utilizado um software, (Correias Universais), para verificação de diâmetros de polias, rotação, tipo de correia e medidas de instalação.

#### 4.2.7 Potência e Rendimento do Sistema de bombeamento

#### 4.2.7.1 Potência Hidráulica

Trabalho realizado sobre o líquido ao passar pela bomba em um segundo. Foram calculados através da (EQUAÇÃO 15).

$$Ph = \gamma QHm \quad \dots(15)$$

Onde:

Ph: Potência Hidráulica, (W);

Y: Peso Específico do Fluido, (N/.m<sup>3</sup>);

Q: Vazão, (m<sup>3</sup>/s);

Hm: Altura manométrica, (m).

#### 4.2.7.2 Potência Motor-Bomba

Para determinarmos as potências necessárias de motor elétrico para os dois sistemas de bombeamento utilizamos a (EQUAÇÃO 16). Para rendimento ( $\eta$ ) de motor elétrico foi adotado para todos os levantamentos e redimensionamentos o valor de 98%.

$$P = \frac{\gamma QHm}{75NbNmNt} \quad \dots(16)$$

Onde:

P: Potência, (cv);

$\gamma$ : Peso Específico do Fluido, (N/m<sup>3</sup>);

Q: Vazão, (m<sup>3</sup>/s);

Hm: Altura manométrica, (m);

Nb: Rendimento da bomba;

Nm: Rendimento do Motor;

Nt: Rendimento de transmissão;

O acoplamento por polias e correias em V foi atribuído o valor de 97% conforme valores apresentados por Andrade (2021) na Tabela 2.

Tabela 2- Rendimento de transmissões

Rendimento de transmissões	
Tipo	$\eta$
Correias planas	0,96 a 0,98
Correias em V	0,97 a 0,98
Correias silenciosas	0,97 a 0,99

Fonte: Andrade (2021)

#### 4.2.7.3 Determinação da Potência do Motor Elétrico Acionador

De acordo com os parâmetros calculados, chega-se à determinação do conjunto elétrico que irá acionar a bomba hidráulica, dessa forma, após obtida a potência requerida, terá acréscimo de 10 % para motores acima de 20 cv.

$$P = \frac{\gamma Q H_m}{75 N_b N_m N_t} + 10\% \quad \dots(17)$$

Onde:

P: Potência, (cv);

$\gamma$ : Peso Específico do Fluido, (N/m<sup>-3</sup>);

Q: Vazão, (m<sup>3</sup>/s);

H<sub>m</sub>: Altura manométrica, (m);

N<sub>b</sub>: Rendimento da bomba;

N<sub>m</sub>: Rendimento do Motor;

N<sub>t</sub>: Rendimento de transmissão;

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização das Estações de Bombeamento

Caracterização dos sistemas irá constar dados técnicos dos componentes das duas estações de bombeamento, o diâmetro das tubulações e polias, a potência dos motores elétricos, o modelo das bombas centrífugas, tipo de acoplamento, tubulações, as peças especiais instaladas, a topografia, a área irrigada e condições de trabalho. O intuito é avaliar e verificar a eficiência e rendimento dos sistemas utilizados e propor redimensionamentos.

#### 5.1.1 Avaliação do Primeiro Sistema de Bombeamento

Diante da análise da eficiência da primeira estação de bombeamento da agropecuária São Francisco, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Dados referente a 1<sup>o</sup> estação de bombeamento, situação encontrada

Dados da estação de bombeamento		
Descrição	Valores	Unidades
Área irrigada	175,0	ha
Vazão desejada	2,3	l/s/ha
Vazão total	402,5	l/s
vazão total	0,40	m <sup>3</sup> /s
Diâmetro comercial tubulação recalque	480	mm
Velocidade do escoamento do recalque	2,2	m/s
Comprimento da tubulação do recalque:	214	m
Altura Geométrica do recalque:	1,54	m
Altura manométrica	4,83	m

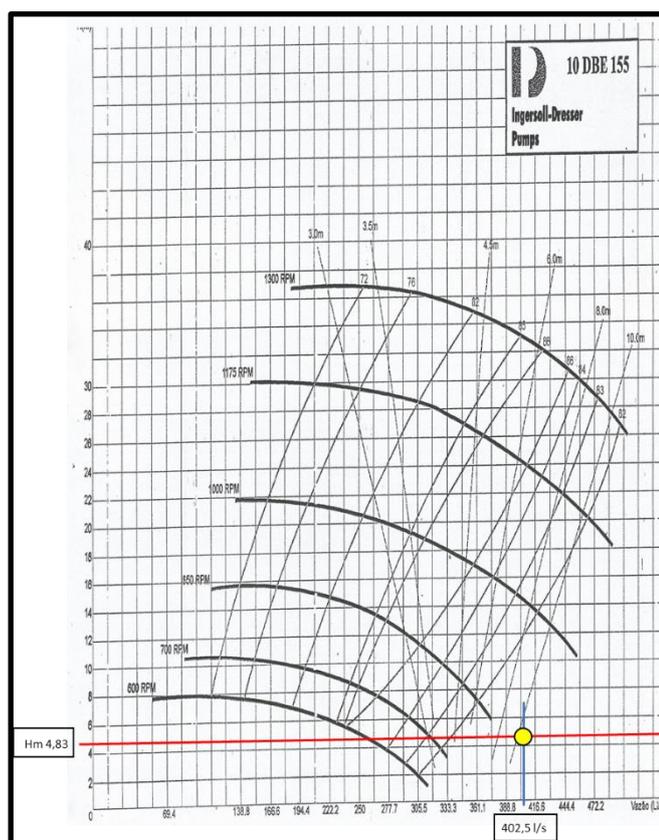
Fonte: O autor

Pode-se afirmar que o sistema de irrigação é ineficiente, portanto, não correspondeu com as demandas exigidas pela área irrigada. A velocidade de escoamento da água na tubulação de recalque, estava acima do recomendado que é de 2,0 m/s de acordo Irga, (2009) e Kopp, (2015), dessa maneira, houve aumento da

altura manométrica e conseqüentemente maiores perdas de energia, aumentando o consumo por (cv) e, ocasionando custos operacionais demasiados.

Outro ponto a salientar, que a bomba 10 DBE 155, estava trabalhando fora da curva de rendimento (GRÁFICO 2), assim, não sendo viável manter esse sistema de bombeamento.

Gráfico 2 - Curva da bomba 10 DBE



Fonte: Catálogo de seleção de bombas Dresser pump

Para chegarmos nos valores de rendimento total do conjunto (motor, bomba e acoplamento) (TABELA 4), foi adotado como rendimento ( $\eta$ ) padrão de motor elétrico o valor de 98%, para todas as análises dos sistemas, dimensionamentos e redimensionamentos, já para o sistema de acoplamento realizados por polias e correias foi atribuído o valor de 97% de rendimento para todos os sistemas.

Tabela 4 - Rendimento do Sistema de Bombeamento com situação encontrada

Rendimento do Sistema de Bombeamento 1	
Rendimento	Valores ( $\eta$ )
Rendimento do motor	98,0%
Rendimento da bomba	37,0%
Rendimento da transmissão	97,0%
Rendimento total do conjunto elevatório	35,17%

Fonte: O autor

Conforme os valores encontrados acima na (TABELA 4) é possível afirmar que a escolha e posicionamento de uma bomba centrífuga inadequada, acarreta grandes demandas por potência, proporcionando maior consumo de energia elétrica e automaticamente diminuindo a eficiência e rendimento do sistema. O valor de rendimento encontrado de 37% da bomba 10 DBE foi estimado, já que as condições de operação não coincidiam com a curva da bomba (GRÁFICO 2). Lembrando que o rendimento do conjunto motor, bomba e acoplamento são fundamentais para determinação da potência. Nas condições atuais, o qual não corresponderam a vazão requerida de 402,5 l/s aproximadamente, necessário para fornecimento de água para área de 175 ha. Havendo demanda de 73,62 cv (TABELA 5), sem acréscimo de 10% para margem de segurança.

Tabela 5 - Potência do 1º sistema de bombeamento não redimensionado

Potência e rendimento do conjunto elevatório		
Descrição	Resultado	Unidade
Potência hidráulica (PH)	19053,35	watt (w)
Potência hidráulica (PH)	25,89	Cv
Potência motor-bomba	73,628	Cv
Potência motor-bomba	54190,01	watt (w)
Potência motor-Bomba + 10% de margem de segurança	80,991	Cv

Fonte: O autor

A Tabela 6 a seguir apresenta os dados de energia consumida durante o período de uma safra para o sistema de bombeamento nas condições encontradas no produtor. Para cálculo de custos de consumo energético foi utilizado como base para todas as análises o valor de R\$/kWh de R\$ 0,315 (CPFL,2021).

Tabela 6- Valores para cálculo de consumo energético 1º EB não redimensionada

Total energia consumida tarifa verde)		
Descrição	Valores	Unidade
Jornada Diária Irrigação	18,0	Horas (h)
Período de Irrigação	100	Dias
Período de Irrigação (horas)	1.800	Horas (h)
Potência Útil Motor	55,20	cv
		cv
Consumo kwh do sistema	101387,76	kWh
Custo R\$/kWh	0,315	R\$
Total consumido R\$/kWh	31.430,2	R\$

Fonte: O autor

#### 5.1.1.1 Redimensionamento do Primeiro Sistema de Bombeamento

De acordo com a análise do primeiro sistema de bombeamento, foi realizado um redimensionamento para otimizar o mesmo, houve a substituição da bomba centrífuga, no qual foi selecionada a 14 DBE 195, por apresentar rendimento de aproximadamente 81% (GRÁFICO 3) em condições iguais a situação encontrada, como vazão e altura manométrica, exceto rotação, que foi redimensionada para operar a 530 RPM. (FIGURA 18), através do auxílio do software “Correias Universal”. Na (TABELA 7) são apresentados os dados para o sistema de bombeamento redimensionado.

Tabela 7 - Dados da 1ª estação de bombeamento redimensionada

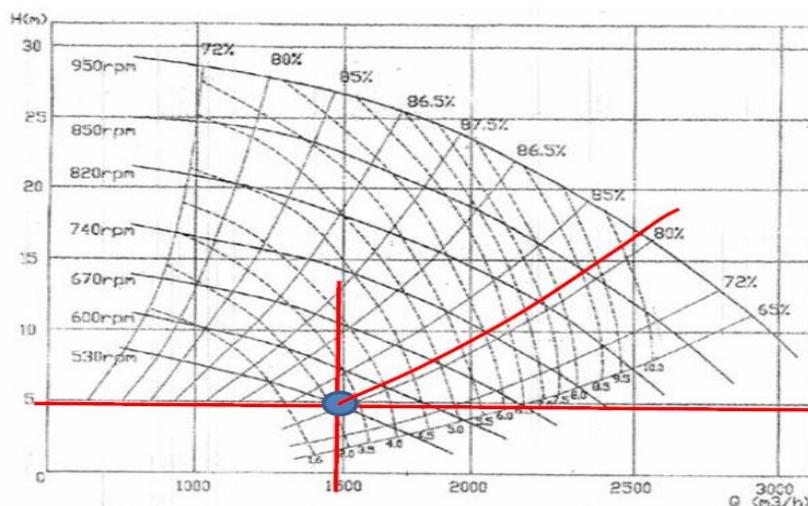
Dados da estação de bombeamento redimensionada		
Descrição	Valores	Unidades
Área irrigada	175,0	ha
Vazão desejada	2,3	l/s/ha
Vazão total	402,5	l/s
Vazão total	0,40	m <sup>3</sup> /s
Diâmetro comercial tubulação recalque	480	mm
Velocidade do escoamento do recalque	2,2	m/s
Comprimento da tubulação do recalque	214	m
Altura Geométrica do recalque:	1,54	m
Altura manométrica	4,83	m

Fonte: O Autor

Para obtenção do rendimento, foi através da curva característica da bomba centrífuga 14 DBE, onde, foi inserido os valores da altura manométrica no eixo (x), e valores de vazões no eixo (y), ao coincidir teremos a rotação necessária para trabalho e rendimento. Não foi calculado NPSH, por a bomba estar apoiada em balsa, ficando afogada, assim evitando cavitação.

Desta forma como o rendimento da bomba é oriundo da inserção de valores de altura manométrica (Hm) e vazão (Q), no qual apresentou rendimento muito satisfatório ao comparar com os valores estabelecidos por (KOPP, 2015), que cita rendimento das bombas centrífugas de pequenas e médio porte para serem consideradas aceitáveis, devem estar entre a faixa de 60% e 75% e por (IRGA, 2009), onde estabelece rendimento mínimo de 80% da bomba para ter uma economia energética de até 40%.

Gráfico 3 - Curva da bomba Worthington 14 DBE 195



Fonte: Adaptada do catálogo de seleção de bombas Dresser pump

Para verificação de rotação, correias, condições de trabalho e instalações foi utilizado o software “Correias Universal”, no qual fornece uma série de dados para o correto dimensionamento de polias e correias. Alertando para diâmetros mínimos de polias, número e comprimento de correias e dimensões para instalação. A Figura 17 apresenta as relações de polias necessárias para que a bomba funcione em sua faixa de rotação que proporciona melhor eficiência.

Figura 17- Dimensionamento correias e polias do 1º levante

**Universal** CORREIAS LTDA.

**Correias V**

Catálogo Eletrônico 2.02

**Correia V**

Perfil	5V
Largura do Perfil	15,9 mm
Altura do Perfil	13,5 mm
Tamanho	5V 1180
Tamanho Mínimo Fabricado	5V 500
Tamanho Máximo Fabricado	5V 3550
Comprimento Externo	2997 mm
Velocidade Linear	1223 m/min
Força de Transmissão	149,2 kgf
Capacidade Efetiva por Correia	21,24 HP
Potência de Projeto	56 HP
Fator de Serviço	1,4
Correias Necessárias	3 correias

Correia V selecionada: OK

**Polia Acionadora**

Diâmetro	220 mm
Diâmetro Mínimo	180 mm
Rotação	1770 rpm
Potência de Transmissão	40 HP
Torque	16,41 kgf.m
Relação de Velocidades	1 : 3,34

Polia Acionadora selecionada: OK  
Porém, é recomendável um diâmetro maior, se possível.

**Polia Movida**

Diâmetro	734,717 mm
Diâmetro Mínimo	180 mm
Rotação	530 rpm
Potência Máxima	40 HP
Torque Máximo	54,8 kgf.m
Distância entre Centros	701,56 mm

Polia Movida selecionada: OK

Fonte: Universal correias

A altura manométrica do sistema de bombeamento não foi alterada em função que as características de vazão, comprimento e diâmetro de tubulação não foram substituídas ou modificadas.

Outro ponto a salientar que na estação de bombeamento não há sistema de canalização para sucção, uma alternativa adotada pelos os produtores na fronteira oeste do Rio Grande do Sul são as estruturas flutuantes, denominadas balsas.

As Balsas têm como finalidade eliminar a altura geométrica de sucção, acompanhando o nível da água e resultam em melhores condições de bombeamento.

Conforme os resultados apresentados (TABELA 8), para chegarmos nos seguintes de rendimento total, foi adotado para ( $\eta$ ) motores elétricos valores padrões para todos os dimensionamentos e redimensionamentos, considerando motores de alto rendimento e atribuindo o valor de 98%. O sistema de acoplamento foi feito por polias e correias e adotado rendimento de 97%.

Tabela 8 - Rendimento do sistema de bombeamento redimensionado

Rendimento do	
Rendimento	( $\eta$ )
Rendimento do motor	98%
Rendimento da bomba	81%
Rendimento da transmissão	97%
Rendimento total do conjunto elevatório	77%

Fonte: O autor

Na primeira estação de bombeamento, com o redimensionamento foi possível obter uma melhora na eficiência do conjunto motor, bomba e polia e com isso redução dos custos, uma vez que, foi possível substituir o motor elétrico por um de menor potência. A estação passou a demandar 33,7 cv e não mais de 73,62 cv estimado, necessitando a realização da substituição do motor elétrico instalado de 75 cv da marca Weg para um de 40 cv marca Weg, ocorreu a maior eficiência do sistema de bombeamento conforme os resultados apresentados na Tabela 9, e correspondendo a vazão necessária de 402,5 l/s. e acarretou redução de consumo de energia elétrica.

Tabela 9 - Potências da 1º EB redimensionada

Potência e rendimento do conjunto elevatório		
Descrição	Resultado	Unidade
Potência hidráulica (PH)	19053,35	watt (w)
Potência hidráulica (PH)	25,89	cv
Potência motor-bomba	33,632	cv
Potência motor-bomba	24753,46	watt (w)
Potência motor-Bomba + 10% de margem de segurança	36,996	cv
Motor trifásico comercial	40,000	cv

Fonte: O autor

A Tabela 10 a seguir apresenta os dados de energia consumida durante o período de uma safra para o sistema de bombeamento após o redimensionamento proposto.

Tabela 10 - Valores para cálculo de consumo energético 1º EB redimensionada

Total energia consumida tarifa verde)		
Descrição	Valores	Unidades
Jornada diária Irrigação	18,0	Horas (h)
Período de Irrigação	100	Dias
Período de Irrigação	1.800	Horas (h)
Potência útil motor	29,44	cv
Potência Absorvida da rede	30,041	cv
Consumo quilowatt-hora	54073,47	kWh
Custo R\$/kWh	0,315	R\$
Total consumido R\$/kWh	17.033,1	R\$

Fonte: O autor

Foi elaborado um comparativo em relação ao consumo energético no período de uma safra e período de duas safras (TABELA 11), entre a situação encontrada a campo do sistema de bombeamento, com a estação redimensionada, frisando que

foram considerados regimes de trabalhos diários de 18 horas por um período de 100 dias consecutivos.

Tabela 11 - Comparativo de consumo energético entre a EB encontrada e redimensionada

Periodo	Consumo de energia (kWh)		Economia (%)
	Configuração antiga motor 75 cv	Configuração nova motor 40 cv	
1 safra	101387,76	54073,47	46,7
2 safra	202775,52	108146,94	

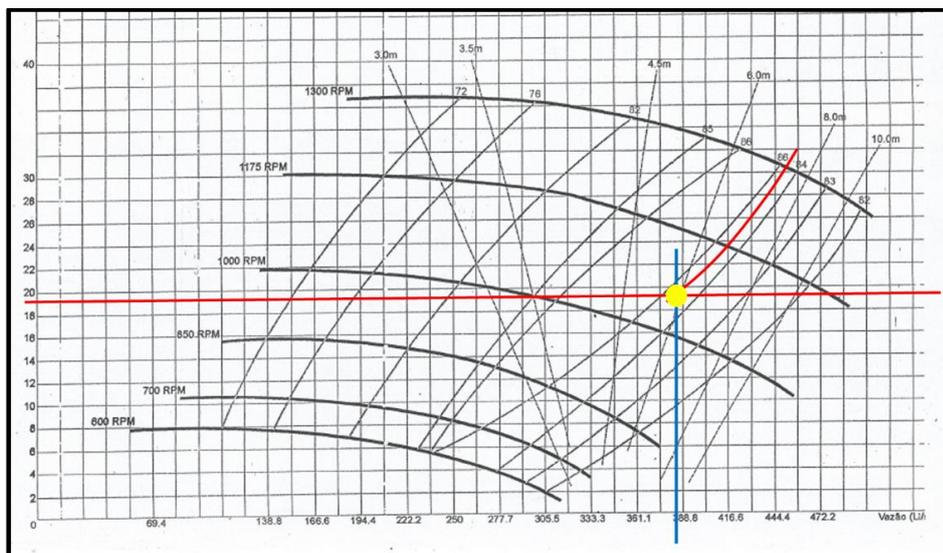
Fonte: O autor

É correto afirmar que o sistema redimensionado é mais eficiente ao comparar com a situação instalada do sistema de bombeamento 1, havendo menor demanda por potência e conseqüentemente menor consumo de quilowatt-hora (Kwh), tendo redução de 46,7%.

### 5.1.2 Avaliação do Segundo Sistema de Bombeamento

A segunda estação de bombeamento, tem como acoplamento a bomba 10 DBE 155, e estava operando dentro de sua curva e apresentou rendimento ( $\eta$ ) de 85,1% (GRÁFICO 4), porém não estava fornecendo o volume necessário de água a ser recalcado para área estipulada de 175 ha que é de 2,2 l/s/ha, totalizando 385 l/s.

Gráfico 4 - Curva da bomba 10 DBE 155



Fonte: Adaptada do catálogo de seleção de bombas Dresser pump

A vazão analisada do sistema instalado foi de apenas 367,5 l/s (TABELA 12), velocidade de escoamento de 2,0 m/s e altura manométrica aproximada de 19,1 m.c.a.

Tabela 12 - Dados do 2º sistema de bombeamento

Dados da Estação de Bombeamento		
Descrição	valores	Unidade
Área irrigada	175,00	ha
Vazão	2,10	l/s/ha
Vazão total	367,50	l/s
Vazão total	0,37	m <sup>3</sup> /s
Diâmetro comercial recalque	480,00	mm
Velocidade do recalque	2,0	m/s
Comprimento tubulação recalque	344,00	m
Comprimento tubulação sucção	0,00	m
Altura geométrica tubulação recalque	14,03	m
Altura geométrica tubulação sucção	0	m
Altura manométrica	19,1	m.c.a

Fonte: O autor

A estação de irrigação apresentou eficiência do conjunto, motor, bomba e acoplamento de 81,8 %, conforme (TABELA 13), sendo o resultado do produto dos rendimentos da mesma.

Tabela 13 - Eficiência do sistema de bombeamento

Eficiência dos componentes do sistema de bombeamento	
Eficiência	( $\eta$ )
Eficiência do motor	98,0%
Eficiência da bomba	85,1%
Eficiência da transmissão	97,0%
Eficiência total do conjunto elevatório	81,5%

Fonte: O autor

O sistema de bombeamento demandava potência de motor acionador de 114,5 cv (TABELA 14) sem os 10% a mais de fator de segurança. Porém, continha no conjunto instalado um motor de 100 cv da marca Siemens, possivelmente trabalhando com amperagem no limite e não conseguindo corresponder com o trabalho necessário no sistema de bombeamento.

Tabela 14 - Potências da 2<sup>o</sup> estação de bombeamento não redimensionado

Descrição	Resultado	Unidade
Potência hidráulica (PH)	68998,27	watt (w)
Potência hidráulica (PH)	93,75	cv
Potência motor-bomba	114,580	cv
Potência motor-bomba	84330,52	watt (w)
Potência motor-Bomba + 10% de margem segurança	126,037	cv
Motor trifásico comercial	100,000	cv

Fonte: O autor

Para determinação do rendimento da bomba 10 DBE 155 foi necessário entrar com os valores de rotação do acoplamento e resultados da altura manométrica no eixo x do gráfico. A rotação do sistema foi calculada e obtivemos o valor de 1050 RPM, (FIGURA 19) onde estava acoplada por polias e correias, com medidas de diâmetro da polia motora de 220 mm e movida de 368 mm.

Figura 18 - Dimensionamento de correias e polias do segundo levante



Correia V	
Perfil	5V
Largura do Perfil	15,9 mm
Altura do Perfil	13,5 mm
Tamanho	5V 710
Tamanho Mínimo Fabricado	5V 500
Tamanho Máximo Fabricado	5V 3550
Comprimento Externo	1803 mm
Velocidade Linear	1223 m/min
Força de Transmissão	372,9 kgf
Capacidade Efetiva por Correia	20,91 HP
Potência de Projeto	140 HP
Fator de Serviço	1,4
Correias Necessárias	7 correias
Correia V selecionada:	OK

Polia Acionadora	
Diâmetro	220 mm
Diâmetro Mínimo	180 mm
Rotação	1770 rpm
Potência de Transmissão	100 HP
Torque	41,02 kgf.m
Relação de Velocidades	1 : 1,67
Polia Acionadora selecionada:	OK
Porém, é recomendável um diâmetro maior, se possível.	

Polia Movida	
Diâmetro	368,053 mm
Diâmetro Mínimo	180 mm
Rotação	1058 rpm
Potência Máxima	100 HP
Torque Máximo	68,63 kgf.m
Distância entre Centros	433,52 mm
Polia Movida selecionada:	OK

Fonte: Correias universal

Para quantificar o consumo energético do sistema de bombeamento (TABELA 15), foi atribuído jornada de trabalho de 18 horas diária e período de irrigação médio de 100 dias

Tabela 15 - Valores para cálculo de consumo energético do 1º cenário da 2ª estação de bombeamento

Total energia consumida		
Descrição	Valores	Unidades
Jornada diária Irrigação	18,0	Horas (h)
Período de irrigação	100	Dias
Período de irrigação (horas)	1.800	Horas (h)
Potência útil motor	73,60	Cv
Potência absorvida da rede	75,102	Cv
Consumo kwh do sistema	135183,67	kWh

Fonte: O autor

### 5.1.2.1 Redimensionamento do segundo Sistema de Bombeamento

Para a segunda estação de bombeamento o primeiro cenário foi realizado um redimensionamento, visando suprir a vazão de 385 l/s necessária para área de 175 ha, foi realizada a substituição da tubulação de recalque de 480 mm de diâmetro para 640 mm, possibilitando a diminuição da velocidade de escoamento do fluido na canalização de recalque, consequentemente reduzindo a altura manométrica e consumo energético. Nesse cenário foi necessária uma rotação de 1000 RPM.

Conforme a leitura da (TABELA 16), a velocidade de escoamento foi de 1,25 m/s na tubulação de recalque, enquanto a velocidade do projeto antigo era de 2,24 excedendo a faixa recomendada conforme (KOPP, 2015), acarretando uma redução de 44% no escoamento, sendo fundamental para redução de consumo energético, onde a altura manométrica foi de 15,7 m.c.a, sendo um fator importante para redução no consumo de potência pelo sistema.

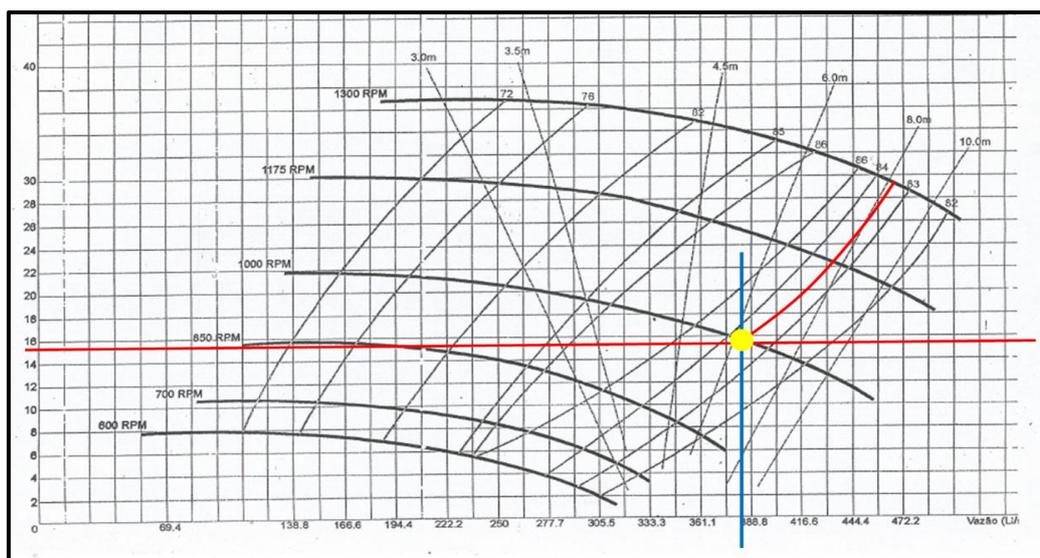
Tabela 16 - Dados do redimensionamento do 1º cenário do 2º levante

Dados da Estação de Bombeamento		
Descrição	Valores	Unidade
Área irrigada	175,00	ha
Vazão	2,2	l/s/ha
Vazão total	385,0	l/s
Vazão total	0,38	m <sup>3</sup> /s
Diâmetro comercial recalque	640,00	mm
Velocidade do recalque	1,25	m/s
Comprimento tubulação Recalque	344,00	m
Comprimento tubulação sucção	0,00	m
Altura geométrica tubulação recalque	14,03	m
Altura geométrica tubulação sucção	0	m
Altura manométrica	15,7	m.c.a

Fonte: O autor

Para determinação do rendimento do sistema foi necessário obter a eficiência bomba 10 DBE 155, inserindo os valores de altura manométrica 15,7 no eixo x e rotação de 1000 RPM (GRÁFICO 5). Obtendo rendimento de 83,5% e vazão de 385 l/s.

Gráfico 5 - Curva da Bomba 10 DBE- EB-2-a



Fonte: Adaptada do catálogo de seleção de bombas Dresser pump

O rendimento do total do sistema foi de 79,3 % apresentado na Tabela 17, onde tem influência direta na demanda de potência.

Tabela 17 - Rendimento de bombeamento (EB-a)

Rendimento dos componentes do sistema de bombeamento	
Eficiência	% ( $\eta$ )
Rendimento do motor	98,0%
Rendimento da bomba	83,5%
Rendimento da transmissão	97,0%
Rendimento total do conjunto elevatório	79,1%

Fonte: O autor

A potência necessária pelo sistema é de 102,03 cv (TABELA 18), porém com adição de 10% como fator de segurança para motores elétricos maiores que 20 cv, a

estação de bombeamento passa a necessitar de 112,25 cv, porém o modelo comercial disponível no mercado é de 125 cv apenas.

Tabela 18 - Valores de potência da EB-2-a

Potência do conjunto elevatório		
Descrição	Resultado	Unidade
Potência hidráulica (PH)	59438,74	watt (w)
Potência hidráulica (PH)	80,76	cv
Potência motor-bomba	102,023	cv
Potência motor-bomba	75088,65	watt (w)
Potência motor-Bomba + 10% de margem de segurança	112,225	cv
Motor trifásico comercial	125,000	cv

Fonte: O autor

Para análise de consumo energético foi adotado para os dimensionamentos do regime de trabalho de 18 horas pelo período de 100 dias (TABELA 19). Para custo do R\$/kWh foi adotado valor médio do mWh de R\$ 315,00 base nos dados (CPFL, 2021).

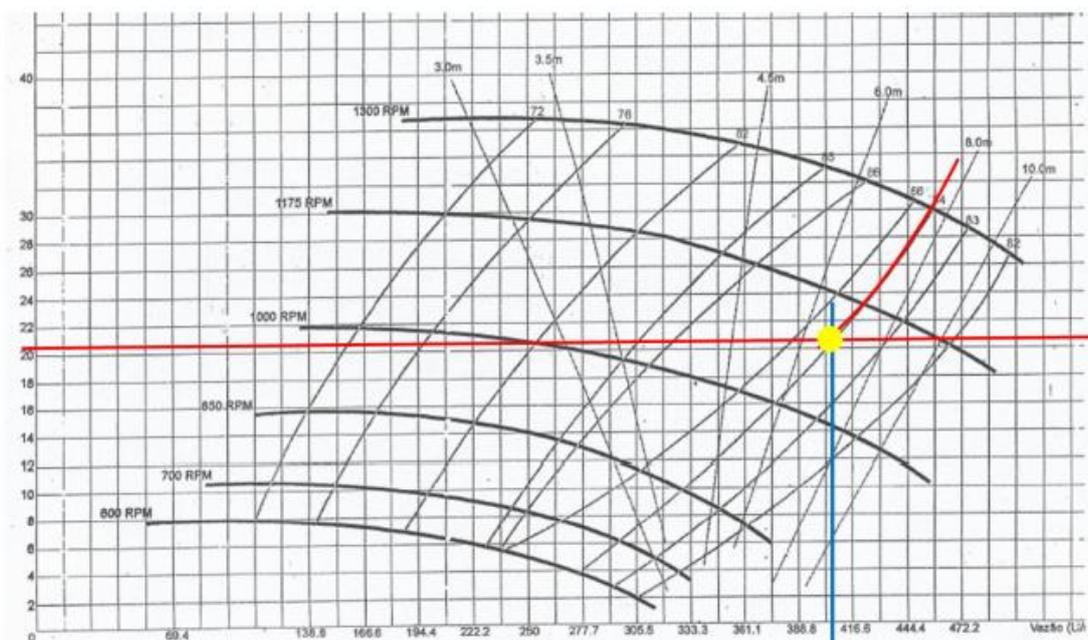
Tabela 19 - Valores para cálculo de consumo energético (2º EB-a)

Total energia consumida tarifa verde		
Descrição	Valores	Unidade
Jornada diária Irrigação	18,0	Horas (h)
Período de Irrigação	100	Dias
Período de Irrigação (horas)	1.800	Horas (h)
Potência útil motor	73,60	Cv
Potência Absorvida da rede	75,102	Cv
Consumo kWh do sistema	168979,59	kWh
Custo médio R\$/kWh	0,315	R\$
Total consumido R\$/kWh	53.228,57	R\$

Fonte: O autor

O segundo redimensionamento foi desenvolvido utilizando as tubulações de 480 mm de diâmetro, foi adotado a modificação da rotação da bomba centrífuga que ficou aproximadamente de 1058 RPM, ficando com rendimento em torno de 84,1 % (GRÁFICO 6).

Gráfico 6 - Curva da bomba 10 DBE após de redimensionamento



Fonte: Adaptada do catálogo de seleção de bombas Dresser pump

A vazão adotada foi de 385 l/s (TABELA 20), a velocidade de recalque ficou em de 2,2 l/s passando do recomendado que é de 2,0 m/s (KOPP, 2015), consequentemente aumentando a altura manométrica que passou a ser de 20,48 mca.

Tabela 20 - Dados do redimensionamento da 2ª estação de bombeamento, 2º cenário

Dados da Estação de Bombeamento		
Descrição	Valores	Unidades
Área irrigada	175,00	ha
Vazão	2,2	l/s/ha
Vazão total	402,50	l/s
Vazão total	0,40	m³/s
Diâmetro comercial do recalque	480,00	mm
Velocidade do recalque	2,20	m/s
Comprimento tubulação de recalque	344,00	m
Comprimento tubulação da sucção	0,00	m
Altura geométrica tubulação de recalque	14,03	m
Altura geométrica tubulação sucção	0	m
Altura manométrica	20,48	m.c.a

Fonte: O autor

O rendimento total do sistema de bombeamento foi definido de acordo com os dados do conjunto em 79,95 % conforme apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Rendimento do segundo sistema de bombeamento, segundo cenário

Rendimento dos componentes do sistema de bombeamento	
Rendimento	$\eta$
Rendimento do motor	98,0%
Rendimento da bomba	84,1%
Rendimento da transmissão	97,0%
Rendimento total do conjunto elevatório	79,95%

Fonte: O autor

Após a determinação do rendimento total dos sistemas de bombeamento foi possível determinar a potência necessária motor-bomba, que foi de 131,51 cv, com o

acréscimo de 10% para segurança adotado para motores elétricos maiores que 20 cv, irá necessitar de 144,6 cv, porém no mercado encontra-se somente de 150 cv (TABELA 22).

Tabela 22 - Potências da 2º EB redimensionada 2º cenário

Potência conjunto elevatório		
Descrição	Resultado	Unidade
Potência hidráulica (PH)	77354,07	watt (w)
Potência hidráulica (PH)	105,10	cv
Potência motor-bomba	131,510	cv
Potência motor-bomba	96791,44	watt (w)
Potência motor-Bomba + 10% de margem de segurança	144,661	cv
Motor trifásico comercial	150,000	cv

Fonte: O autor

Após determinação dos rendimentos do sistema e potência do conjunto motor-bomba foi possível calcular a demanda energética do sistema redimensionado (TABELA 23).

Tabela 23 - Valores para cálculo de consumo energético, 2º EB-b

Total energia consumida tarifa verde)		
Descrição	Valores	Unidade
Jornada diária Irrigação	18,0	Horas (h)
Período de Irrigação	100	Dias
Período de Irrigação (horas)	1.800	Horas (h)
Potência útil motor	110,40	cv
Potência Absorvida da rede	112,653	cv
Consumo quilowatt hora	202775,51	kWh
Custo R\$/kWh	0,315	R\$
Total consumido R\$/kWh	63.874,28	R\$

Fonte: O autor

Em virtude dos dados apresentados do segundo sistema de bombeamento da Agropecuária São Francisco, realizamos um comparativo de consumo energético em quilowatt-hora (kWh) (TABELA 24), entre a situação encontrada no campo e os dois redimensionamentos realizados e apresentados. Um ponto a destacar é que cenário A, ou seja, o primeiro redimensionamento pode ser considerado mais propício para a situação, já que a instalação encontrada dos levantes não consegue recalcar água suficiente para a demanda de 385 l/s/ha e está trabalhando com o motor elétrico no limite, podendo acarretar danificações ao mesmo. E a proposta (b) do redimensionamento ocorre consumo superior a proposta (a) de 20% a mais em kWh.

Tabela 24 - Comparativo de consumo de energia em kWh para uma safra

Consumo de energia (kWh)		
Configuração antiga motor 100 cv	Configuração nova motor 125 cv	Configuração nova motor 150 cv
135183,7	168979,6	202775,5

Fonte: Autor

O estudo realizado por Kopp, (2015) analisou os índices de desempenho das estações de bombeamento em lavouras de arroz irrigado, e conclui que 55% dos sistemas apresentaram rendimento global abaixo de 60%, em uma amostra de 160 estações de bombeamento analisadas na região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul.

De acordo com Macintyre, (1982) afirmou que o rendimento das bombas centrífugas pequenas e médias para serem consideradas aceitáveis, deve ser entre 60% e 75%. Para favorecer a diminuição do desperdício de energia, menor consumo de (Cv) e custo operacional. Assim, contribuindo para melhor eficiência dos sistemas de bombeamentos.

Segundo Kopp (2015), afirma que se pode reduzir em 24% o consumo de energia nas estações de bombeamento, localizadas na fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. Através do redimensionamento das perdas de carga e substituição de equipamentos com no mínimo 80% rendimento, assim, promovendo uma economia de até 44% de energia e podendo ocorrer redução de 56% de energia consumida. Ainda Kopp, (2015) relata que o rendimento do sistema motor e bomba limita-se ao

rendimento individual de cada componente do sistema de bombeamento, em função da sua capacidade e características físicas.

Conforme os resultados apresentados podemos evidenciar que houve diferença entre os sistemas de bombeamento analisados no cenário encontrado a campo quando comparado com as mesmas estações redimensionadas corretamente. Os fatores destacados foram o rendimento das bombas centrífugas, em que o primeiro sistema de bombeamento estava operando com uma bomba centrífuga inadequada, acarretando rendimento abaixo dos 60%. Já o segundo sistema de bombeamento estava funcionando fora das expectativas de trabalho, quanto a vazão demandada, porém com rendimento de bomba centrífuga acima de 80%, mas em questão de funcionalidade é considerado inadequado.

Vale salientar que o redimensionamento apresentado tem o intuito de otimizar o sistema e fazer com que cumpram com demandas hídricas, ou seja, vazões desejadas para serem considerados adequados para os regimes de trabalho perante as safras de arroz. Por todos esses aspectos pode-se afirmar que ambas as estações de bombeamento analisadas e redimensionadas ficaram com rendimento total (motor, bomba e acoplamento), acima de 79%, e focando no rendimento ( $\eta$ ) isolado da bomba centrífuga, foram superiores a 80% ou seja, obedecendo rendimentos mínimos considerados eficientes nas estações de bombeamento (KOPP ,2015; MACINTYRE, 1982).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das observações e resultados encontrados, demonstram que há a necessidade de uma reavaliação perante as questões energéticas e hidráulicas dos sistemas de bombeamento. Grande parte das estações de bombeamento não cumprem com as demandas da lavoura arrozeira, seja por mudanças de corte da lavoura ou aumento de áreas.

Em virtude dos fatos apresentados dos sistemas de bombeamento, o trabalho pode mostrar a situação encontrada no campo e apresentou medidas cabíveis, podendo apresentar ao produtor soluções através do redimensionamento, em que, para a primeira estação de bombeamento foi possível chegar a uma economia de 46,7% ou seja de R\$ 14.397,1 ao ser convertido o valor (R\$) em sacas de 50 kg de arroz, com preço fixado em R\$ 70,00 no cenário atual de setembro de 2021 a economia no sistema de bombeamento é equivalente a 205,6 sacas de arroz em uma safra.

No segundo sistema avaliado foi possível adequar seu funcionamento de modo a atender a vazão necessária, vale salientar que a estação não estava correspondendo com a vazão hídrica necessária e para isso o melhor cenário encontrado nas condições atuais o produtor foi a utilização da tubulação de 640 mm de diâmetro ao invés da 480 mm, a substituição proporcionou melhores parâmetros hidráulicos aliados menor consumo de energia, através da redução de velocidade de escoamento no recalque, que passou de 2,0 m/s para 1,5 m/s, havendo redução de 25% e acarretando menores perdas de carga e conseqüentemente menor altura manométrica (Hm) no sistema de irrigação, que resultou no total de 15,7 m.c.a, ocorrendo diminuição de 17,8 % de Hm em comparação a situação encontrada a campo, correspondendo a demanda hídrica necessária de 385 l/s/ha para irrigação da lavoura de arroz com área de 175 hectares.

Considerando os resultados apresentados, fica a importância de realizar novos estudos referente a novas metodologias para verificação da eficiência e rendimento dos sistemas bombeamento para irrigação por inundação, trabalhos para difundir a importância das estações de bombeamento para a irrigação do arroz e estudos sobre volumes, vazões reais necessárias para diversos cenários na cultura do arroz irrigado na fronteira oeste do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.S. **Elementos Orgânico de Máquinas II AT-102**. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasalan/AT102-Aula07.pdf>> Acesso em> 20 ago. 2021

AZEVEDO, JOÃO BATISTA. **Eficiência Energética no Controle Vazão em Sistemas de Bombeamento de Água**: Uso de válvula e Controle de velocidade. Eficiência Energética no Controle Vazão em Sistemas de Bombeamento de Água, Paraíba do Sul, v. 1, n. 1, p. 1-18, ago. 2005.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: monitoramento agrícola. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, v. 5, n. 4, p. 1-173, jan. 201.

EMBRAPA – Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (Pelotas, RS). Arroz irrigado: **recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Pelotas, 1999. 124p.

EXCELL. **Bombas centrifugas**. Disponível em: <<http://excellbombas.com.br/blog/tag/bomba-worthington-dbe/>> Acesso em: 20 ago. 2021.

GOMES, H.P.; BEZERRA, S.T.M. **Ações de eficiência energética**. In: GOMES, H.P.; CARVALHO, P. S. O. (Org.). Manual de sistemas de bombeamento - eficiência energética. João Pessoa: Editora Universitária, UFPB, 2012. p.129-140.

IRGA, Instituto Riograndense do Arroz. **Irga alerta para o uso adequado das estações de bombeamento de água para a lavoura de arroz e o ambiente**. 2009. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/irga-alerta-para-o-uso-adequado-das-estacoes-de-bombeamento-de-agua-para-a-lavoura-de-arroz-e-o-ambiente> >. Acesso em: 10 set. 2021.

IRGA, Instituto Riograndense do Arroz. **Custo Médio Ponderado de produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. 2021. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202106/10125554-custos-de-producao-2020-2021.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2021.

IRGA, Instituto Riograndense do Arroz. **Evolução da Semeadura, 2020.2021**. Disponível em: < <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202012/28110225-evolucao-da-semeadura-20-21.pdf> >. Acesso em: 20 set. 2021.

KAEHLER, J.W.M. **Eficiência Energética: da Avaliação Gerencial à Auditoria Energética (no prelo)**. Rio de Janeiro: Editora Inter ciência, 2016.

KOPP, L.M. **Índices de Desempenho para Estações de Bombeamento em Lavoura de Arroz Irrigado**, Santa Maria, 2015.

MACINTYRE, A.J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 667p.

NUNES, José. **Características do Arroz (Oryza Sativa)**. 2016. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/caracteristicas\\_361559.html](https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/caracteristicas_361559.html)>. Acesso em: 14 jun. 2021.

NUNES, José. **Importância Econômica**. 2016. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/importancia\\_361560.html](https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/importancia_361560.html)>. Acesso em: 14 jun. 2021.

OLITA, A.F.L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Nobel, 1985. 267p.8.

OLIVEIRA FILHO, D.; SAMPAIO, R.P.; MORAES, M.J.; PIZZILO, T.A.; DAMIÃO, J.H.A. **Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.10, out. 2011.

PINEDA SUÁREZ, et al. **Consumo de Água em Arroz irrigado por Inundação e Sistemas de Múltiplas Entradas**- Irriga, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 78-95, 2016.

Prefeitura de Alegrete. **Dados Gerais**. disponível em: <[https://www.google.com/search?q=subdistritor+guassoboi+alegrete&rlz=1C1CHZL\\_ptR919BR920&oq=subdistritor+guassoboi+alegrete&aqs=chrome.69i57j33i10i160l2.6522j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=subdistritor+guassoboi+alegrete&rlz=1C1CHZL_ptR919BR920&oq=subdistritor+guassoboi+alegrete&aqs=chrome.69i57j33i10i160l2.6522j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)> Acesso em: 25 set. 2021.

SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado, Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Cachoeirinha.RS ago. 2018.

TOLENTINO, J.b **Hidráulica Agrícola**. Disponível em: <<https://hidraulica.tolentino.pro.br/tubula%C3%A7%C3%B5es-de-suc%C3%A7%C3%A3o-e-recalque.html>> Acesso em: 24 set. 2021.

VIANNA, M.L. de S. **O Desperdício de Energia na Irrigação do Arroz**. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v.50, n.432, p.911, julh /ago. 1997.

CPFL, energia. **Taxas e tarifas**. Disponível em: <https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#/taxas-tarifas> Acesso em: 6 de out. 2021.